

В следующем номере:



ЛАЗЕРНЫЙ ЗАХВАТ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

БЕЖЕНЦЫ ИЗ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ И УСПЕХИ В УЧЕБЕ

ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ В РАЙОНЕ МАРИАНСКИХ ОСТРОВОВ

ИНВАЗИЯ И МЕТАСТАЗИРОВАНИЕ РАКОВЫХ КЛЕТОК

МЛЕКОПИТАЮЩИЕ ОСТРОВНОЙ ЕВРОПЫ

БИРЮЗА В ДОКОЛУМБОВОЙ АМЕРИКЕ

НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ ТИМОФЕЕВ-РЕСОВСКИЙ

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

СОВЕРШЕНСТВО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Март **3** 1992

КАК ОРИЕНТИРУЮТСЯ
МОРСКИЕ ЧЕРЕПАХИ

ОБРАЩЕНИЕ К ПОДПИСЧИКАМ ЖУРНАЛА «В МИРЕ НАУКИ»

Дорогие друзья!

Уже 10-й год выходит наш журнал на русском языке. И 10-й год редакция прилагает все усилия оперативно и без потерь донести до вас информацию с переднего края мировой науки. Если в первые годы нашего издания мы пробивали железный занавес, отделявший нашу страну от иных точек зрения, оценок и подходов, не принятых и не допустимых при существовавшем, т.е. разрешенном «сверху», единомыслии, то сейчас возникает новый занавес — занавес информационного вакуума, обусловленный распадом научных структур, отсутствием финансовых возможностей у библиотек, академических институтов, учебных заведений, издательств и средств массовой информации выполнять свои функции по просветительской и научно-информационной деятельности. А именно эта деятельность в настоящее время приобретает особое значение. С одной стороны, в образующемся вакууме уже начали возникать антинаучные и антитехнологические тенденции, занимающие все большее место в информационной сфере. Это будет иметь последствием потерю того вклада в духовный потенциал общества, который обязан науке. За этим последует ослабление интеллектуального потенциала и, как следствие, — вырождение общества, вплоть до распада цивилизации.

С другой стороны, в связи с развитием рыночных отношений все большее значение во всем мире приобретает разнообразная и точная информация, рассказ о достижениях науки и техники, преследующий не столько популяризаторские цели, сколько взаимную ориентацию производителей и потребителей. Эти задачи тесно связаны, поскольку только грамотное и информированное общество может потреблять в сфере производства, культуры и знаний и только понимание процессов развития, происходящих в мире и обществе служит гарантией его устойчивости и основой роста. Решению этих задач способствует и журнал «Scientific American», который читают десятки миллионов людей во всем мире.

К сожалению, из-за переживаемых нами трудностей тираж «В мире науки», русскоязычного издания этого журнала, в 1992 г. снизился до 10 тыс. экземпляров, а стоимость изготовления и распространения только 1 экземпляра стала обходиться редакции в 35 рублей. Мы пытаемся путем привлечения различных средств компенсировать огромные убытки и постараемся в текущем году выпустить все номера журнала без переобъявления подписки.

Редакция будет признательна за любое содействие во всемерном привлечении капиталов, спонсорских вложений, публикации рекламно-информационных материалов заинтересованных организаций и иных действий, способствующих выходу из сложившейся ситуации.

Мы приглашаем всех оказать посильную помощь в издании журнала, на благо отечественной науки и культуры.

Наш расчетный счет № 362305 в Коммерческом народном банке, уч. 30 ф. 19101
(для журнала «В мире науки»).

Редакция журнала
«В МИРЕ НАУКИ»

В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

МОСКВА «МИР»

№ 3 МАРТ 1992

В номере:

(Scientific American, January 1992, Vol. 266, No. 1)

СТАТЬИ



6 Жизнь растений при высокой концентрации углекислого газа

Факри А. Баззаз, Эрик Д. Файер

Даже без учета глобального потепления повышение концентрации углекислого газа в атмосфере способно привести к значительным изменениям структуры и функционирования экосистем, что может быть неблагоприятно для растений



14 Квантовый хаос

Мартин К. Гутцвиллер

Таится ли хаос в плавном волноподобном квантовом мире? Последние исследования показывают, что на этот вопрос можно ответить положительно — признаки хаоса проявляются даже в волновых пакетах, связанных с атомными энергетическими уровнями



22 Как клетки поглощают глюкозу

Густав Э Линхард, Ян У. Слот, Дейвид Э. Джеймс, Майк М. Мьюклер

Глюкоза — одно из важнейших питательных веществ — может проникнуть в клетку лишь с помощью специального переносчика. В последнее время прояснились структура и функция этого белка, а также механизм его регуляции инсулином



30 Аккреционные диски во взаимодействующих двойных системах

Джон К. Канниццо, Роналд Х. Кейтчек

Диски вещества естественным образом возникают вокруг самых разнообразных объектов — от новорожденных звезд до квазаров. Необычный класс переменных звезд помогает теоретикам понять поведение этих дисков



40 Как ориентируются морские черепахи

Кеннет Дж. Лохманн

Вылупившиеся из яиц черепахи тут же отправляются в плавание, а став взрослыми, направляются в обратный путь, к дому. Ученые пытаются понять, каким биологическим компасом и какими картами пользуются эти животные, чтобы безошибочно находить дорогу к местам размножения



50 Племенные войны

Р. Брайен Фергусон

Контакты между европейцами и американскими индейцами, вероятно, привели к нарушению тонкого социального равновесия в племенном сообществе и вызвали повсеместное насилие



58 Световодная связь: пятое поколение

Эммануэль Десурвир

Легированные эрбием световоды, активируемые излучением крошечных лазерных кристаллов, позволяют провести революцию в области усиления оптических сигналов, передаваемых по световодным системам трансконтинентальной связи и по локальным сетям передачи данных с большой скоростью



68 Тенденции развития паразитологии

Живущие вместе

Джон Ренни

Паразиты и их хозяева в своей бесконечной игре «кто кого» изобрели множество своеобразных стратегий, может быть даже образование полов. Однако иногда их отношения принимают вид «сотрудничества»

РУБРИКИ

- 4 Об авторах
- 5 50 и 100 лет назад
- 13, 21, 28, 38,
- 47, 56, 66, 78,
- 83, 85 Наука и общество
- 80 Наука вокруг нас
- 84 Книги
- 98 Эссе
- 99 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

John J. Moeling, Jr.
PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Alan Hall, Michelle Press
Timothy M. Beardsley
Elizabeth Corcoran
Deborah Erickson
Marguerite Holloway
John Horgan,

Philip Morrison (BOOK EDITOR),
Corey S. Powell
John Rennie, Philip E. Ross
Ricki L. Rusting, Russell Ruthen
Gary Stix, Paul Wallich
Philip M. Yam

Joan Starwood
ART DIRECTOR
Richard Sasso
VICE-PRESIDENT

PRODUCTION AND DISTRIBUTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Dr. Pierre Gerckens
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1991 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. Кудряков,
Т. А. Румянцева, А. М. Смотров,
А. Ю. Краснопецев, А. В. Белых

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР
О. В. Мошкова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

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», 1992

На обложке



КАК ОРИЕНТИРУЮТСЯ МОРСКИЕ ЧЕРЕПАХИ

На фотографии изображены вылупившиеся из яиц детеныши зеленой черепахи (*Chelonia mydas*). Этот вид, подобно другим морским черепахам, обладает незаурядными способностями к ориентации в пространстве. Вылупившись из яиц, черепашки, не задерживаясь, пускаются в море прочь от берега. Став взрослыми, они каждые несколько лет мигрируют более чем на 1,5 тыс. км от мест кормежки до мест откладки яиц. Очевидно, во время своих путешествий они используют такие природные ориентиры, как магнитное поле Земли и направление океанских волн (см. статью Кеннета Дж. Лохманна «Как ориентируются морские черепахи» на с. 40).

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: фотография М. Timothy O'Keefe/Bruce Coleman, Inc.					
СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	Susan Bassow, Harvard University	26—27	Michael Goodman	68—69	Tomo Narashima
8	Patricia J. Wynne	30—32	George Retseck	70	Bettmann Archive (вверху), CNRI/Science Photo Library, Photo Researchers, Inc. (внизу слева), James Dennis/CNRI/Phototake (внизу в центре), Phototake (внизу справа)
9	Johnny Johnson (слева и справа), Fakhri A. Bazzaz (в центре)	33	Johnny Johnson	76	Richard Nowitz/Phototake (слева), C. James Webb/Phototake (в середине), CNRI/SPL/Photo Researchers, Inc. (справа)
10	Bert G. Drake, Smithsonian Environmental Research Center	34—35	George Retseck		
11	Fakhri A. Bazzaz	36—37	Johnny Johnson		
12	Eric D. Fajer (вверху слева и внизу), Johnny Johnson (справа)	41	Hughes/Bruce Coleman, Inc.		
15	Martin C. Gutzwiller	42—43	Laurie Grace (вверху), Patricia J. Wynne (внизу)		
16	Laurie Grace	44	Jana Brenning (вверху и слева внизу), Kenneth J. Lohmann (внизу справа)		
17	Martin C. Gutzwiller	45	Laurie Grace		
18	Laurie Grace	46	James D. Watt, Animals/Animals		
19	Eric Heller, University of Washington	50—51	U.S. Library of Congress		
20	Laurie Grace	52	Theodore de Bry/Art Resource	72—73	Patricia J. Wynne (вверху), Tom McHugh, Photo Researchers, Inc. (внизу слева), David Levenson (внизу справа)
23	David E. James, Mike Mueckler	53	Joan Hester		
24	Michael Goodman	54	Bettmann Archive		
25	L. Howard Holley (внизу слева)	58—59	Emmanuel Desurvire		
		60—63	Ian Worpole		
		64	Neal S. Bergano, AT & T Bell Laboratories	74	© 1991 John McGrail
		65	Terry W. Cline, AT & T Bell Laboratories	75	Eric Leigh Simmons
		66—69	Tom Narashima	77	Patricia J. Wynne
		70	Bettmann Archive (вверху), CNRI/Science Photo Library, Photo Researchers, Inc. (внизу слева), James Dennis/CNRI/Phototake (внизу в центре), Phototake (внизу справа)	78	Johnny Johnson

Fakhri A. Bazzaz, Eric D. Fajer "Plant Life in a CO₂-Rich World" (ФАКРИ А. БАЗЗАЗ, ЭРИК Д. ФАЙЕР «Жизнь растений при высокой концентрации углекислого газа») исследуют различные аспекты сложной роли атмосферного углекислого газа в экосистемах. Баззаз получил степень доктора философии в 1963 г. в Иллинойском университете. Последние двадцать лет занимается проблемой влияния повышенной концентрации углекислого газа в окружающей среде на жизнедеятельность растений. В настоящее время он профессор в Гарвардском университете. Файер, недавно получив степень доктора философии в Гарвардском университете, работает в Центре научных исследований и международных связей при Правительственной школе Дж. Кеннеди. Он изучает влияние высоких уровней углекислого газа на растения и растительноядных насекомых. Авторы выражают признательность за поддержку министерству энергетики США.

Martin C. Gutzwiller "Quantum Chaos" (МАРТИН К. ГУТЦВИЛЛЕР «Квантовый хаос») — научный сотрудник Исследовательского центра им. Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хайтс (шт. Нью-Йорк), а также доцент металлургии в Технической школе Колумбийского университета. Родился в Швейцарии, образование получил в частных школах и Федеральном технологическом институте в Цюрихе, где в 1950 г. ему были присвоены степени по физике и математике. Степень доктора философии получил в 1953 г. в Канзасском университете. В фирме IBM Гутцвиллер сотрудничает с 1960 г. после нескольких лет работы в исследовательской лаборатории компании Shell Oil. В IBM он сначала изучал взаимодействие электронов в металлах, а в настоящее время занимается проблемой связей между классической и квантовой механикой. Помимо этого он интересуется проблемами небесной механики и историей астрономии и физики. Гутцвиллер увлекается музыкой, собирает старинные научные книги и любит путешествовать.

Gustav E. Lienhard, Jan W. Slot, David E. James, Mike M. Mueckler "How Cells Absorb Glucose" (ГУСТАВ Э. ЛИЕНХАРД, ЯН У. СЛОТ, ДЕЙВИД Э. ДЖЕЙМС, МАЙК М. МЬЮКЛЕР «Как клетки поглощают глюкозу») интересуются регуляцией транспорта

глюкозы инсулином и ведут совместные исследования по нескольким программам. Линхард биохимик, с 1975 г. занимает должность профессора в Дартмутской медицинской школе. Последнее время изучает в основном механизмы внутриклеточной регуляции с участием рецептора инсулина. Слот — сотрудник кафедры клеточной биологии Медицинской школы Утрехтского университета (Нидерланды). Он занимается определением локализации различных белков в клетке и обмена мембранных белков при помощи электронной микроскопии. Джеймс и Мьюклер работают на кафедре клеточной биологии и физиологии Медицинской школы Университета Вашингтона. Они первыми клонировали комплементарную ДНК, кодирующую переносчик глюкозы GluT4, о ключевой роли которого рассказывается в данной статье.

John K. Cannizzo, Ronald H. Kaitchuck "Accretion Disks in Interacting Binary Stars" (ДЖОН К. КАННИЦЦО, РОНАЛД Х. КЕЙТЧАК «Аккреционные диски во взаимодействующих двойных системах»). Авторы объединили интерес к аккреционным дискам во взаимодействующих двойных системах. Канниццо получил степень доктора философии в области теоретической астрофизики в 1984 г. в Техасском университете в Остине. Он член Совета Гумбольдта в Институте астрофизики Общества им. Макса Планка в Германии. Канниццо разрабатывает модели аккреционных дисков во взрывных переменных и вокруг сверхмассивных черных дыр. Кейтчак получил степень доктора философии в области астрономии в 1981 г. в Университете шт. Индиана. В настоящее время — преподаватель факультета физики и астрономии Университета Болла в Манси (шт. Индиана). Кейтчак специализируется в области спектроскопии двойных звезд.

Kenneth J. Lohmann "How Sea Turtles Navigate" (КЕННЕТ ДЖ. ЛОХМАНН «Как ориентируются морские черепахи») — доцент биологии в Университете шт. Северная Каролина в Чапел-Хилле. В 1988 г. защитил докторскую диссертацию в области зоологии в Вашингтонском университете. Его научные интересы сосредоточены на вопросах магнитной ориен-

тации морских животных и нейробиологических аспектах восприятия магнитных полей.

R. Brian Ferguson "Tribal Warfare" (Р. БРАЙЕН ФЕРГУСОН «Племенные войны») — антрополог, интересующийся причинами возникновения войн и их последствиями. Изучает также историю отношений между Пуэрто-Рико и США как в локальном, так и в более широком аспекте. Фергусон надеется использовать результаты своих исследований для разработки общего подхода к изучению социальных конфликтов и их влияния на жизнь общества. В настоящее время работает ассистентом на кафедре антропологии Университета Ратгерса.

Emmanuel Desurvire "Lightwave Communications: The Fifth Generation" (ЭММАНУЭЛЬ ДЕСУРВИР «Световодная связь: пятое поколение») — профессор-консультант по электронике и электротехнике в Колумбийском университете. Работает в Колумбийском центре исследований в области электросвязи. В 1981 г. окончил Парижский университет VI, где изучал теоретическую физику. Затем в течение двух лет занимался исследованиями волоконных усилителей, работающих на принципе комбинационного рассеяния света, в фирме Thompson-CSF в Орсе и получил степень доктора в Университете в Ницце. В течение следующих двух лет Десурвир исследовал активные волоконные устройства в Станфордском университете. С 1986 по 1990 г. занимался разработкой волоконных усилителей, легированных эрбием, в AT&T Bell Laboratories.

Douglas Smith (ДУГЛАС СМИТ «Наука вокруг нас») — научный сотрудник в Исследовательском институте фирмы NEC, где он изучает динамику актиновых и миозиновых филаментов. В нынешнем году намеревается завершить диссертацию на степень бакалавра физики в Чикагском университете.

Nathan Rosenberg "Essay" (НАТАН РОЗЕНБЕРГ «Эссе») — профессор экономики в Станфордском университете.



ЯНВАРЬ 1942 г. «Вероятно, опытные парашютисты смогут описать чувства и мысли, возникающие у них в течение нескольких секунд, которые проходят между прыжком из самолета и ужасной силой ударом в момент раскрытия парашюта, прерывающего свободное падение вниз головой. Но в памяти новичка этот короткий промежуток времени обычно оставляет пробел. Хотя подвесная система парашюта проектируется таким образом, чтобы удар распределялся по тем частям тела, которые наиболее подходят для его поглощения, ударное воздействие, которое испытывает парашютист при раскрытии купола 28 футов в диаметре, вызвано мгновенным уменьшением скорости движения до 15—20 миль в час. Столь резкое изменение скорости автомобиля, например, приведет к тому, что водитель выпрыгнет «рыбкой» сквозь лобовое стекло; находясь в подвесной системе парашюта, вы чувствуете, что скелет вот-вот выскользнет из вашего тела ногами вперед».

«По утверждению д-ра Эрнста Геллхорна, профессора физиологии из Иллинойского университета, применение 100%-ного кислорода будет компенсировать ухудшение зрения, вызванное инсулином. Как указывает Геллхорн, ухудшение зрения происходит в результате взаимодействия

между кислородом и сахаром, содержащимся в крови. Введение инсулина, например при «шоковой терапии», снижает избыток сахара в крови, лишает мозг некоторого потребляемого им количества сахара и приводит к нарушению зрительного восприятия, включая потерю способности видеть последовательные образы».

«Самая маленькая машина, принятая на вооружение нашей армией, имеет много названий: джип, новобранец, «блин-коляска», джиттербаг, железный пони, истребитель танков. Пока лейтенант Патрик Саммерур описывал мне ее достоинства, я разглядывал автомобиль длиной 11 футов, шириной 56 дюймов и высотой 40 дюймов — вдвое ниже семейного авто и на 3 фута короче. Саммерур обратил мое внимание на буксирный крюк. «Мы цепляем к джипу противотанковую пушку, — сказал он. — Гражданские часто спрашивают, почему мы не воюем танками против танков. Мы не делаем этого по двум причинам. Во-первых, джип стоит 900 долл., а танк 35 000 долл. Во-вторых, эти юркие машины смогут легко маневрировать вокруг старых немецких танков и задать им жару».



ЯНВАРЬ 1892 г. «Предполагается, что перемены климата нашей планеты происходят каждые 10 500 лет вследствие изменения наклона земной оси. Около 1500 лет назад мы вступили



ОТКРЫТИЕ НОВОГО СВЕТА Колумбом с картины Брюгада в Военноморском музее в Мадриде.

ли в эпоху более высокой зимней температуры, и если ничего непредвиденного не случится, можно ожидать постепенного смягчения нашего зимнего климата в течение последующих 9000 лет, до тех пор, пока не начнется очередная ледникова эпоха. Какая страна будет здесь в 11 500 году? Возможно, она будет похожа на Египет с остатками грандиозных строений, возвышающихся посреди пустыни».

«Жители городов позволяют себе употреблять в пищу слишком много мяса, часто плохо приготовленного. Беднота и сельское население получает это мясо несвежим. Нужно что-то делать, считает проф. Вернеул, для того чтобы исправить это положение дел. Он утверждает, что, как доказал французский географ Реклус, раковые заболевания наиболее часто встречаются среди тех ветвей человечества, где преобладает «плотоядное» население».

«Мы получили несколько оригинальных решений задачи о том, как расположить десять цифр, чтобы их сумма равнялась 100:

$$0 + 1 + \frac{3}{2} + \frac{9}{6} + 4 + 5 + 87 = 100.$$

$$0 + 1 + 34 + 5 + 6^2 + 7 + 8 + 9 = 100.$$

$$1 + 3 + 4^2 + 50 + 6 + 7 + 8 + 9 = 100.$$

К. Ф. Эрхард

$$5 + 10 + 36 + 47 = 98 + 2 = 100.$$

У. Донахи

Однако следует сказать, что использование дробей или показателей степеней, означающих умножение, а по существу повторение одного и того же числа, является недопустимым.

«В техническом описании к одному из своих последних патентов Томас Эдисон пишет: «Если подняться достаточно высоко над поверхностью Земли, с тем чтобы преодолеть влияние ее кривизны, а также снизить до минимума поглощение Землей, электрический сигнал между удаленными точками может быть передан посредством индукции без использования проводов».

«Вероятно, не будет более интересного экспоната на Всемирной выставке, чем каравелла «Санта-Мария», на которой Колумб совершил свое знаменитое открытие. Как известно, у него было три корабля, и их появление в Новом свете показано на этой гравюре».

Жизнь растений при высокой концентрации углекислого газа

Даже без учета глобального потепления повышение концентрации углекислого газа в атмосфере способно привести к значительным изменениям структуры и функционирования экосистем, что может быть неблагоприятно для растений

ФАКРИ А. БАЗЗАЗ, ЭРИК Д. ФАЙЕР

ЗЕЛЕННЫЕ растения — это основа всей наземной жизни. Распространенность и продуктивность деревьев, кустарников и травянистых растений определяют функционирование экосистем, а именно: как происходят циркуляция газов и питательных веществ, очистка вод, формирование почв, как поддерживается существование множества форм жизни. Любое сколько-нибудь значительное изменение в продуктивности и составе растительной жизни отзовется каскадом изменений, затрагивающих травоядных, плотоядных и всеядных животных.

Одно из таких изменений, возможно, уже происходит. Сжигание и вырубка лесов быстро влияют на земную атмосферу. Важнейшим ее компонентом, испытывающим влияние человеческой деятельности, является, по всей видимости, диоксид углерода, или углекислый газ (CO₂). От начала технической цивилизации его концентрация в атмосфере возросла с 280 до 350 частей на миллион, достигнув сейчас наивысшего уровня за последние 160 тыс. лет — за этот период уровень CO₂ может быть прослежен по результатам анализа кернов льда. Измерения, проведенные в обсерватории Мауна-Лоа на Гавайских островах, показали, что с 1957 г. уровень диоксида углерода возрос к настоящему времени примерно на 20%. Хотя имеющиеся оценки противоречивы, предполагается, что к концу следующего столетия концентрация углекислого газа в атмосфере удвоится.

Казалось бы, повышенный уровень CO₂ должен благотворно сказаться на сельском хозяйстве. Первоначальные исследования вроде бы свидетельствовали, что высокое содержание этого газа в среде стимулирует рост растений. Этот эффект, получивший название «CO₂-удобрения», будет, по-

видимому, наиболее выражен при избытке питательных веществ, света и воды.

Эффект «CO₂-удобрения» может сыграть роль буфера при всемирном потеплении. Так, можно рассчитывать, что растение, достигающее более крупных размеров, будет извлекать из среды больше CO₂. Тогда уровень этого газа, обуславливающего парниковый эффект в атмосфере Земли, ведущий к повышению средней температуры планеты, понизится. Эффект «CO₂-удобрения» учитывался в моделях атмосферы, предсказывающих, какое количество диоксида углерода, выделяющегося в результате индустриальной и сельскохозяйственной деятельности человека, будет поглощаться наземной растительностью.

Эксперименты, проведенные нами в Гарвардском университете, а также работы наших коллег в других институтах дают основание сделать вывод, что представление о пользе повышения глобального уровня CO₂ скорее всего преувеличено. Как показали исследования, положительная реакция на повышенное содержание углекислого газа, наблюдаемая у растения, взятого в отдельности, вовсе не обязательно означает, что будет иметь место усиленный рост растительных сообществ в целом. Вызывает сомнения даже то, что растения служат ловушкой для удаления возрастающих количеств CO₂.

СООБРАЖЕНИЯ о пользе высокого содержания диоксида углерода на Земле коренятся в деталях фотосинтеза. Этот важнейший химический процесс сводится к тому, что растения захватывают молекулы CO₂ и синтезируют из них углеводы, используя в качестве источника энергии излучение Солнца в видимой области спектра. Содержащийся в атмосфер-

ном воздухе диоксид углерода проникает в растительные ткани путем диффузии через так называемые устьица — особые поры в наружном слое клеток листа. Внутри растения молекулы CO₂ поступают в конечном счете в клеточные органеллы, носящие название хлоропластов, в которых и происходит фотосинтез.

Повышение концентрации углекислого газа может увеличивать интенсивность фотосинтеза и, следовательно, способствовать росту растения путем сдерживания потери воды. В обычных условиях поступление в растение CO₂ связано с определенными расходами: на каждую молекулу диоксида углерода, проникающую через устьица, теряется от 100 до 400 молекул воды.

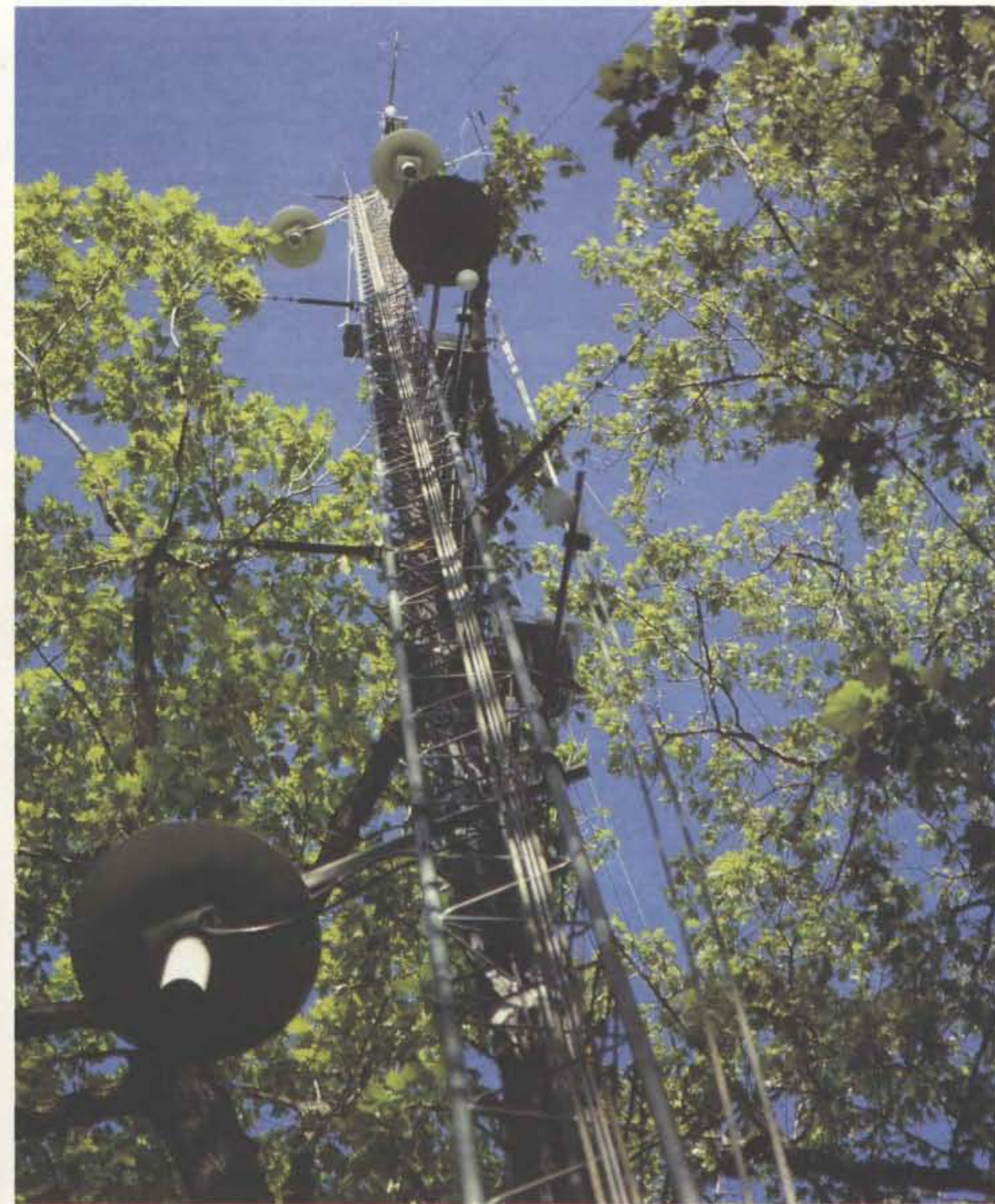
В атмосфере же, богатой CO₂, его концентрационный градиент между внешней средой и внутренним содержимым листа будет выше. В результате через устьица будут проникать эквивалентные количества диоксида углерода, даже если замыкающие клетки, регулирующие просвет устьиц, не дадут им раскрыться полностью. Суженные устьица сдержат потерю воды, и растению, чтобы достичь тех же размеров, понадобится меньше воды извне. Для некоторых растений неполное открывание устьиц имеет еще тот положительный эффект, что ограничивается проникновение в ткани вредоносных атмосферных загрязнений, таких, как диоксид серы.

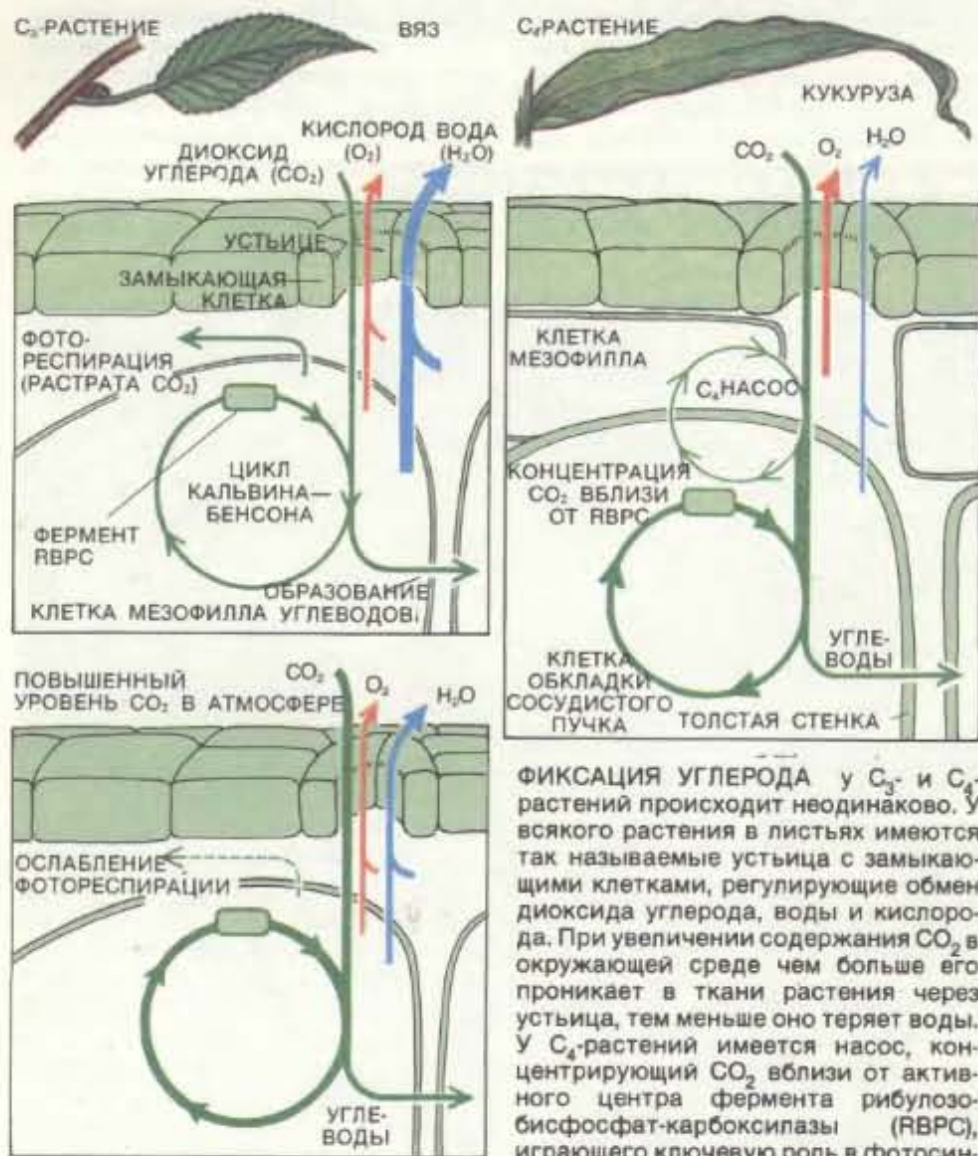
ВЫШКА В ЛЕСУ близ Гарварда приспособлена для измерения обмена углекислого газа между деревьями и атмосферой с целью количественно определить роль лесов в глобальном цикле углерода. Круглые щиты защищают трубы, поглощающие газ, от воды.

Помимо сохранения воды, среда, богатая CO₂, может способствовать сокращению энергетических затрат при фотосинтезе. В частности, пользу из повышения концентрации CO₂ в атмосферном воздухе извлекают так называемые C₃-растения, к которым относятся практически все лесные виды

деревьев и многие из основных сельскохозяйственных культур, в том числе рис, пшеница, картофель и бобовые. У этих растений на первой стадии фиксации CO₂ его молекула связывается с рибулозобисфосфатом, содержащим пятиуглеродный сахар. В результате этой реакции, происходя-

щей под действием фермента рибулозобисфосфат-карбоксилазы, образуется короткоживущее нестабильное соединение, включающее шестиуглеродный сахар. Оно распадается на два производных, которые содержат по три атома углерода, — отсюда и название «C₃-растения». Эти произво-





кислорода с РВРС и тем самым потерю энергии путем фотореспирации. С₃-растения не имеют такого насоса, но при высоком уровне CO₂ он спонтанно оказывается у активного центра РВРС в достаточно большой концентрации и связывания кислорода, сопровождающегося потерей энергии, не происходит.

данные претерпевают ряд последовательных превращений, называемых циклом Кальвина — Бенсона, который приводит к образованию углеводов.

Кислород атмосферного воздуха конкурирует с CO₂ за активный центр рибулозобисфосфат-карбоксилазы. Если «побеждает» кислород, растение теряет энергию, так как во время утилизации кислорода фиксации CO₂ не происходит. В этом случае кислород связывается с активным центром рибулозобисфосфат-карбоксилазы и образуются трехуглеродный сахар и двухуглеродное соединение, вновь включающееся в протекающий с затратой энергии циклический процесс, называемый фотореспирацией.

По мере увеличения концентрации CO₂ вероятность его «выигрыша» в конкуренции с кислородом за связывание с активным центром рибулозобисфосфат-карбоксилазы повышает-

ся. Действительно, в ряде экспериментов, когда концентрация CO₂ устанавливалась на уровне 600 частей на миллион, фотореспирация снижалась на 50%. Ограничение фотореспирации означает, что растение может использовать больше своей энергии на построение тканей.

Как ни привлекательны эти физиологические и биохимические соображения, интенсивность фотосинтеза в среде, богатой CO₂, повышается не всегда. Нередко у растений в такой среде поначалу наблюдается усиленный фотосинтез, но со временем интенсивность его падает, приближаясь к тому, что наблюдается у растений, живущих в условиях обычного для наших дней уровня углекислого газа. Причины этого снижения интенсивности фотосинтеза пока не ясны, но высказывались несколько предположений.

Согласно одному из них, при усиле-

нии фотосинтеза в хлоропластах накапливается избыточное количество крахмала, что препятствует нормальному функционированию этих оргanelл. Другая гипотеза предполагает, что в присутствии повышенных количеств CO₂ способность растения к образованию углеводов вначале превосходит его способность перемещать крахмал к активно растущим частям. Вполне возможно, что при этом какая-то еще не установленная биохимическая обратная связь может приводить к ослаблению фотосинтеза. В третьей гипотезе особую роль играет фосфор, необходимый для транспорта накопленных углеводов: рециркуляция фосфора может не успевать за усилением фотосинтеза. Наконец, не исключено, что снижается как количество, так и активность рибулозобисфосфат-карбоксилазы.

Если даже интенсивность фотосинтеза и повышается с увеличением концентрации CO₂, растения не обязательно будут расти быстрее, становиться больше и многочисленнее. Показано, что зависимость между интенсивностью фотосинтеза в расчете на единицу поверхности растения, с одной стороны, и его ростом — с другой, не всегда положительная. На рост значительно влияют такие факторы, как общая поверхность листьев, доступная солнечному свету, распределение ресурсов между корнями и наземными частями растения — стеблями, листьями, цветами и семенами. Поэтому важно знать, каким образом распределяются ресурсы между различными структурами растения и их функциями в условиях высокого уровня CO₂.

ИМЕЮЩИЕСЯ данные свидетельствуют о том, что важную роль в продуктивности экосистем играют плодородие местообитаний и водоснабжение. При плохом обеспечении питательными веществами и водой, низкой освещенности у многих растений наблюдается лишь очень слабый эффект «CO₂-удобрения». В нашей лаборатории, в частности, исследовалось значение диоксида углерода для роста растений сравнительно с другими компонентами окружающей среды с помощью модельной системы из шести видов однолетних растений, обильно произрастающих на брошенных фермах в среднезападных районах США, включая амброзию и лисохвост. Полученные результаты свидетельствовали, что наиболее сильное влияние на рост оказывают освещенность и количество питательных веществ. В сравнении с ними влияние повышенного содержания CO₂ невелико. Так, при недоста-

точной освещенности и нехватке питательных веществ повышение концентрации CO₂ в среде несколько не стимулировало рост растений.

Аналогичные результаты были получены и в ряде других исследований. У. Очел и его коллеги из Государственного университета в Сан-Диего показали, что при удвоении концентрации углекислого газа в воздухе продуктивность пастбищ в тундре повышается очень незначительно. Возможно, это объясняется тем обстоятельством, что в условиях вечной мерзлоты питательные вещества, находящиеся в замороженной почве, недоступны растениям. У С₃-растений интенсивность фотосинтеза в такой атмосфере также со временем снижается.

В отличие от этого в среде, богатой питательными веществами, рост растений может усиливаться при высокой концентрации CO₂. Например, на заболоченных землях в эстуариях Чесапикского залива, которые необычны тем, что там имеются неограниченный запас воды и обилие питательных веществ, важным компонентом растительности является С₃-растение *Scirpus olneyi*. Б. Дрейк со своими помощниками в Смитсоновском экологическом центре в Эджуотере (шт. Мэриленд) подвергали растения в этом местообитании воздействию различных концентраций углекислого газа. При содержании CO₂ в воздухе в концентрации 700 частей на миллион наблюдались более интенсивный рост и большая плотность произрастания.

ИССЛЕДОВАНИЯ лесов выявили роль еще одного фактора, опре-



СОСТАВ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ будет изменяться при повышении уровня диоксида углерода. Даже среди растений, выигрывающих от увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере, реакция на него неодинакова — некоторые виды растут лучше других. Как показано на схеме (слева), среди саженцев из влажных тропических лесов, которые росли при обычном либо повышенном содержании CO₂ в среде, через 120 суток в условиях высокого уровня диоксида углерода биомасса увеличилась только у *Cecropia* (на фотографии видна ее пышная крона), *Trichospermum* и *Piper*.

деляющего жизнеспособность будущих экосистем — конкуренции. Поскольку лесные деревья в основном являются С₃-растениями, предполагалось, что у них должен быть четко выражен эффект «CO₂-удобрения», особенно при достаточно интенсивном освещении и обильном снабжении питательными веществами и водой. И действительно, при одиночном выращивании саженцев деревьев из лесов зоны умеренного климата в Новой Англии и на юго-востоке США, равно как и неотропические виды, росли лучше при высокой концентрации CO₂ в среде.

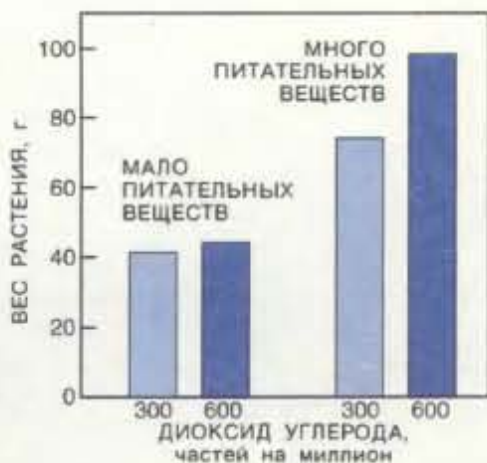
Однако, как следует из ряда работ, конкуренция приводит к снижению стимулирующего эффекта высоких уровней углекислого газа. Опыты, проведенные в двух листопадных лесах в зоне умеренного климата и в одном лесу в мексиканских тропиках, показали, что при совместном выращивании саженцев разных видов продуктивность таких сообществ не повышалась при высокой концентрации CO₂ в среде. Чем это объясняется, пока не вполне понятно. Возможно, что конкуренция за скудные запасы питательных веществ сдерживает реакцию растений на повышенное содержание диоксида углерода в воздухе.

Даже в пределах одного и того же сообщества одни виды могут расти лучше других. Например, при совместном выращивании деревьев из мексиканских тропических лесов в условиях высокого содержания CO₂ в воздухе саженцы двух видов, *Piper auritum* и *Trichospermum mexicana*, сильно разрастались, тогда как саженцы другого С₃-растения, *Senna multijuga*, чахла.



Высокое содержание CO₂ в воздухе может быть неблагоприятным еще для одной категории растений. Это так называемые С₄-растения, к которым принадлежат многие травы, произрастающие в сухих жарких тропических и субтропических областях, и ряд важных сельскохозяйственных культур, таких, как кукуруза, сорго и сахарный тростник. У растений этой группы уже имеются биохимические и структурные механизмы ослабления фотореспирации. Для этого используется уникальный химический насос, концентрирующий CO₂ вблизи от хлоропластов. В результате повышается вероятность того, что с активным центром рибулозобисфосфат-карбоксилазы свяжется не O₂, а CO₂. Поскольку энергетические затраты на фотореспирацию у С₄-растений значительно ниже, эффективность фотосинтеза у них выше, чем у С₃-растений.

Однако с увеличением концентрации CO₂ это преимущество С₄-растений теряется. Сниженная фотореспирация и потеря воды у С₃-растений должны, очевидно, привести к непропорциональному увеличению их продуктивности по сравнению с С₄-растениями. В самом деле, как показали Б. Стрейн и его сотрудники из Университета Дьюка, при высоком содержании диоксида углерода в воздухе многолетнее травянистое растение *Aster pilosus* — обычный для заброшенных полей С₃-вид растет лучше, чем трава *Andropogon virginicus*, относящаяся к С₄-растениям. При совместном выращивании в сухих условиях при высоком уровне CO₂ *Aster* доминировал над *Andropogon*. Преобладание С₃-растений над С₄-видами



ЭФФЕКТ «CO₂-УДОБРЕНИЯ» зависит от наличия питательных веществ в экосистеме. У ряда растений увеличение биомассы при высоком уровне CO₂ наблюдалось только при изобилии питательных веществ.



ЗАБОЛОЧЕННЫЕ ЭСТУАРИИ Чесапикского залива — один из естественных участков, используемых для изучения влияния высокого содержания CO_2 в атмосфере на экосистемы. Травы растут в открытых камерах при высокой (700 частей на миллион) или обычной для окружающей среды (350 частей на миллион) концентрации CO_2 . На заднем плане видна регистрационная установка.

в таких условиях было продемонстрировано также в другом исследовании, проведенном Д. Картером и К. Петерсоном из Клемсонского университета. Конкурируя при совместном выращивании C_3 -трава *Festuca elatior* переросла C_4 -растение *Sorghum halepense*.

Конкурентное взаимовлияние растений при ограниченных запасах питательных веществ будет сказываться не только на природных экосистемах, таких, как эстуарии и леса, но и на экосистемах, создаваемых человеком, например в фермерских хозяйствах. Поэтому вряд ли можно рассчитывать на то, что в будущем повышение атмосферного уровня CO_2 приведет к более богатым урожаям. На первый взгляд кажется, что продуктивность экосистем выиграет от таких условий: Б. Кимбол из министерства сельского хозяйства США, проанализировав свыше 700 агрономических работ, обнаружил, что при больших концентрациях CO_2 в среде урожай зерновых культур в среднем на 34% выше. Но при более внимательном рассмотрении становится ясно, что эти урожаи определялись на-

личием в почве удобрений и воды — ресурсов, часто имеющих в изобилии только на фермах в развитых странах.

Хотя перспективу получения таких богатых урожаев следовало бы только приветствовать, если стремиться прокормить, одеть и обеспечить пристанищем 8—10 млрд. человек, которые, как ожидается, составят население планеты в последующие 40—100 лет, цена этих урожаев может оказаться непомерной. Чтобы поднять продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях высокого уровня диоксида углерода в окружающей среде, понадобятся огромные количества удобрений, биоцидов, обширные ирригационные работы. Запасы воды уже сегодня ограничены, и обходится она весьма дорого. Резонно опасаться, что цена этих вложений — в денежном выражении или в последствиях для окружающей среды — окажется слишком большой. Бедные, недостаточно развитые страны попадут в очень сложное положение.

Неблагоприятные результаты для сельского хозяйства могут иметь различная реакция на повышение кон-

центрации CO_2 в среде у C_3 - и C_4 -растений. Д. Паттерсон из министерства сельского хозяйства США и Э. Флинт из Университета Дьюка показали, что относительная продуктивность такого C_4 -растения, как *Sorghum halepense*, понижается при высоком уровне углекислого газа, когда оно растет вместе с соевыми бобами, относящимися к C_3 -растениям. Иными словами, в среде с большим содержанием диоксида углерода C_3 -культура оказывается в более благоприятном положении, чем растущий вместе с ней C_4 -сорняк. Но если полезным является C_4 -растение, скажем кукуруза или сахарный тростник, то его урожай может снизиться в присутствии C_3 -сорняков.

ОРГАНИЗМЫ, зависящие от терпящих ущерб видов растений, которые используются ими в качестве пищи, укрытия или места для спаривания, также оказываются под угрозой. Резкое сокращение видового разнообразия в свою очередь подрывает целостность природных экосистем. Поскольку отдельные виды растений и животных служат важным промышленным, сельскохозяйственным или медицинским ресурсом, то уменьшение видового разнообразия неблагоприятно скажется и на окружающей среде, и на экономике.

Как уже говорилось, при высоком уровне диоксида углерода C_3 -растения обычно оказываются в более выгодном положении, чем C_4 -растения; это может иметь весьма серьезные последствия. Виды, реагирующие на высокую концентрацию CO_2 хуже своих соседей, не выдерживают конкуренции и становятся редкими, что грозит их вымиранием. Некоторые C_4 -растения в экосистемах с доминированием C_3 -растений без соответствующей защиты могут вообще исчезнуть.

Если даже повышение концентрации диоксида углерода в атмосфере и не будет ускорять вымирание растений, изменение характера растительных сообществ негативно повлияет на стабильность экосистем и круговорот питательных веществ в природе. Например, по данным Б. Стрейна, а также С. Смита из Университета шт. Невада в Лас-Вегасе и Т. Шарки из Висконсинского университета, в тихоокеанском ареале сорное травянистое растение *Bromus tectorum* в среде, богатой CO_2 , растет значительно лучше, чем три других травянистых вида. Поскольку *Bromus* легко загорается, его разрастание в будущих сообществах может привести к учащению и усилению спонтанных пожаров в этом регионе.

Увеличение атмосферного уровня углекислого газа может также катастрофически изменить круговорот питательных веществ. Скажем, если обилие представителей семейства бобовых претерпит какие-либо изменения, то соответственно сдвинется содержание азота в почве. Бобовые превращают атмосферный азот в нитрат и аммиак, в форме которых он легко усваивается другими растениями. Следовательно, сокращение численности бобовых приведет к изменению плодородия почвы, и повлияет на видовой состав растительности.

Зависимость между мертвым растительным материалом, таким как листья и сучья, и почвенными микроорганизмами тоже может измениться. Как показала работа Р. Норби из Ок-Риджской национальной лаборатории, Дж. Пастора из Миннесотского университета и Дж. Меллилло из Экосистемного центра в Вудс-Холе (шт. Массачусетс), при снижении содержания азота в растительных остатках скорость его гниения уменьшается. Объясняется это, по-видимому, подавлением роста почвенных бактерий и грибов в отсутствие азота. Многочисленные данные говорят о том, что если растение сформировалось в условиях высокого уровня диоксида углерода, то в его остатках содер-

жание азота относительно углерода понижено. Создается впечатление, что в ответ на высокую концентрацию CO_2 в атмосфере большинство растений каким-то непонятным образом снижает содержание азота в своих листьях. В таком случае плодородие почвы и круговорот питательных веществ могут ухудшиться, поскольку многие питательные вещества, «застревая» в растительных остатках, становятся недоступными растениям.

ИЗМЕНЕНИЯ питательной ценности растений могут привести к сокращению популяций травоядных и хищных животных в данных местонахождениях. От количества азота, а следовательно, и белка в листьях растений зависят рост и плодовитость травоядных насекомых. При понижении концентрации белка в листьях меняются количество пищи, поглощаемой насекомым, и численность его потомства. Таким образом, хотя в среде с высокой концентрацией CO_2 масса растительных тканей может и возрастать, ценность их как пищи для насекомых уменьшается.

Чтобы компенсировать низкую питательность такого растительного материала, насекомые поглощают его в больших количествах. Д. Линкольн и Р. Джонсон из Университета

Южной Каролины установили, что саранча и гусеницы некоторых бабочек съедают существенно больше листьев растений, образовавшихся при высоком уровне CO_2 , чем при нормальной концентрации углекислого газа. Само по себе такое усиление прожорливости насекомых может свести на нет преимущество гипотетического повышения урожая в среде, богатой диоксидом углерода.

Исследование, проведенное в нашей лаборатории, показало, что при таком питании воспроизведение насекомых и размер последующей популяции могут снизиться. Если личинки бабочки *Junonia coenia* питаются подорожником, выросшим при высокой концентрации CO_2 в воздухе, то у них замедляется развитие и повышается смертность. Более медленное развитие означает, что меньше особей станут взрослыми, поскольку задерживаясь на личиночных стадиях, насекомые более продолжительное время оказываются уязвимыми для хищников и паразитов. Кроме того, у меньшего числа гусениц развитие успеет закончиться раньше, чем наступит сухой или холодный сезон. В результате популяция бабочек должна уменьшиться.

Если в среде, богатой CO_2 , популяции травоядных насекомых будут со-



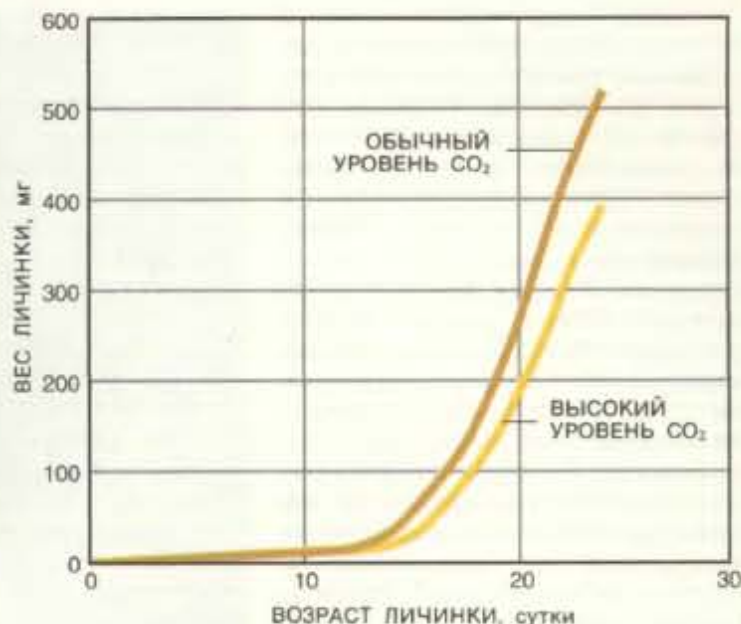
ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА ускоряет как рост и цветение, так и старение некоторых растений. Слева: растения содержались примерно 2 месяца при обычной концентрации CO_2 (300 частей на миллион). Справа: те



же виды росли при высоком содержании CO_2 в среде (900 частей на миллион): видно, что листья высокорослых растений в заднем ряду (*Abutilon*) уже пожелтели, а цветы в среднем (*Datura*) и переднем (*Phlox*) рядах стали пышнее.



БАБОЧКА *Junonia coenia* — одно из травоядных насекомых, негативно реагирующих на повышение концентрации углекислого газа в среде. Как видно на графике (справа), гусеницы растут медленнее, если питаются подорожником, выросшим при высоком уровне CO_2 (нижняя кривая).



При питании подорожником, выросшим в среде с обычным содержанием диоксида углерода, гусеницы растут быстрее (верхняя кривая). Такой эффект может привести к сокращению популяции этой бабочки, а следовательно, к уменьшению запасов пищи для насекомоядных животных.

крашаться, то и многие хищники столкнутся с нехваткой добычи. Некоторые хищные насекомые, например, питаются другими насекомыми — сельскохозяйственными вредителями, наносящими ущерб определенным культурам.

Могут измениться и другие экологические взаимосвязи. Установлено, в частности, что при повышенном уровне диоксида углерода часто сдвигается время цветения и прочих этапов развития у растений. Изменение периода цветения может в свою очередь сорвать опыление из-за несовпадения с пиком распространенности животных-опылителей.

Хотя изменения в масштабе целых экосистем вследствие высокого уровня CO_2 будут скорее всего иметь отрицательные последствия, усматривается по меньшей мере один механизм компенсации. Связь между растениями и корневыми симбионтами, такими как азотфиксирующие бактерии и микоризные грибы, в будущем может усилиться. При высоких концентрациях CO_2 образуется больше углеводов, что должно стимулировать рост корневых симбиотических организмов. А более крепкие взаимоотношения с симбионтами могут в свою очередь привести к тому, что растения распространятся в новые местообитания, ранее непригодные из-за неплодородной почвы.

Тем не менее с атмосферными изменениями связаны такие факторы, которые могут нивелировать это преимущество. М. Дейвис из Миннесотского университета, Т. Уэбб из Уни-

верситета Брауна и ряд европейских исследователей показали, что во время отступления ледников и глобального потепления большинство древесных видов постепенно мигрировало к северу. Однако климатические изменения, вызванные антропогенными причинами, будут происходить, вероятно, в 10—100 раз быстрее, чем послеледниковое потепление.

Кроме того, современные местообитания прерываются такими плодами человеческой деятельности, являющимися барьерами для миграции живых организмов, как дороги и различные строения. Поэтому, несмотря на потенциальные преимущества, которые растения могут получать от большего числа и эффективности корневых симбионтов, многие виды деревьев, возможно, не смогут переселиться достаточно быстро, чтобы попасть в подходящий климат. Леса начнут вымирать, вытесняемые травянистыми растениями.

ИТАК, очевидно, что высокая концентрация углекислого газа в атмосфере будет иметь широкомащштабные и многосторонние последствия для живой природы. Ясно также, что эффект « CO_2 -удобрения» не гарантирует будущего расцвета сельского хозяйства. Но вот вопрос: что сулит растениям их потенциальная способность служить как бы поглотителем CO_2 ? Могут ли процессы, протекающие в растениях, смягчить предстоящий парниковый эффект, поглощая больше диоксида углерода из воздуха, чем теперь?

Степень и опасность потенциально глобального изменения климата соответствуют интенсивности накопления антропогенного CO_2 в атмосфере. Дж. Вудуэлл и Р. Хутон из Вудс-Холлского исследовательского центра подсчитали, что в атмосферу ежегодно поступает около 5 млрд т CO_2 в результате сжигания ископаемого топлива и 1—2 млрд т из-за вырубки лесов. Однако итоговое накопление атмосферного углекислого газа составляет лишь 3 млрд т.

Было предложено несколько гипотез, объясняющих «исчезновение» 3 млрд т диоксида углерода. Вначале предполагалось, что это обусловлено океаническими процессами — фотосинтезом водорослей или прямым растворением CO_2 в соленой воде. Роль наземной растительности в поглощении столь больших количеств диоксида углерода ставилась под сомнение, поскольку в экологических работах не было единого мнения по поводу того, служит ли наземная биосфера в итоге источником или поглотителем CO_2 . Если у наземных растений фотосинтез по интенсивности превышает дыхание, то биосфера может поглощать углекислый газ.

Расчеты, проделанные недавно П. Тансом из Национального управления по исследованию океанов и атмосферы, А. Фангом из Годдардского института космических исследований при Национальном управлении по аэронавтике и исследованию космического пространства и Т. Такахаши из Колумбийского университета, свидетельствуют, что в зоне умерен-

ного климата Северного полушария наземные экосистемы поглощают 3,4 млрд т CO_2 . Этот вывод был сделан на основе результатов сопоставления концентраций углекислого газа в атмосфере и его парциального давления в поверхностных океанских водах.

Если при высоком уровне диоксида углерода интенсивность фотосинтеза и биогенного накопления углерода будет увеличиваться, то некоторые экосистемы могут ограничить повышение концентрации CO_2 в атмосфере, замедляя тем самым потенциально возможное изменение климата. Мы только начинаем понимать, каким образом наземные экосистемы, особенно леса, на которые приходится большая часть поглощаемого биосферой углерода, будут изменяться в атмосфере с высоким содержанием углекислого газа. Как ни скудны имеющиеся по этому вопросу знания, все же есть основания полагать, что ни особенности цикла CO_2 , ни изменения, сопутствующие парниковому эффекту, не усилят способность наземных экосистем поглощать диоксид углерода.

У. Биллингс из Университета Дьюка, имитируя парниковый эффект на влажных пастбищах в тундре, показал, что в таких условиях поглощается меньше CO_2 . Растения при этом росли лучше, что объясняется более высокой температурой, повышенной концентрацией углекислого газа и дополнительным количеством питательных веществ, высвобождающихся по мере утолщения почвенного слоя тундры. Однако в зоне вечной мерзлоты при таянии льда все больше торфа (накопившегося мертвого растительного материала) подвергалось воздействию микроорганизмов, разлагающих органические вещества. Этот процесс в свою очередь привел к большему выделению диоксида углерода в атмосферу. По оценке Биллингса, если бы летняя температура в тундре поднялась на 4°, то в атмосферу поступило бы еще 50% заключенного там CO_2 , несмотря на более интенсивный рост растений.

В более теплом климате усиленный рост растений, при котором поглощается атмосферный диоксид углерода, не может компенсировать быстрого ускорения разложения органических веществ. Это наблюдение особенно важно, поскольку в таких высокоширотных местообитаниях, как тундра, ожидается наибольшее потепление.

На основании результатов более чем десятилетних исследований представляется несомненным, что будущая атмосфера Земли с высоким содержанием CO_2 окажет прямое и

значительное влияние на состав и функционирование экосистем. В свете наиболее надежных научных данных мы не видим причин для оптимизма по поводу ответной реакции живой природы на изменение окружающей среды. Такая атмосфера никак не ослабит грядущих негативных глобальных изменений окружающей среды и демографических кризисов. Она может вызвать климатические сдвиги, способные нарушить целостность биологических систем, от которых зависят все *Homo sapiens*.

ЧТОБЫ снизить риск, связанный с повышением концентрации CO_2 в атмосфере, общество должно ограничить интенсивность антропогенного его поступления. Ученым следует выяснить, как повлияют на атмосферу, океаны и наземные ландшафты те глобальные изменения, которые обусловлены человеческой деятельностью. Американское экологическое общество, межправительственная комиссия по изучению изменений климата и международная программа по исследованию геосферы и биосферы подготовили модель для таких исследований.

Наука и общество

Рост численности населения — забота общая

МОЖНО ли говорить об экономическом развитии и охране окружающей среды, не касаясь роста численности населения? Очевидно, можно. Пример тому — намеченная на июнь в Рио-де-Жанейро Конференция ООН по окружающей среде и развитию (UNCED) с участием многих стран, на которой рассмотрение вопроса о росте населения не планируется. Королевское научное общество в Лондоне и Национальная академия наук в Вашингтоне этот факт расценили как явное упущение. Население земного шара в настоящее время составляет примерно 5,4 млрд человек, и в соответствии с прогнозами ООН его численность по крайней мере удвоится, прежде чем она стабилизируется в начале XXII в.

Чтобы заострить внимание на важности проблемы роста численности населения, обе академии намереваются сделать соответствующее совместное заявление. Вслед за заявлением,

Экологический аспект подобного исследования должен включать точную оценку влияния атмосферы с высокой концентрацией диоксида углерода на структуру биологических сообществ и продуктивность экосистем. Кроме того, необходимо изучить реакцию сообществ растений, травоядных животных и опылителей на сочетание высокого уровня CO_2 и потепления, кислотных дождей и все увеличивающегося загрязнения среды различными химикатами. Затраченные усилия помогут предсказывать коварные синергетические неожиданности, которые могут возникать по мере изменения атмосферы.

В надежде разработать эффективную социальную и экономическую политику для адаптации к изменениям окружающей среды, нужно четко представлять себе, как повлияет повышение концентрации диоксида углерода в атмосфере на экосистемы — как природные, так и созданные человеком. Мечты о плодородных влажных местообитаниях, какие бывают в теплицах, — эти прообразы глобального «парника» — не должны затмевать научных реалий жизни в богатой CO_2 и теплеющей атмосфере.

которое, как ожидается, будет окончательно согласовано в феврале в Стокгольме, возможно, пройдет международная конференция. «Мы считаем, что обсуждение проблемы охраны окружающей среды в глобальном масштабе без серьезного рассмотрения вопроса о росте численности населения выглядит по меньшей мере странным», — заявил сэр М. Атия, президент Королевского общества.

Попытка проигнорировать этот вопрос на предстоящей конференции вызвала ряд протестов, и на подготовительном заседании, состоявшемся в августе 1991 г. в Женеве, проблема роста численности населения официально была признана актуальной. В то же время развивающиеся страны настаивают на том, чтобы в повестке для конференции был вопрос о низком уровне жизни в их странах. ООН планирует в конце нынешнего десятилетия провести конференцию, специально посвященную вопросу народонаселения.

Тим Бердсли

Таится ли хаос в плавном волноподобном квантовом мире?

Последние исследования показывают, что на этот вопрос

можно ответить положительно — признаки хаоса

проявляются даже в волновых пакетах,

связанных с атомными энергетическими уровнями

МАРТИН К. ГУТЦВИЛЛЕР

В 1917 г. АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН написал работу, более 40 лет остававшуюся незамеченной. В ней он затронул вопрос, который только теперь начали задавать себе физики: что будет представлять собой классический хаос, тающийся повсюду в нашем мире, в понятиях квантовой механики — теории, описывающей атомный и субатомный миры? Эффекты классического хаоса наблюдались давно — еще Кеплер знал о нерегулярном движении Луны вокруг Земли, и Ньютон сожалел по этому поводу. В конце XIX в. американский астроном Джордж Хилл показал, что эта нерегулярность является исключительно следствием гравитационного притяжения Солнца. Вскоре после этого Анри Пуанкаре — великий французский математик, астроном и физик — выдвинул предположение, что движение Луны обуславливается некоторыми явлениями, которые проявляются вблизи любого тела. В результате Пуанкаре заключил, что для большинства динамических систем не характерна заметная регулярность или постоянная повторяемость модели. Даже поведение простой системы может сильно зависеть от начальных условий, так что окончательный результат точно не известен (см. статью в рубрике «Наука вокруг нас» на с. 80 этого номера).

Примерно в то же время, когда Пуанкаре начал изучать классический хаос, Макс Планк приступил к революционным изысканиям, которые привели к созданию современной теории квантовой механики. Вновь исследовались простые системы, которые изучал еще Ньютон, но теперь на атомном уровне. Квантовый аналог простого маятника — это лазер; летящими пушечными ядрами атомного мира являются пучки протонов и электронов, а вращающееся колесо — это электрон со спином (на этом основана запись магнитных лент). Даже сама Солнечная система отображена в строении каждого из атомов периодической системы элементов.

Возможно, наиболее характерной особенностью квантового мира являются его плавность и волновая природа. Эта особенность приводит к вопросу о том, что представляет собой хаос при переходе от классического мира к квантовому. Как можно согласовать плавность и волновую природу явлений на атомном масштабе с чрезвычайно нерегулярным поведением классического хаоса? Существует ли действительно хаос в квантовом мире?

Оказывается, согласно проведенным исследованиям, он действительно существует. Хаос обнаружен в распределении энергетических уровней некоторых атомных систем; он проявляется даже в волновых пакетах, связанных с этими уровнями. В процессе рассеяния электронов на небольших молекулах также обнаружен хаос. Однако следует подчеркнуть, что понятие «квантовый хаос» скорее служит для описания головоломки, чем хорошо поставленной задачи.

В ПОПЫТКЕ приблизиться к решению проблемы квантового хаоса может помочь следующая интерпретация более полной картины. Все наши теоретические знания о механике могут быть с известным допуском разделены на три области (см. рисунок на с. 16), несмотря на отсутствие такого разделения в природе.

Элементарная классическая механика попадает в первую область, куда входят доступные для понимания системы, демонстрирующие простое и регулярное поведение; назовем ее регулярной R. Сюда входит также сложный математический аппарат, называемый теорией возмущений, которая используется для расчета эффектов малых взаимодействий и внешних возмущений, таких, как воздействие Солнца на движение Луны вокруг Земли. Сейчас значительная часть физики благодаря теории возмущений понимается как наука, в которой рассматриваются несущественные модификации регулярных систем.

Реальность, однако, намного сложнее; хаотические системы находятся вне пределов теории возмущений и составляют вторую область. Поскольку первый подробный анализ таких систем был проведен Пуанкаре, обозначим эту область P в его честь. Она включает хаотические динамические системы, которые составляют основной предмет исследований современной науки (см. статью: Дж. Кратчфилд, Дж. Фармер, Н. Паккард, Р. Шоу. Хаос, «В мире науки», 1987, № 2). Среди этих систем находятся все фундаментальные проблемы механики, начиная с задачи трех тел (а не только двух), взаимодействующих друг с другом, таких, как Земля, Луна и Солнце, три атома в молекуле воды или три кварка в протоне.

Квантовая механика в представлениях, рассматриваемых в течение почти 90 лет, относится к третьей области, обозначенной Q. После первых работ Планка, Эйнштейна и Нильса Бора квантовой механике, начиная с 1924 г., всего за четыре года была придана окончательная форма. Плодотворная деятельность Луи де Бройля, Вернера Гейзенберга, Эрвина Шредингера, Макса Борна, Вольфганга Паули и Пауля Дирака выдержала экспериментальную проверку без малейших отклонений и обогатила физику математической структурой, которая, согласно Дираку, позволила понять «большую часть физики и всю химию». Но несмотря на то, что большинство физиков и химиков уже научились справляться с решением специальных проблем квантовой механики, им все же приходится сталкиваться с невероятными трудностями в этой области. Эти вопросы совсем другого характера, чем сложные концептуальные проблемы, связанные с интерпретацией положений квантовой механики.

Три области — R (классические простые системы), P (классические хаотические системы) и Q (квантовые системы) — соединены отдельными связями. Связь между R и Q известна

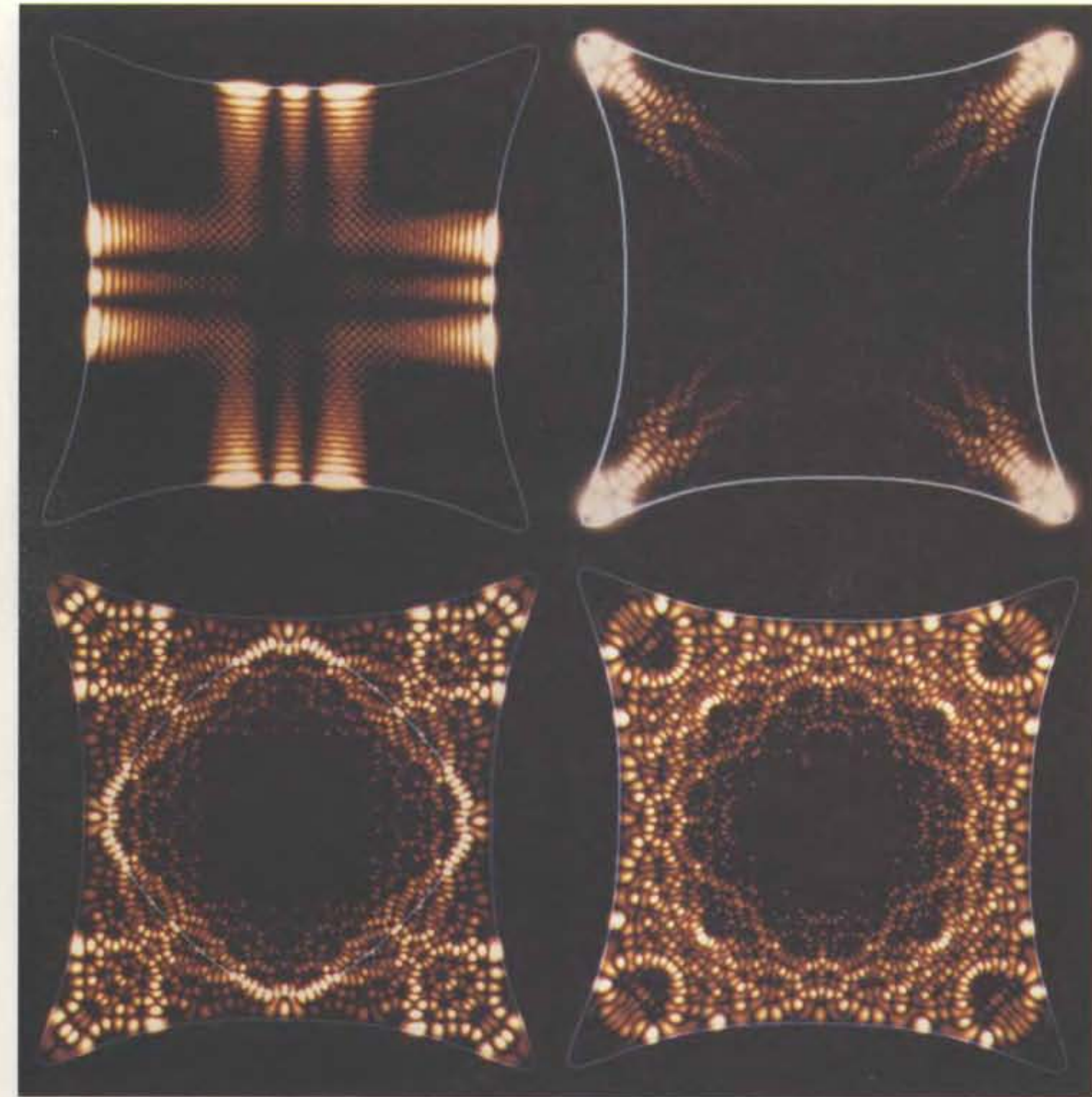
как принцип соответствия Бора. Принцип соответствия гласит, что квантовая механика должна включать классическую механику в предельном случае, когда рассматриваемые объекты становятся намного больше размеров атомов. Основная связь между областями R и P — это теорема Колмогорова — Ариольда — Мозера (КАМ). КАМ-теорема служит действенным инструментом для выявления

структур правильной системы, «выживающих» при введении малых возмущений; таким образом, теорема позволяет определять возмущения, которые вызывают хаотическое поведение у регулярных систем.

Квантовый хаос связан с установлением связи между областями P и Q. При установлении этой связи полезно ввести понятие фазового пространства. Удивительно, но это понятие, ко-

торое сейчас широко используется специалистами в области динамических систем, появилось еще во времена Ньютона.

Упоминание о фазовом пространстве можно встретить в ньютоновских «Математических принципах натуральной философии», опубликованных в 1687 г. Во втором определении первой главы, названной «Дефиниции», Ньютон утверждает (как пе-



СТАЦИОНАРНЫЕ СОСТОЯНИЯ, или волновые пакеты, связанные с энергетическими уровнями атома Ридберга (сильно возбужденного атома водорода), в сильном магнитном поле могут проявлять хаотическое поведение. Состояния, показанные на двух верхних изображениях, выглядят регулярными, нижние два — хаотическими. Состо-

яние, изображенное внизу слева, расположено в основном вдоль периодической орбиты. Изображение внизу справа интерпретировать сложно, за исключением четырех зеркальных симметрий по отношению к вертикальной, горизонтальной и двум диагональным линиям.



РАЗДЕЛЕНИЕ механики на три области, связанные между собой. Квантовый хаос отмечается установлением связи между областями P и Q.

реведено с латинского оригинала в 1792 г.): «Количество движения есть мера движения, обусловленного скоростью и количеством материи». Выражаясь современным языком, это означает, что для каждого объекта существует величина, называемая импульсом, равная произведению массы и скорости объекта.

Законы движения Ньютон описал во второй главе, названной «Аксиомы, или законы движения». Второй закон гласит, что изменение движения пропорционально приложенной движущей силе. Ньютон связывает силу с изменением импульса (а не с ускорением, как в большинстве учебников).

В действительности, импульс является одной из двух величин, которые вместе дают полную информацию о динамической системе в любой момент времени. Предположение Ньютона о двойственной природе импульса и координаты было пересмотрено через 150 лет двумя математиками — У. Гамильтоном и К. Якоби. Пара импульс и координата теперь рассматривается не в «старом добром» трехмерном евклидовом пространстве, а в фазовом пространстве, которое имеет шесть размерностей: три для координаты и три для импульса.

С математической точки зрения введение фазового пространства было замечательным шагом, но с точки зрения человеческой интуиции — серьезным шагом назад. Кто может представить себе шесть измерений? К счастью, в некоторых случаях фазовое пространство может быть сведено к трем или даже двум измерениям.

Такое снижение размерности возможно при исследовании поведения атома водорода в сильном магнитном поле. Атом водорода долго считался наиболее удобной системой для исследования благодаря своей про-

стоте: единственный электрон движется вокруг протона. Однако при воздействии внешнего магнитного поля классическое движение электрона становится хаотическим. Можно ли претендовать на понимание физики, если мы не в состоянии объяснить даже такой простой проблемы?

При нормальных условиях электрон в атоме водорода прочно связан с протоном. Поведение этого атома управляется законами квантовой механики. Атом не может принимать энергию произвольно — только дискретные, или квантованные, порции энергии. При низких энергиях эти разрешенные значения сильно отличаются. Когда энергия атома возрастает, атом увеличивается, поскольку электрон все сильнее удаляется от протона, и разрешенные значения энергии становятся ближе друг к другу. При достаточно высоких энергиях (но не слишком высоких, иначе атом лишится своего электрона!) разрешенные значения энергии будут сближаться, образуя непрерывный спектр, и тогда вступают в силу законы классической механики.

Такой сильно возбужденный атом называют атомом Ридберга [см. статью: Daniel Kleppner, Michael G. Littman, Myron L. Zimmerman. Highly Excited Atoms, "Scientific American", May 1981]. Атом Ридберга находится в промежуточном состоянии между квантовым и классическим мирами и поэтому является идеальным объектом для изучения принципа соответствия Бора, который связывает области Q и R. Если бы атом Ридберга мог демонстрировать хаотическое поведение в классическом смысле, это дало бы ключ к загадке природы квантового хаоса и пролило бы свет на промежуточное состояние между областями Q и P.

Атом Ридберга ведет себя хаотически в сильном магнитном поле, но чтобы это наблюдать, надо уменьшить размерность фазового пространства. Следует отметить, что присутствие магнитного поля задает ось симметрии в атоме. При этом электрон движется в двумерной плоскости; движение вокруг оси отсутствует, но сохраняется движение электрона вдоль и перпендикулярно оси. Симметрия такого движения уменьшает размерность фазового пространства с шести измерений до четырех.

Благодаря отсутствию воздействия внешних сил на электрон полная энергия остается неизменной во времени. Фиксируя определенное значение энергии, из 4-мерного фазового пространства можно выделить 3-мерную часть, называемую энергетической оболочкой. С ее помощью можно проследить кручение и повороты электрона — траекторию, напоминающую запутанную проволочную конструкцию. Окончательную упрощенную картину движения электрона можно получить, опираясь на простую идею Пуанкаре. Он предложил использовать фиксированную двумерную плоскость (называемую сечением Пуанкаре или поверхностью сечения) через энергетическую оболочку и следить за точками, в которых траектория пересекает эту поверхность. Сечение Пуанкаре вместо «запутанной проволочной конструкции» позволяет оперировать с последовательностью точек на обычной плоскости.

Сечение Пуанкаре для сильно возбужденного атома водорода в сильном магнитном поле показано на рисунке на с. 17. Те области фазового пространства, где нет большого разброса точек, соответствуют хаотическому поведению. Такое расположение точек служит явным признаком классического хаоса и позволяет разделять системы, относя их либо к области P, либо к области R.

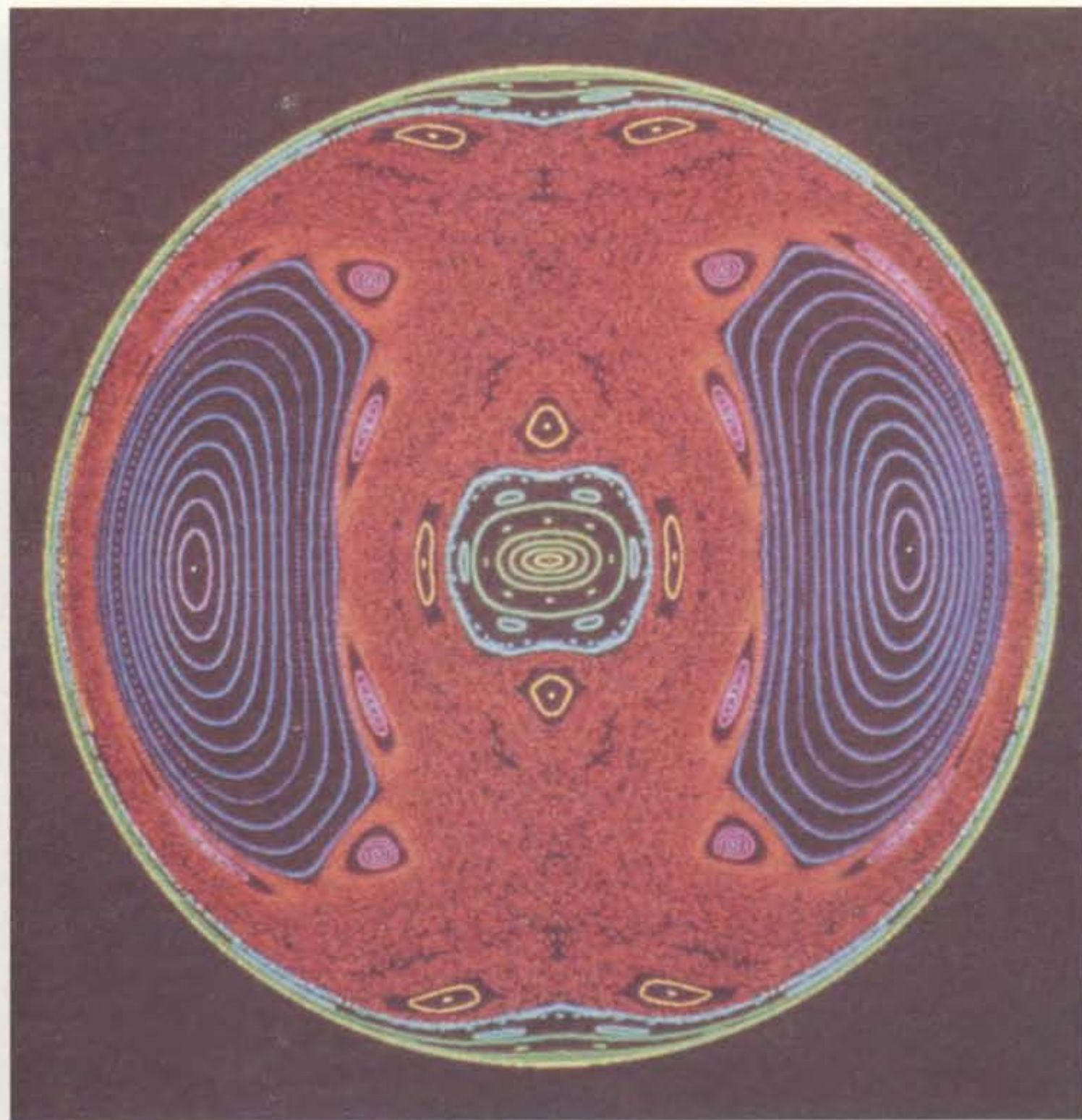
Что можно сказать, исследуя атом Ридберга, о связи между областями P и Q? Я уже отмечал, что одной из отличительных черт квантовомеханической системы являются квантованные уровни энергии, которые оказываются на первом месте при поиске квантового хаоса. Однако хаос проявляется не на каком-то определенном энергетическом уровне, скорее его присутствие можно обнаружить в спектре, или в распределении, уровней. Несколько парадоксальным представляется то, что в нехаотических квантовых системах энергетические уровни расположены беспоря-

дно и никак не коррелированы, в то время как энергетические уровни хаотической квантовой системы строго коррелированы (см. рисунок сверху на с. 18). Уровни такой регулярной системы обычно расположены близко друг к другу, поскольку она состоит из меньших подсистем, которые никак не связаны между собой. Однако энергетические уровни хаотической системы, вероятно, «чувствуют» влияние соседних уровней и пы-

таются сохранять определенную дистанцию. Хаотическую систему невозможно разделить на более мелкие составляющие; движение вдоль одной координатной оси всегда связано с тем, что происходит вдоль другой оси.

Впервые спектр хаотической квантовой системы был получен Ю. Вигнером, одним из основоположников квантовой механики. Вигнер, как и многие другие, отмечал, что ядерная

физика не обладает рядом преимуществ атомной и молекулярной физики, поскольку еще полностью не ясна природа ядерной силы. Он попытался выяснить, можно ли получить статистические свойства ядерных спектров, располагая большим числом параметров в задаче с некоторыми неизвестными значениями. Этот достаточно неопределенный первый шаг позволил ему получить наиболее вероятную формулу для распределения



СЕЧЕНИЕ ПУАНКАРЕ АТОМА ВОДОРОДА в сильном магнитном поле имеет области (оранжевые), где точки траектории электрона находятся далеко друг от друга, что указывает на хаотическое поведение. Сечение выделено из

фазового пространства — абстрактного шестимерного пространства: три обычных измерения для координат частицы и три дополнительных для ее импульса.

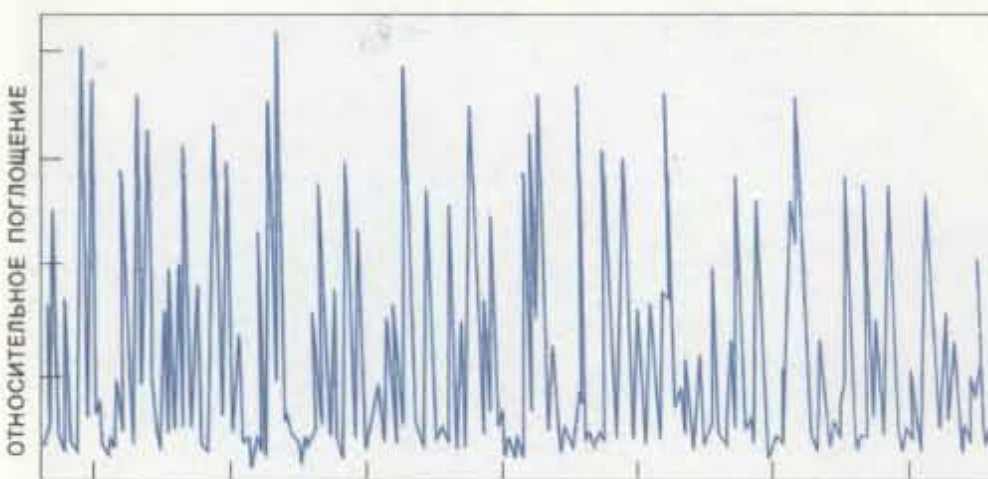


СПЕКТР ЭНЕРГИИ, или распределение энергетических уровней, заметно отличается для хаотической и нехаотической квантовых систем. Для нехаотической системы, такой, как молекулярный ион водорода (H_2^+), вероятность нахождения двух энергетических уровней близко друг к другу, достаточно высока. Для хаотической системы, такой, как атом Ридберга в сильном магнитном поле, эта вероятность низка. Этот хаотический спектр очень напоминает обычный ядерный спектр, полученный много лет назад Ю. Вигнером.

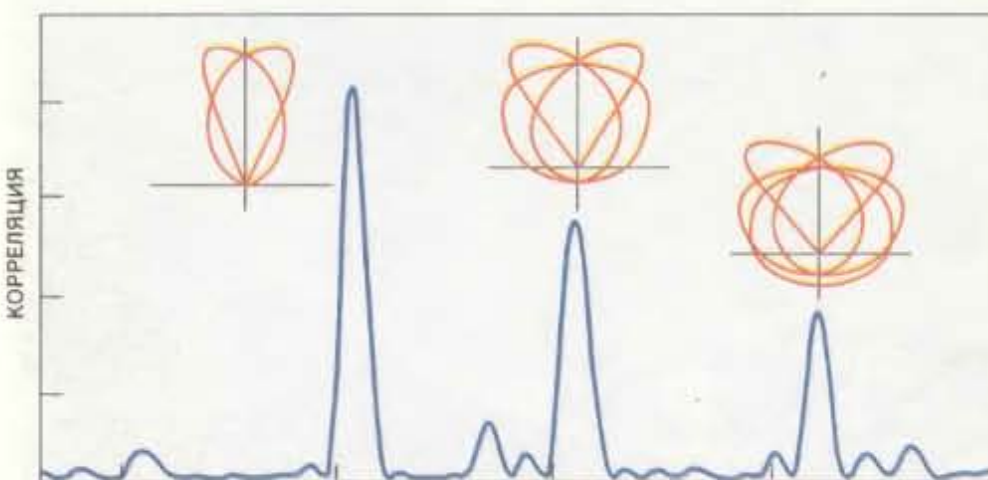
энергетических уровней. О. Бохигас и М.-Дж. Джианнони из Института ядерной физики в Орсе (Франция) показали, что вигнеровское распределение точно соблюдается для спектра хаотической динамической системы.

Как представляется, хаос проявляется не только в распределении квантованных энергетических уровней, но оказывает влияние и на волно-

вую природу квантового мира. Положение электрона в атоме водорода описывается с помощью волнового пакета. Электрон не может быть точно локализован в пространстве: он подобен облаку, окутывающему протон. Стационарное состояние, связанное с каждым разрешенным энергетическим уровнем, характеризуется волновым пакетом, который не изменяется во времени. Такое стационарное



УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ



ВРЕМЯ (ПЕРИОД)

ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА атомом водорода в сильном магнитном поле происходит беспорядочно в зависимости от энергии (вверху), но с помощью математической процедуры, называемой фурье-анализом, можно выявить отдельные четкие пики (внизу). Каждый пик связан с определенной классической периодической орбитой (показаны красным цветом рядом с соответствующим пиком).

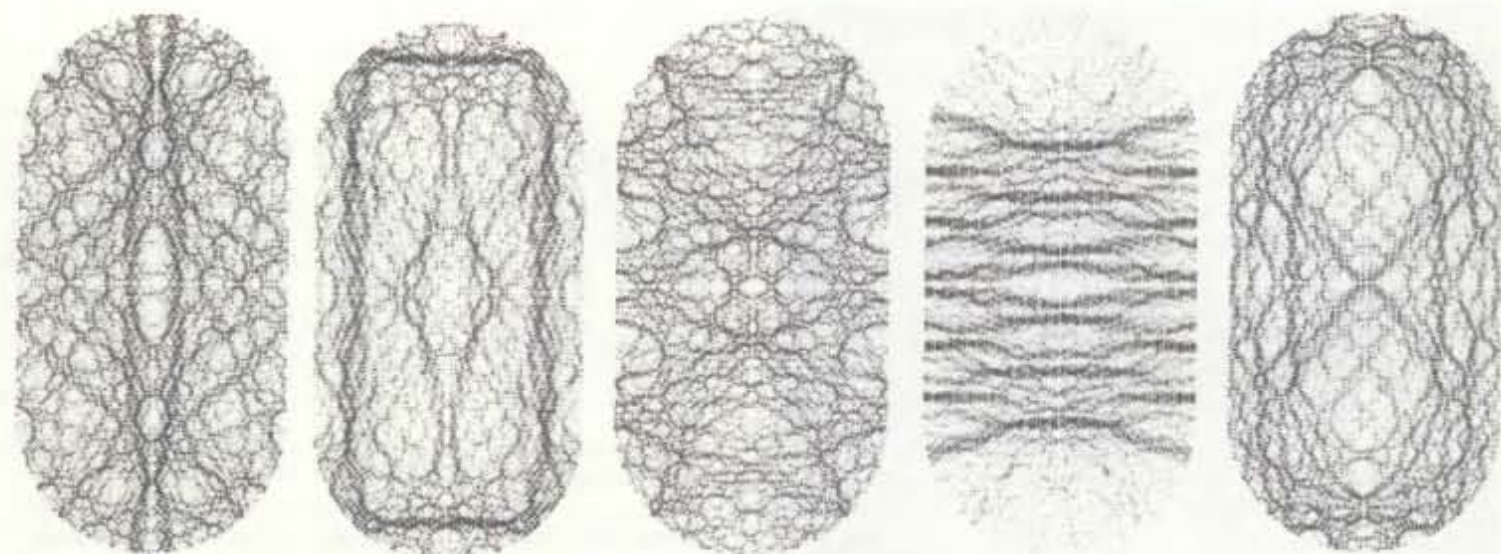
состояние почти точно соответствует колебательному спектру мембраны, натянутой на жесткую раму, как у барабана.

Очень интересна структура стационарных состояний хаотической системы, как показал в начале 80-х годов Э. Геллер из Вашингтонского университета. Вместе со студентами он рассчитал серию стационарных состояний для двумерного резонатора, напоминающего по форме стадион. Известно, что соответствующая задача в классической механике, демонстрирующая хаотическое поведение, для обычной траектории вполне успешно решает большинство имеющихся вопросов. На первый взгляд кажется, что такое хаотическое поведение должно диктовать беспорядочное образование стационарных состояний. Геллер, напротив, обнаружил, что большинство стационарных состояний сконцентрировано вокруг узких каналов, образующих простые фигуры внутри «стадиона»; он назвал эти каналы «шрамами» (см. рисунок на с. 19). Похожую структуру можно обнаружить для стационарных состояний атома водорода в сильном магнитном поле (см. рисунок на с. 15). Гладкость таких квантовых волновых структур сохраняется от точки к точке, но при рассмотрении картины в целом можно обнаружить проявление хаоса.

Хаотические признаки энергетического спектра можно связать с представлениями обычной классической механики. Основа такого подхода была заложена Эйнштейном в 1917 г. Он исследовал фазовое пространство регулярной системы из области R и описал ее геометрию с помощью поверхностей в форме тора; движение системы характеризуется движением точки по поверхности определенного тора. Траектория на поверхности тора регулярная, но не обязательно замкнутая.

Согласно эйнштейновскому описанию, для нахождения энергетических уровней аналогичной квантовой механической системы достаточно просто применить принцип соответствия Бора. В природе могут существовать только те траектории, для которых поперечное сечение тора содержит целое число постоянных Планка h (2π фундаментального кванта углового импульса, имеющего размерность импульса, умноженного на длину). Оказывается, что это число постоянных Планка точно определяет соответствующий энергетический уровень рассматриваемой квантовой системы.

Эйнштейн ясно понимал, что, к сожалению, его метод непригоден для



ЧАСТИЦА В ОБЛАСТИ, напоминающей по форме стадион, имеет хаотические стационарные состояния, которые связаны с волновыми пакетами, выглядящими менее хаотич-

но, чем можно было ожидать. Большинство состояний сконцентрировано вокруг узких каналов, которые образуют простые фигуры, названные «шрамами».

хаотических систем, для траектории, не лежащей на поверхности тора, и не существует области, в которую вошло бы целое число постоянных Планка. Необходимо было найти новый подход, чтобы объяснить распределение квантомеханических уровней энергии с помощью хаотических орбит классической механики.

Какая из особенностей классической траектории может помочь проникнуть в природу хаоса? Ключ к этому дает исследование Хилла, в котором рассматривается нерегулярная из-за влияния Солнца орбита Луны. В его работе впервые было указано на то, что изучение периодической орбиты лежит в основе сложной механической задачи. (Периодическая орбита подобна замкнутой траектории, по которой «пробегает» система; существует много таких орбит, хотя они изолированы и нестабильны.) Пуанкаре также подчеркивал особое значение исследования периодических орбит. В начале его трехтомной работы «Новые методы небесной механики», которая появилась в 1892 г., он выразил уверенность, что периодические орбиты «представляют единственный путь, по которому мы, может быть, проникнем в крепость, которая считалась неприступной». Фазовое пространство для хаотической системы можно построить по крайней мере частично вокруг периодических орбит, хотя их иногда очень сложно отыскать.

В 1970 г. МНОЮ был открыт достаточно общий способ извлечения информации о квантомеханическом спектре из полного набора классических периодических орбит. Математические тонкости слишком сложны,

чтобы излагать детали метода, но основным его результатом является относительно простое выражение, называемое формулой следа. Этот подход уже применяют некоторые исследователи, в том числе М. Берри из Бристольского университета, который использовал формулу следа для получения статистических свойств такого спектра.

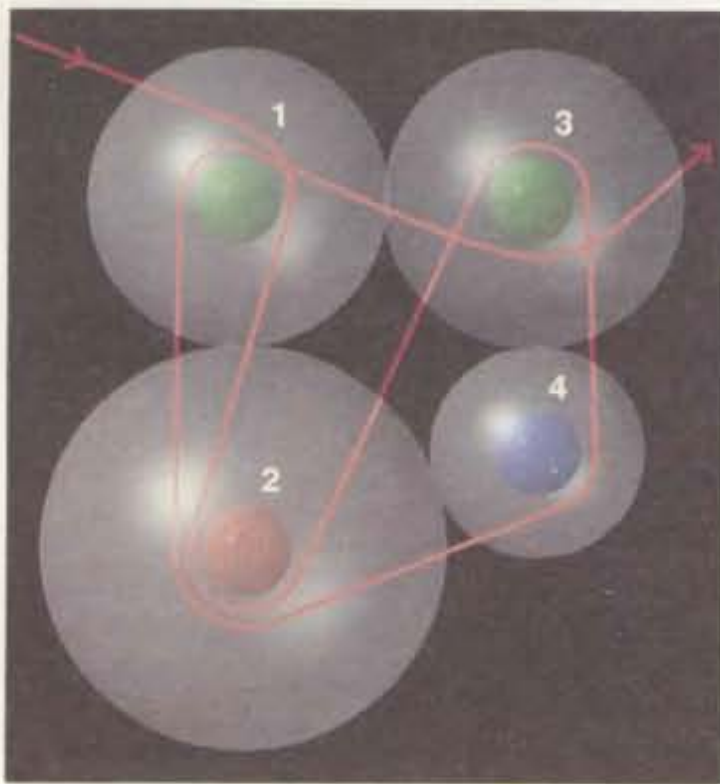
Я использовал эту формулу для вычисления 24 самых низких уровней энергии электрона в кристаллической решетке полупроводника вблизи примесных атомов, количество которых строго контролировалось. (Полупроводник — основной элемент множества современных устройств; благодаря наличию примесей электрическая проводимость такого материала больше, чем изолятора типа пластика, но меньше, чем проводника, такого, как медь.) Траекторию электрона можно задать единственным способом с помощью некоторого набора знаков, имеющих простое объяснение. Для этого проведем ось через полупроводник и будем фиксировать пересечение оси траекторией. Пересечение положительной оси даст знак «+», пересечение отрицательной — знак «-».

Такая запись траектории напоминает подбрасывание монеты. Даже если прошлое известно во всех деталях и все пересечения были зафиксированы, будущее все равно остается неопределенным. Последовательность пересечений может быть выбрана произвольно. Периодическая орбита теперь представляет собой чередование знаков; простейшее — это (+ -), затем (+ + -) и т.д. (Два пересечения под ряд с одинаковым знаком указывают на то, что электрон был временно захвачен.) Таким образом, перечислены

все периодические орбиты и можно рассчитать приблизительный спектр с помощью формулы следа. Другими словами, квантомеханические уровни энергии получаются в приближении, которое основано на использовании только классических величин.

Такие классические периодические орбиты и квантомеханический спектр тесно связаны друг с другом математической процедурой, называемой фурье-анализом (см. статью: Р. Брейсуэлл, Преобразование Фурье, «В мире науки», 1989, № 8). Скрытая регулярность одного набора и частота ее проявления точно описываются с помощью другого набора. Эта идея была использована Дж. Делосом из Уильям-Колледжа и Марией и Дитером Винтгенами из Института ядерной физики Общества им. Макса Планка в Гейдельберге для интерпретации спектра атома водорода в сильном магнитном поле.

Экспериментальное исследование такого спектра было осуществлено К. Вельге и его коллегами из Билефельдского университета; при этом атомы водорода возбуждались вблизи точки ионизации, где электрон отрывается от протона. Энергии, при которых атомы поглощают излучение, кажутся неупорядоченными (см. верхнюю часть рисунка внизу на с. 18), но с помощью фурье-анализа из беспорядочного набора пиков можно выделить ряд отчетливых пиков (см. нижнюю часть рисунка внизу на с. 18), точно соответствующих классическим периодическим орбитам. Теперь утверждение Пуанкаре о значении периодических орбит приобретает новый смысл. От них в значительной степени зависит не только классическая структура фазового про-



ТРАЕКТОРИЯ ЭЛЕКТРОНА в молекуле во время рассеяния может быть представлена серией «левых» и «правых» поворотов вокруг атомов, составляющих молекулу (слева). Хаотическое изменение (вверху) проявляется во времени, которое необходимо рассеянному электрону с известным импульсом для достижения фиксированной контрольной точки. Это время изменяется как функция импульса электрона. Вариация плавная, когда изменение импульса мало, но при больших изменениях импульса проявляются сложные хаотические свойства. Величина, отложенная по вертикальной оси — фазовый сдвиг — является единицей измерения времени задержки.

странства, но и понимание хаотического квантового спектра.

ДО СИХ ПОР мы рассматривали только квантовые системы, в которых электрон либо захвачен, либо пространственно ограничен. Хаотические эффекты проявляются также в атомных системах, где электрон может перемещаться свободно, например при рассеянии на атомах в молекуле. В этом случае энергия не квантуется и электрон может иметь произвольное значение энергии, но эффективность рассеяния зависит от нее.

В квантовом рассеянии хаос проявляется в вариации продолжительности захвата молекулой электрона. Для упрощения рассмотрим двумерную задачу. Для электрона молекула, состоящая из четырех атомов, «выглядит» словно маленький лабиринт. Когда электрон достигает атома, у него появляются две возможности: повернуть либо налево, либо направо. Каждая из возможных траекторий электрона в молекуле может быть представлена в виде серии «правых» и «левых» поворотов вокруг атомов, пока частица не покинет молекулу. При этом все траектории нестабильны: даже чрезвычайно малое изменение энергии или начального направления вызовет значительное изменение направления выхода электрона из молекулы.

Хаос в таком процессе рассеяния проявляется в том, что число возможных траекторий резко увеличивается по мере движения электрона. Только

рассмотрение этого факта с позиций квантовой механики дает вполне приемлемое объяснение; чисто классические вычисления приводят к бессмысленным результатам. В квантовой механике каждой классической траектории электрона соответствует слабая волна, распространяющаяся по его пути через молекулу. Квантомеханический результат получается из простого суммирования всех таких слабых волн.

Недавно я изучал процессы рассеяния для специального случая с известной суммой слабых волн. Электрон с известным значением импульса «налетает» на молекулу и появляется с тем же значением импульса. Время достижения электроном фиксированной контрольной точки изменяется как функция импульса, и способ такого изменения — самое удивительное в этой задаче. Это время плавно изменяется при малых изменениях импульса, но при больших изменениях проявляются признаки хаоса, не согласующиеся ни с одной из простых моделей (см. рисунок вверху справа).

ОСОБЫЙ интерес хаотический процесс рассеяния вызывает в связи с тем, что он позволяет выявить связь между тайнами квантового хаоса и теорией чисел. Вычисление времени задержки подводит к одному из самых загадочных объектов математики — дзета-функции Римана. Еще Леонард Эйлер в середине XVIII в. впервые использовал ее, чтобы проде-

монстрировать существование бесконечного числа простых чисел (целое число, которое невозможно разделить на любое другое меньшее целое число, не равное 1). Примерно столетием позже Берихард Риман, один из основоположников современной математики, использовал эту функцию для изучения распределения простых чисел. В своей работе он назвал функцию греческой буквой «дзета».

Дзета-функция является функцией двух переменных, x и y (которые определены на комплексной плоскости). Чтобы разобраться в распределении простых чисел, Риман должен был выяснить, при каких условиях дзета-функция обращается в нуль. Без четких доказательств он утверждал, что дзета-функция обращается в нуль, когда x принимает значение $1/2$. Многочисленные вычисления подтвердили справедливость этого утверждения для первого миллиарда нулей, но ни один из математиков не смог привести доказательств. Если предположение Римана справедливо, то все интересные свойства простых чисел поддаются исследованию.

Значения y , при которых дзета-функция обращается в нуль, образуют ряд чисел, напоминающих энергетический спектр атома. Аналогично изучению распределения энергетических уровней в таком спектре можно исследовать распределение нулей дзета-функции. Тогда простые числа играют ту же роль, что и классические замкнутые орбиты атома водорода в магнитном поле: простые числа ука-

зывают на некоторые скрытые связи между нулями и дзета-функцией.

В задаче рассеяния нули дзета-функции определяют значения импульса при условии строгого изменения времени задержки. Хаос дзета-функции Римана особенно проявляется в недавно доказанной теореме: любой гладкой функции локально соот-

ветствует дзета-функция. В ней подразумевается, что эта функция может описывать любое хаотическое поведение квантовой системы. Если бы мы могли более искусно обращаться с математическим аппаратом квантовой механики, можно было бы найти много примеров локально гладких, но глобально хаотических явлений.

Наука и общество

Внутреннее дело

ДАВНО известно, что человеческий организм борется с инфекциями с помощью циркулирующих в кровотоке белков, называемых антителами, которые связываются с попавшими в кровь чужеродными агентами — бактериями, вирусами, клетками другого организма или отдельными молекулами, например токсинами. При заражении организма вирусом антитела могут вывести из строя те вирусные частицы, которые еще не успели проникнуть в клетки. Считалось, что попавший внутрь клетки вирус уже не доступен для антител.

Теперь появились основания полагать, что антитела являются более «проникающим» защитным средством. В опубликованном осенью прошлого года сообщении группы исследователей из Медицинской школы Университета Джонса Гопкинса утверждается, что с помощью антител возможна элиминация вируса внутри нейронов (нервных клеток). Этот до сих пор не замеченный иммунологический механизм, по-видимому, обеспечивает защиту нервной системы и, предположительно, других тканей.

Иммунная система организма избавляет его от зараженных клеток весьма эффективно, но «грубо». Клетки, называемые цитотоксическими Т-лимфоцитами, распознают зараженные клетки и уничтожают их с помощью ферментов. Окружающая ткань ликвидирует ущерб, заменяя утраченные клетки новыми.

Однако эта иммунологическая стратегия не реализуется в нервной системе. У млекопитающих зрелые нейроны, как правило, не размножаются, поэтому, если Т-клетки уничтожат аномальные нейроны, в головном и спинном мозге появятся неисчезающие «бреши».

С целью изучить, каким образом нейроны справляются с вирусами, Д. Гриффин и ее коллеги заражали мышей, у которых от рождения отсутствует иммунная система, вирусом, размножающимся в нервных клетках. У тех животных, которых после заражения не подвергали более

никаким воздействиям, инфекция сохранялась в течение всего эксперимента. А у особей, которым вводили антитела нормальных мышей, имевших контакт с тем же вирусом, нервная система за 48 часов очищалась от вирусных частиц.

Видимо, антитела мешали ранним стадиям репликации вируса — транскрипции вирусных генов или синтезу вирусных белков, осуществляемым за счет аппарата клетки-хозяина.

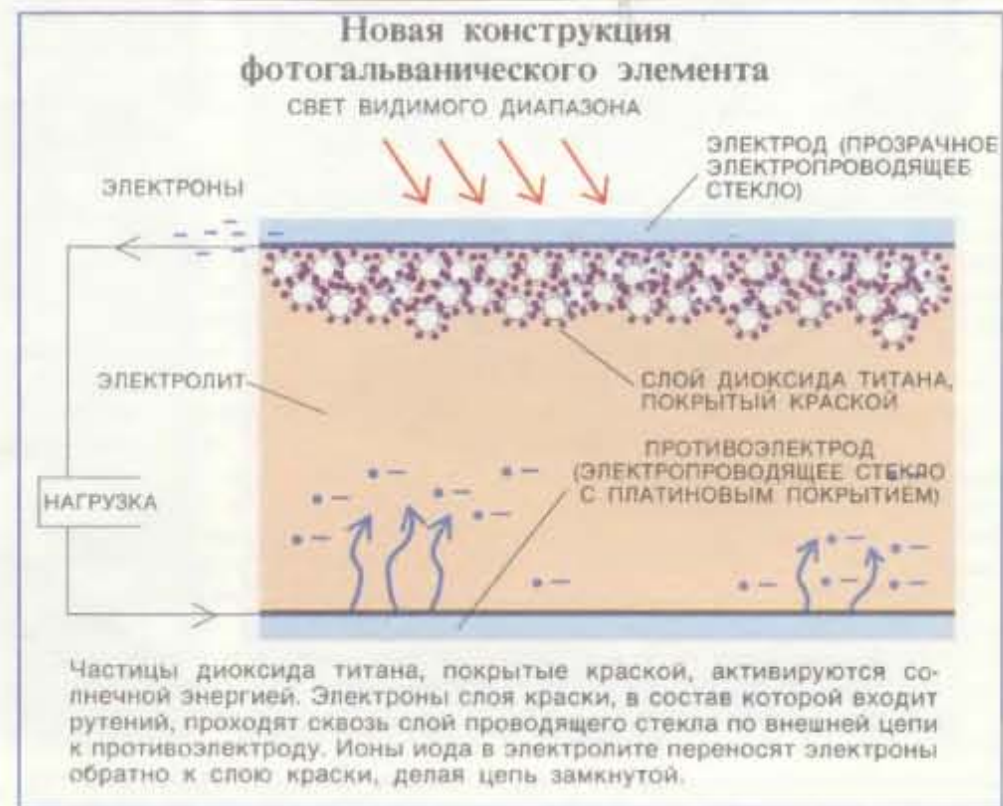
Коллега Гриффин Б. Левин предложил два альтернативных объяснения элиминации вирусных частиц из нейронов. Возможно, что антитела проникают в клеточные тела и взаимодействуют с реплицирующимися вирусными компонентами. Как показали исследования, нейроны могут поглощать антитела в области синапсов (специальных участков контакта между нервными клетками); смысл этого поглощения неизвестен. Другая возможность состоит в том, что антите-

ла связываются с вирусными частицами на поверхности нейронов и этим инициируют внутриклеточные изменения, ведущие к прекращению репликации вируса. По словам Левина, сейчас предпринимаются попытки выяснить, какой механизм реализуется в действительности.

Как отмечается в статье, опубликованной в журнале "Science", экспериментальная обработка антителами эффективно защищала от некоторых неврологических инфекций. Предполагалось, что эффект этой обработки обусловлен сдерживанием распространения вируса вне клеток. В свете новых данных представляется возможным, что антитела также прекращали размножение вируса внутри нейронов. Но даже в этом случае антитела не обеспечивали совершенную защиту нервных клеток от вирусной инфекции. Хронические неврологические инфекции, такие как герпесная, персистируют в организме человека даже при полноценно функционирующей иммунной системе.

По мнению Левина, не исключено, что антитела могут быть важны для ликвидации вирусных частиц не только в нейронах, но и в клетках других типов. В настоящее время он и его коллеги ищут доказательства этого в тканях помимо мозга. Однако основное внимание исследователи уделяют возможностям применения сделанных открытий для лечения неврологических инфекций.

Джон Ренни



Подробнее о достижениях в области создания новых фотогальванических элементов см. заметку «Новые солнечные элементы» в журнале «В мире науки» № 2, 1992 г., с. 88.

Как клетки поглощают глюкозу

Глюкоза — одно из важнейших питательных веществ — может проникнуть в клетку лишь с помощью специального переносчика. В последнее время прояснились структура и функция этого белка, а также механизм его регуляции инсулином

ГУСТАВ Э.ЛИНХАРД, ЯН У.СЛОТ,
ДЕЙВИД Э.ДЖЕЙМС, МАЙК М.МЬЮКЛЕР

ГЛЮКОЗА в процессах метаболизма служит универсальной «валютой». Независимо от ее источника — поступила ли она из кишечника или образовалась в печени — глюкоза разносится с кровью ко всем тканям организма, где используется в качестве энергетического ресурса или первичного предшественника углеводов-содержащих соединений. Путь проникновения глюкозы внутрь клетки довольно сложен. Ее переносит туда специальный белок, погруженный в клеточную мембрану. В последнее десятилетие работами нескольких лабораторий, в том числе нашей, удалось во многом выяснить структуру и механизм действия этого белка. На сегодняшний день выявлено пять молекулярных форм переносчика глюкозы, причем каждая из них приспособлена к метаболическим нуждам той ткани, в которой содержится.

События, происходящие при посредстве этих жизненно важных молекул, начинаются при поедании углеводов. В кишечнике они перевариваются с образованием свободной глюкозы, которая затем транспортируется в кровяное русло. В результате в крови возрастает содержание глюкозы, что стимулирует секрецию инсулина бета-клетками поджелудочной железы.

Инсулин снижает уровень глюкозы двумя путями: под его влиянием предотвращается высвобождение из печени дополнительных количеств глюкозы и усиливается ее поглощение мышечными и жировыми клетками. В мышечных клетках из глюкозы образуется полимер гликоген, способный вновь превращаться быстро в глюкозу. В жировых клетках глюкоза запасается в виде капелек жира, являющегося формой ее длительного хранения. Как только содержание глюкозы в крови понижается, бета-клетки перестают секретировать инсулин и метаболизм

организма возвращается в исходное состояние.

При слишком высоком уровне инсулина содержание глюкозы в крови снижается чрезмерно, что приводит к гипогликемии. В этих условиях мозг, основным питанием которого является глюкоза, оказывается лишенным энергии и в результате может наступить смерть. Если же инсулина недостаточно, равно как и при отсутствии чувствительности к нему в мышечных и жировых клетках, содержание сахара в крови повышается чересчур сильно, приводя к гипергликемии. Высокая концентрация молекул сахара создает осмотический дисбаланс, вызывающий отток воды из тканей в кровь. В почках в свою очередь усиливается выделение с мочой воды и солей. При тяжелой гипергликемии обезвоживание и потеря солей могут закончиться комой и даже летальным исходом. Более мягкие формы гипергликемии, вероятно, вносят лепту в такие характерные для сахарного диабета осложнения, как сердечные приступы, паралич, потеря зрения, почечная недостаточность и гангрена конечностей.

При инсулиновой недостаточности развивается инсулинзависимый сахарный диабет (ИЗСД), или диабет типа I. Эта форма диабета обычно наблюдается у детей и подростков при поражении бета-клеток поджелудочной железы в результате аутоиммунной реакции (см. статью: М. Аткинсон, Н. Макларен. В чем причина диабета? «В мире науки», № 9, 1990). Не зависящий от инсулина сахарный диабет (ИНСД), или диабет типа II, обычно развивается в более позднем возрасте и встречается значительно чаще; в США им страдает примерно 5% населения старше 40 лет. Поскольку на ранних стадиях ИНСД у многих больных не отмечается отсутствия инсулина, можно думать, что болезнь обусловлена нарушением нормального гормо-

нального эффекта в мышечных, жировых и печеночных клетках.

Поглощение глюкозы клеткой — процесс не столь простой, как может показаться на первый взгляд. Клетка может выжить, лишь предотвращая смешивание своего содержимого с окружающей ее водной средой. Это обеспечивается клеточной мембраной — двойным слоем липидных молекул, отталкивающих воду и легко растворяющиеся в ней вещества, такие как глюкоза. (Поэтому липиды называют гидрофобными, а глюкозу — гидрофильной.) Однако из-за наличия такой мембраны клетка не способна поглощать глюкозу путем простой диффузии, и потому необходим специальный механизм — молекула-переносчик.

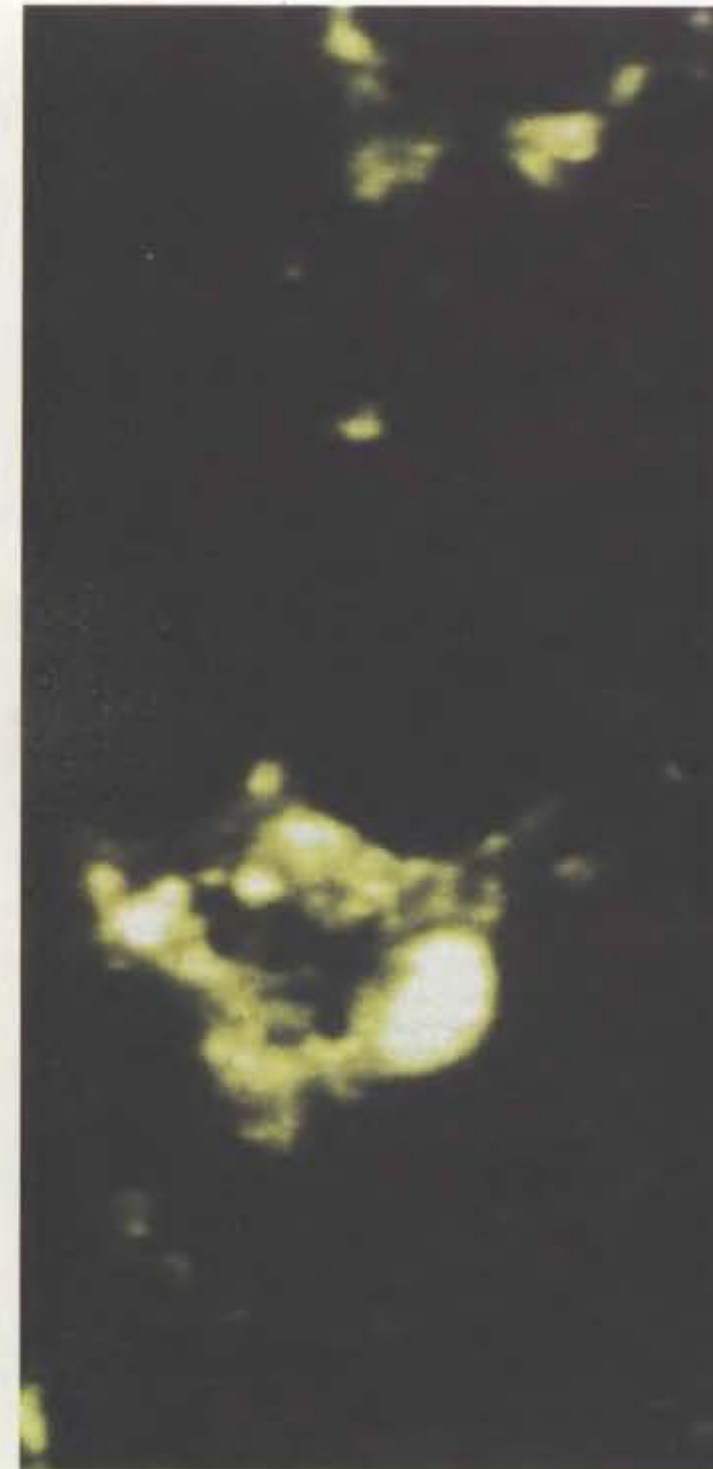
ПЕРВЫЙ переносчик глюкозы выделили из эритроцитов человека М. Касахара и П. Хинкл из Корнеллского университета. Через 8 лет в совместной работе под руководством одного из авторов данной статьи, а именно Мьюклера, и Х. Лоддша из Уайтхедовского института медико-биологических исследований, была установлена аминокислотная последовательность этого белка. Они использовали непрямой подход, который на сей раз был наипростейшей стратегией: выделили ДНК, кодирующую данный белок, определили ее нуклеотидную последовательность и по ней установили согласно генетическому коду аминокислотную последовательность белка.

Белок — переносчик глюкозы, выделенный Касахарой и Хинклом, представляет собой одну полипептидную цепь из 492 аминокислотных остатков, организованных, по-видимому, в 25 сегментов. Из них 13 преимущественно гидрофильны и должны, следовательно, предпочитать

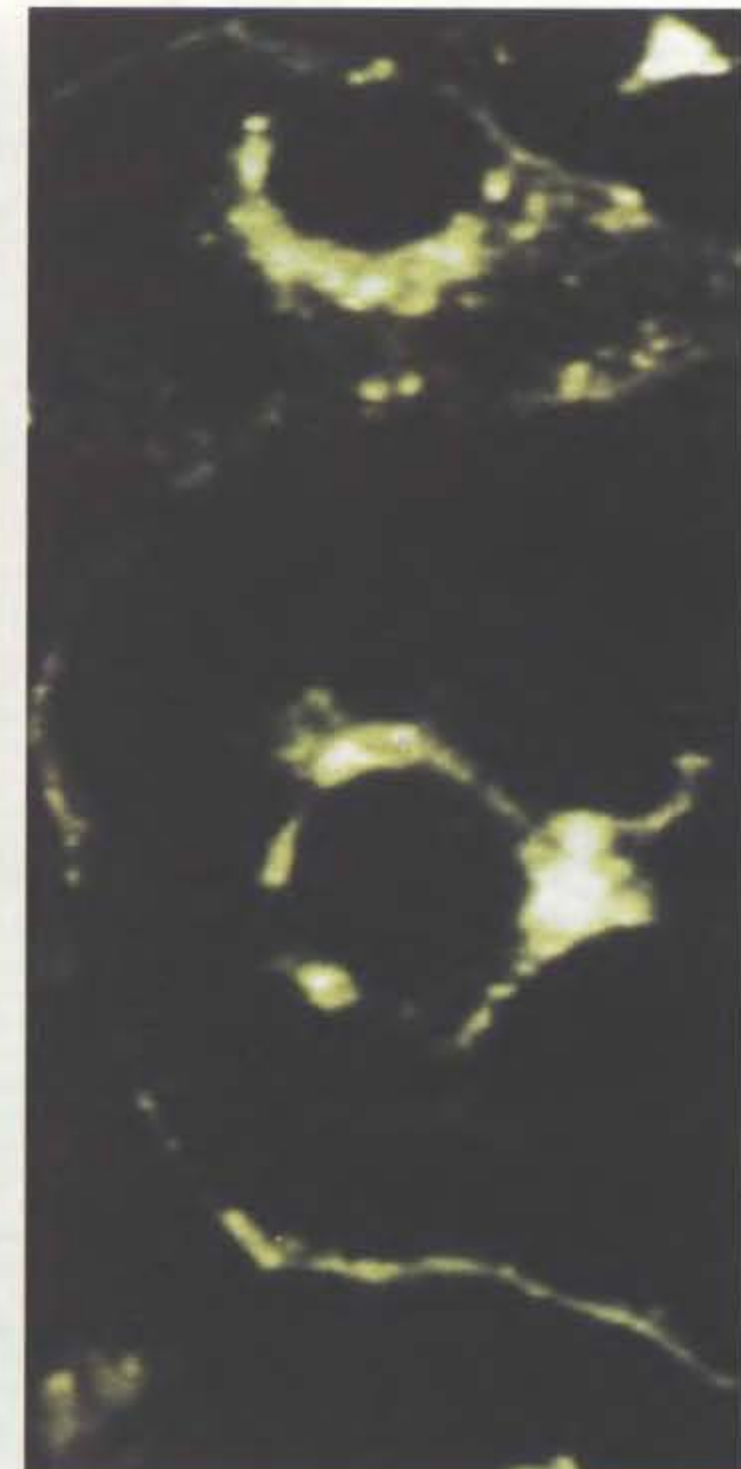
водное окружение — внеклеточную среду и внутриклеточное содержимое. С ними чередуются 12 преимущественно гидрофобных сегментов, обладающих сродством к липидному окружению — клеточной мембране. Такая организация переносчика наряду с прямыми химическими данными о тех частях белковой молекулы, которые обращены внутрь эритроцита и наружу, дает основание думать, что полипептидная цепь белка изгибается зигзагом, пересекая мембрану 12 раз (см. рисунок на с. 24).

Каким образом такая структура осуществляет перенос глюкозы в клетку? Очевидно, она должна как-то образовывать в мембране пору. Остроении этой поры можно строить предположения, исходя из складчатой организации полипептидной цепи и аминокислотной последовательности трансмембранных сегментов. Спектрофотометрические данные свидетельствуют, что каждый сегмент закручен в спираль — до 80% всей полипептидной цепи спирализовано. Поскольку по своей общей форме спи-

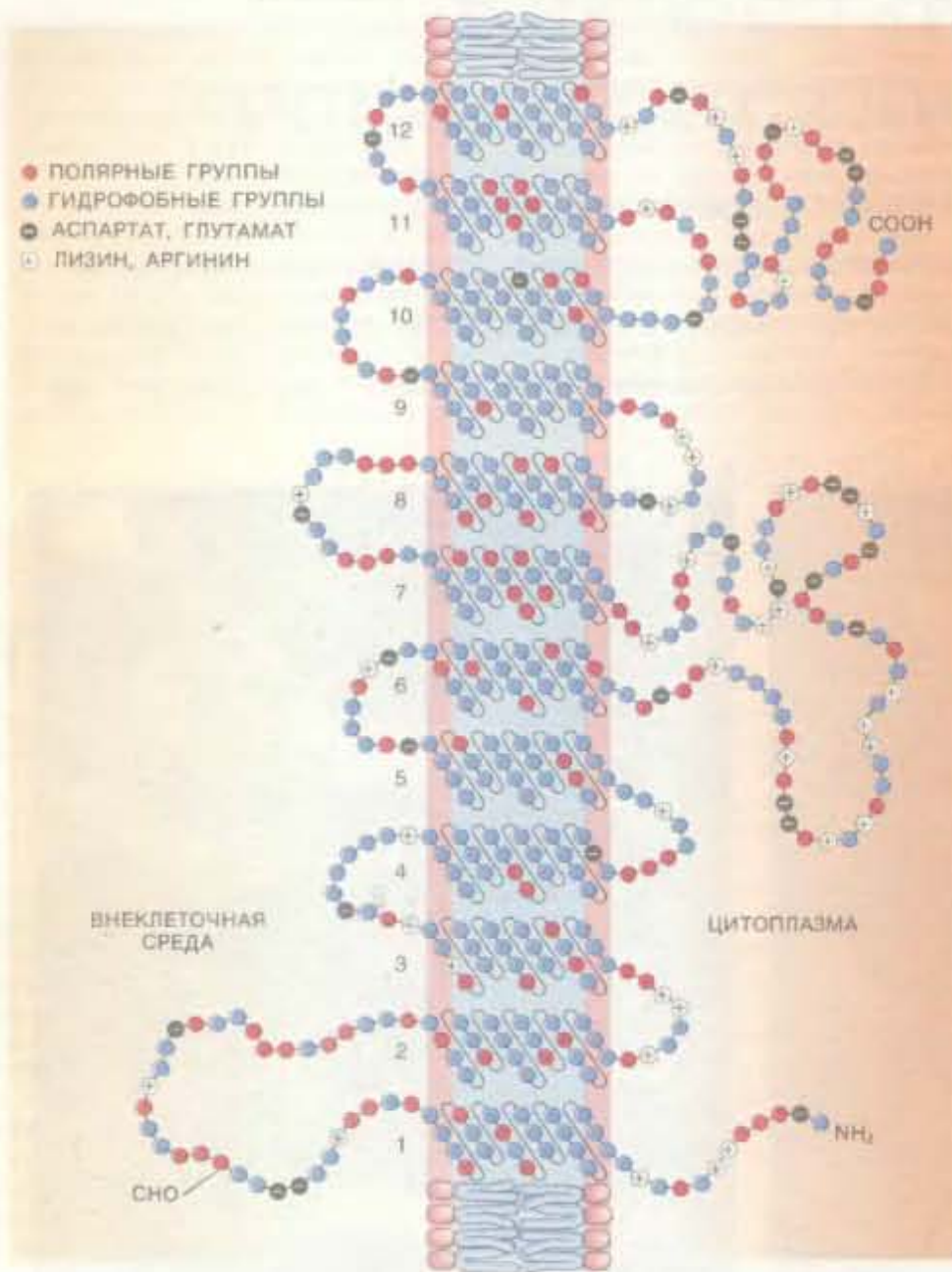
раль представляет цилиндр, реакционноспособные группы аминокислот должны располагаться на его поверхности с определенной периодичностью. Оказалось, что в пяти трансмембранных сегментах (№№ 3, 5, 7, 8 и 11) на одной стороне цилиндра находятся гидрофильные группы, а на другой — гидрофобные. Эти сегменты, соединенные так, что их гидрофобные стороны, «смотрящие» наружу от их общей оси в направлении остальных трансмембранных сегментов и липидного окружения мембра-



ПЕРЕНОСЧИК ГЛЮКОЗЫ перемещается из внутренних компартментов жировой клетки к ее поверхности. Молекулы этого белка, обозначаемого GLUT4, выявлены при помощи связавшихся с ними антител, несущих флуоресцентную



метку (зеленое свечение). Без инсулина они группируются вокруг клеточных ядер (слева), а после его воздействия часть их оказывается на поверхности клеток (справа).



ПРЕДПОЛАГАЕМАЯ СТРУКТУРА переносчика глюкозы. Этот белок представляет собой одну полипептидную цепь из 492 аминокислот, которая образует 12 сегментов, расположенных поперек клеточной мембраны. Аминокислотные остатки, несущие электрически заряженные химические группы, обозначены (+), (-); будучи гидрофильными, они локализованы в основном вне мембраны.

ны, могут, по-видимому, образовать пору, внутренняя гидрофильная поверхность которой способна связывать глюкозу (см. рисунок на с. 25). Отметим, что эта модель пространственной структуры переносчика глюкозы является чисто умозрительной. Чтобы выяснить реальную структуру молекулы методом рентгеновской кристаллографии, нужны упорядоченные белковые кристаллы. Однако пока что из-за липофильной природы этого белка попытки получить их были безуспешными.

При моделировании белка-переносчика мы базировались частично на немногочисленных известных примерах других мембранных белков, которые были получены в кристаллическом

виде и изучены методом рентгеновской кристаллографии (см. статью: Н. Ануин, Р. Хендерсон. Структура белков в биологических мембранах, «В мире науки», № 4, 1984). Один из таких белков, являющийся реакционным центром фотосинтеза у бактерий, состоит из трех отдельных полипептидных цепей, две из которых пересекают мембрану пять раз, а третья — один раз. Каждый из этих 11 трансмембранных сегментов имеет спиральную структуру, какую мы постулировали для переносчика глюкозы.

ДЕТАЛЬНЫЙ молекулярный механизм проникновения глюкозы в клетку даже еще сложнее, чем предполагает рассмотренная выше модель.

Можно думать, что белок-переносчик оперирует молекулой глюкозы, удерживая ее слабыми и потому существующими лишь временно водородными связями. Такая связь возникает между атомом водорода, связанным с атомом азота или кислорода одного соединения и неспаренными электронами атома кислорода или азота другого соединения. В трансмембранных сегментах 3, 5, 7, 8 и 11 содержится много аминокислотных остатков, имеющих гидроксильные (OH) и карбамидные (CONH₂) группы, способные участвовать в образовании водородных связей с гидроксильными группами глюкозы. Кроме того, белок-переносчик может существовать в двух формах: одна из них связывает глюкозу на внеклеточной стороне мембраны, другая — на внутриклеточной.

Как же «работает» такая структура? Ряд экспериментальных данных дает основание полагать, что проникновение глюкозы в клетку происходит в четыре этапа. Сначала молекула глюкозы присоединяется к связывающему участку, обращенному наружу. Затем конформация образовавшегося комплекса переносчика и глюкозы изменяется таким образом, что молекула глюкозы оказывается в связывающем участке, который обращен внутрь клетки. На третьем этапе глюкоза отделяется от переносчика, переходя в содержимое клетки. Наконец, освобожденный переносчик принимает конформацию, в которой участок, связывающий глюкозу, обращен наружу. В результате этого последнего этапа переносчик возвращается в исходную форму и теперь готов к транспорту следующей молекулы глюкозы.

Конкретная структура двух указанных конформаций неизвестна, однако, скорее всего, в обоих случаях пора открыта с одной стороны и закрыта с другой, а глюкоза связывается в «кармане» на открытой стороне. Затем, когда этот открытый конец поры за молекулой глюкозы закрывается, а прежде закрытый открывается, она перемещается.

Таким образом, белок-переносчик можно рассматривать как конформационный осциллятор, способный перемещать место связывания глюкозы с одной стороны мембраны на другую. Кинетические исследования, в том числе проведенные Дж. Эппланом и одним из авторов этой статьи (Линхардом), в Дартмутской медицинской школе, свидетельствуют, что осциляция переносчика очень быстрая. В мембране эритроцита в отсутствие глюкозы при 20°C каждая молекула переносчика ее белка переходит из одного состояния в другое

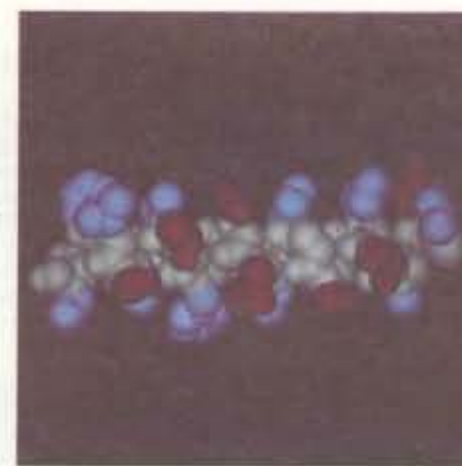
100 раз в секунду. Когда же с переносчиком связана глюкоза, скорость этих переходов еще выше — примерно 900 раз в секунду. Глюкоза ускоряет осциляцию, снижая энергетический барьер между двумя конформациями.

Чем объясняется столь высокая сложность механизма работы глюкозного переносчика? Вполне можно представить и более простую стратегию. Пора могла бы быть постоянно открыта, или молекулы образующего его белка флуктуировали бы между «открытой» и «закрытой» конформациями.

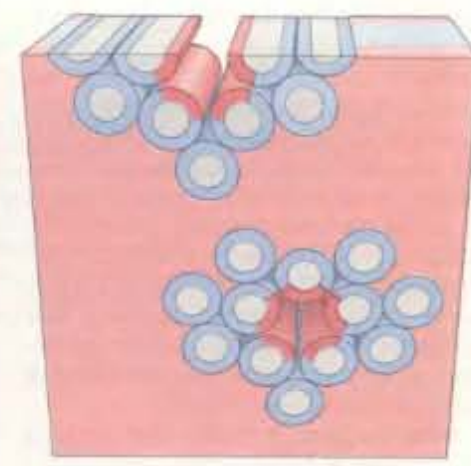
Причина, возможно, состоит в следующем: в клетке должен поддерживаться химический дисбаланс по отношению к внеклеточной среде. Концентрация ионов натрия, например, во внеклеточной жидкости, как правило, в 10 раз выше, чем внутри клетки. Поскольку молекула глюкозы по размерам сравнима с ионом натрия, будь глюкозная пора открыта постоянно, через нее в клетку просачивались бы ионы натрия. Конечно, ион натрия может иногда проникать в клетку и при участии переносчика глюкозы, но этот эффект крайне незначителен по сравнению с потоком натрия через специальные трансмембранные каналы, которые, открываясь, пропускают в клетку 10 млн. ионов натрия в секунду, что в 100 тыс. раз превышает скорость работы глюкозного переносчика.

Так как разные ткани различаются по потребности в глюкозе, можно было предположить, что существуют и тканеспецифичные ее переносчики. В пользу этой гипотезы с начала 1980-х годов получено множество данных. Так, белки-переносчики глюкозы из разных тканей по-разному реагируют на химические ингибиторы. Существенно, что они с различной эффективностью осуществляют перенос глюкозы: хотя у любого такого белка с повышением концентрации глюкозы увеличивается скорость ее переноса, предельная скорость, или насыщение, достигается при разных концентрациях глюкозы. Транспортные системы характеризуются значением концентрации переносимого вещества, при котором скорость транспорта составляет половину максимальной. Эта величина, скажем, в клетках печени сравнительно велика, а в клетках мозга — мала.

Предположение о неидентичности переносчиков глюкозы в разных тканях нашло подтверждение после того, как в 1985 г. была обнаружена последовательность ДНК, кодирующая такой белок в эритроцитах человека. Эту ДНК использовали в качестве зонда для выделения нуклеотидных последовательностей, кодирующих



ПОРА в мембране для глюкозы образована, по-видимому, пятью спиральными сегментами молекул переносчика, такими как сегмент 8 (слева). Когда липофильные стороны (синие) этих сегментов обращены в толщу клеточной мембраны, а участки связывания глюкозы (красные) — друг к другу, получается канал, соответствующий по размерам молекуле глюкозы.



переносчики глюкозы в других тканях. Подобную работу провели многие исследователи, в частности, Лолли, Г. Белл из Чикагского университета, М. Бирнбаум из Медицинской школы Гарвардского университета, а также авторы данной статьи Мьюклер и Джеймс. На сегодняшний день известно в общей сложности пять переносчиков глюкозы.

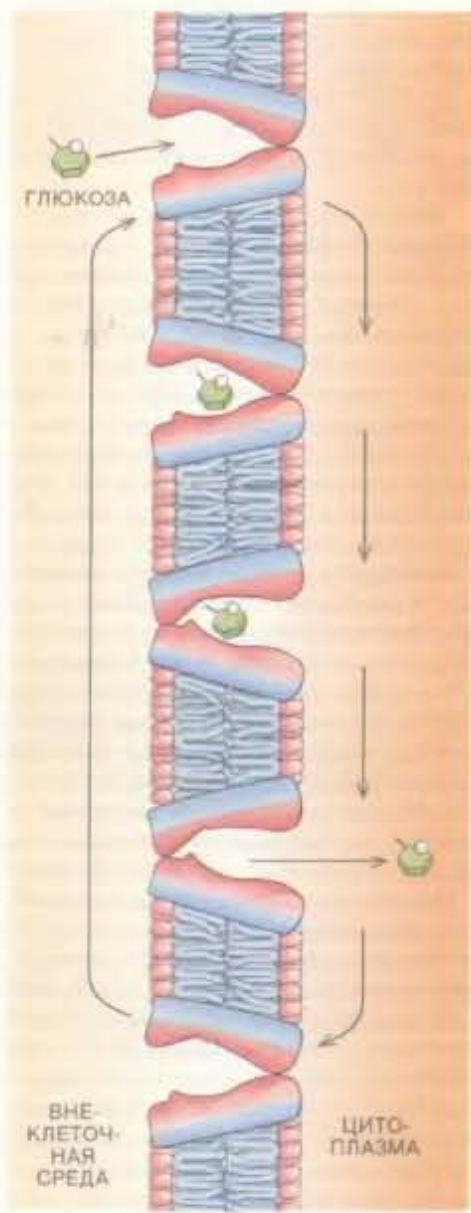
Все эти белки имеют много общего по структуре и функции, образуя семейство. Каждый из них представляет собой одну полипептидную цепь, состоящую из примерно 500 аминокислот. Аминокислотные последовательности у разных переносчиков почти на 50% одинаковы или очень похожи. Более того, у всех белков усматривается складчатая организация из 12 сегментов, расположенных поперек мембраны.

ПЕРЕНОСИКИ глюкозы обозначаются GluT и пронумерованы в порядке их открытия. GluT1 содержится в больших количествах в эндотелиальных клетках, выстилающих кровеносные сосуды и образующих гемато-энцефалический барьер. По-видимому, этот белок специализирован для обеспечения стабильного потока глюкозы, необходимого мозгу. В меньших количествах он присутствует во многих других тканях, где

ГЛЮКОЗА ПРОНИКАЕТ В КЛЕТКУ при помощи белка-переносчика, который связывает ее в одной из двух своих конформаций, обращенной участком связывания наружу. Затем он принимает другую конформацию, перестраиваясь так, что внеклеточная сторона поры закрывается, а внутриклеточная открывается, и молекула глюкозы выходит из канала в цитоплазму. (Рисунок без соблюдения масштаба.)

он, вероятно, полностью берет на себя поставку глюкозы в клетки, когда они находятся в сравнительно неактивном состоянии.

GluT2 обнаружен в органах, выде-



ляющих глюкозу в кровь, — кишечнике, печени и почках, а также в бета-клетках поджелудочной железы, секретирующих инсулин. Тот факт, что для полунасыщения GluT2 необходима высокая концентрация глюкозы, означает, что интенсивность переноса глюкозы этим белком пропорциональна ее содержанию в крови. Следовательно, изменения уровня глюкозы в процессе приема пищи и при нагрузке эффективно передаются в печень и бета-клеткам поджелудочной железы молекулами GluT2.

GluT3 имеется в нервных клетках мозга. Обладая большим, чем GluT1, сродством к глюкозе, он гарантирует постоянный поток глюкозы в эти клетки. Таким образом, совместным действием двух переносчиков обеспечивается снабжение мозга жизненно важным питательным веществом.

GluT4 является главным переносчиком глюкозы в мышечных и жировых клетках, поглощающих глюкозу в больших количествах и перерабатывающих ее с образованием высокоэнергетических соединений. Этот белок отличается необычной способностью перемещаться из внутренних компартментов клетки к ее поверхности и обратно.

GluT5 встречается главным образом в тонком кишечнике. Подробности его функционирования пока неизвестны.

Все эти пять белков осуществляют трансмембранный перенос глюкозы по ее концентрационному градиенту, т. е. в направлении от более высокой концентрации к более низкой. Тем самым их семейство отличается от другого переносчика, транспортирующего глюкозу против концентрационного градиента и получившего название ко-транспортера, поскольку в нем сопряжены перенос иона натрия и молекулы глюкозы. Источником энергии, требующейся для транспорта глюкозы против ее градиента, служит движение ионов натрия, которое происходит по градиенту его концентрации. Благодаря такому механизму клетки, выстилающие просвет кишечника и почек, способны поглощать глюкозу даже при очень низкой ее концентрации в пище и моче соответственно; затем глюкоза переходит в кровяное русло при участии GluT2.

Переносчики глюкозы неодинаковы и по своей реакции на инсулин, что неудивительно, коль скоро ткани существенно различаются по своим метаболическим нуждам. Наиболее выраженный ответ наблюдается у GluT4; этот изотип глюкозного переносчика был впервые идентифицирован в 1988 г. Джеймсом и П. Пилчем, работавшими тогда в Медицинской школе Бостонского университета.

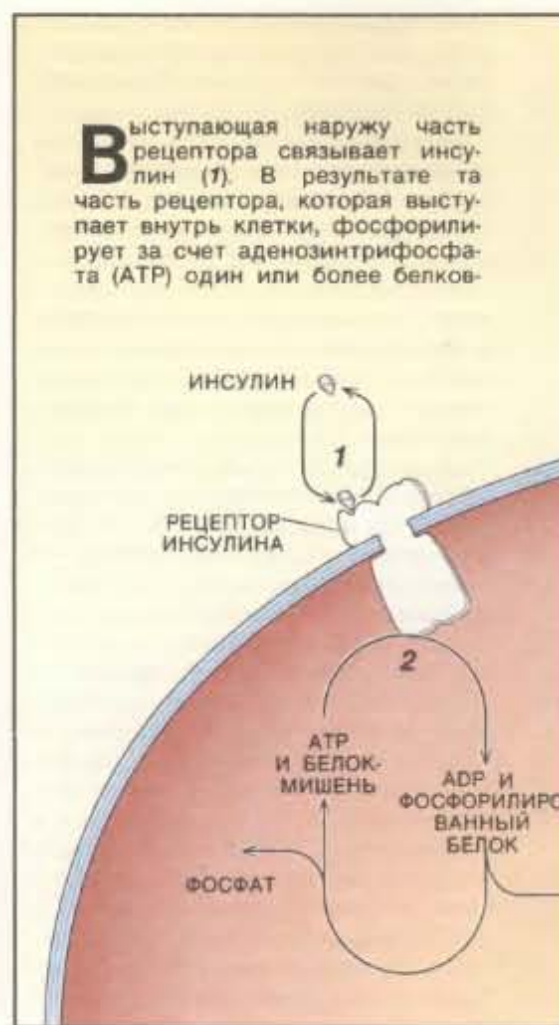
Влияние инсулина на транспорт глюкозы огромно. Рассмотрим это на конкретном примере. В своих исследованиях мы обычно использовали культуру жировых клеток мыши, называемых адипоцитами 3T3-L1. При добавлении к этой культуре при 37°C инсулина поглощение глюкозы повышается в 15 раз. Максимальная скорость поглощения достигается через 10 минут.

Механизм действия инсулина оставался загадкой вплоть до 1980 г., когда Л. Уордзала и С. Кашман из Национальных институтов здоровья, а также К. Судзуки и Т. Коно из Медицинской школы Университета Вандербилта одновременно и независимо открыли феномен «переброски сил». Они обнаружили, что в клетках всегда поддерживается резерв молекул переносчика глюкозы (как теперь установлено, GluT4), часть которого при воздействии инсулина перебрасывается к мембране. Затем, когда содержание глюкозы в крови снижается и соответственно ослабляется секреция инсулина, эти молекулы возвращаются к месту исходной локализации.

За переброской молекул глюкозного переносчика можно проследить с помощью методов флуоресцентной микроскопии. В одном из экспериментов GluT4 в адипоцитах 3T3-L1 связывали с антителами, несущими флуоресцентную метку — при синем освещении они испускали зеленый свет. В клетках, не стимулированных инсулином, наблюдалось множество зеленых точек внутри клеток и ни одной на клеточной поверхности. А после воздействия инсулином клеточная поверхность интенсивно светилась зеленым, что свидетельствовало о перемещении туда молекул GluT4 из внутриклеточного пространства (см. рисунок на с. 23).

Эти результаты нашли подтверждение и были количественно оценены в опытах с использованием иной метки. Тонкие срезы ткани обрабатывали антителами, специфичными к GluT4, а затем белком, несущим мельчайшие частицы золота, который связывался с антителами. Частицы золота отчетливо видны в электронном микроскопе. С помощью этого метода один из нас (Слот) установил локализацию и подсчитал количество молекул GluT4 в клетках, чувствительных к инсулину. До стимуляции инсулином на поверхности клеток находилось лишь 1% меченых молекул GluT4, после стимуляции — 40%.

КАКИМ образом при воздействии инсулина на клетку GluT4 перемещается к клеточной мембране и обратно? Знания об этом пока отрывоч-



ны, и многие исследователи пытаются восполнить недостающие детали. Поскольку белок — переносчик глюкозы остается погруженным в мембрану как внутри клетки, так и на ее поверхности, он наверняка перемещается в составе везикул — мембранных пузырьков. Вероятно, под влиянием инсулина внутриклеточные везикулы, содержащие GluT4, движутся к внутренней поверхности клеточной мембраны и сливаются с ней.

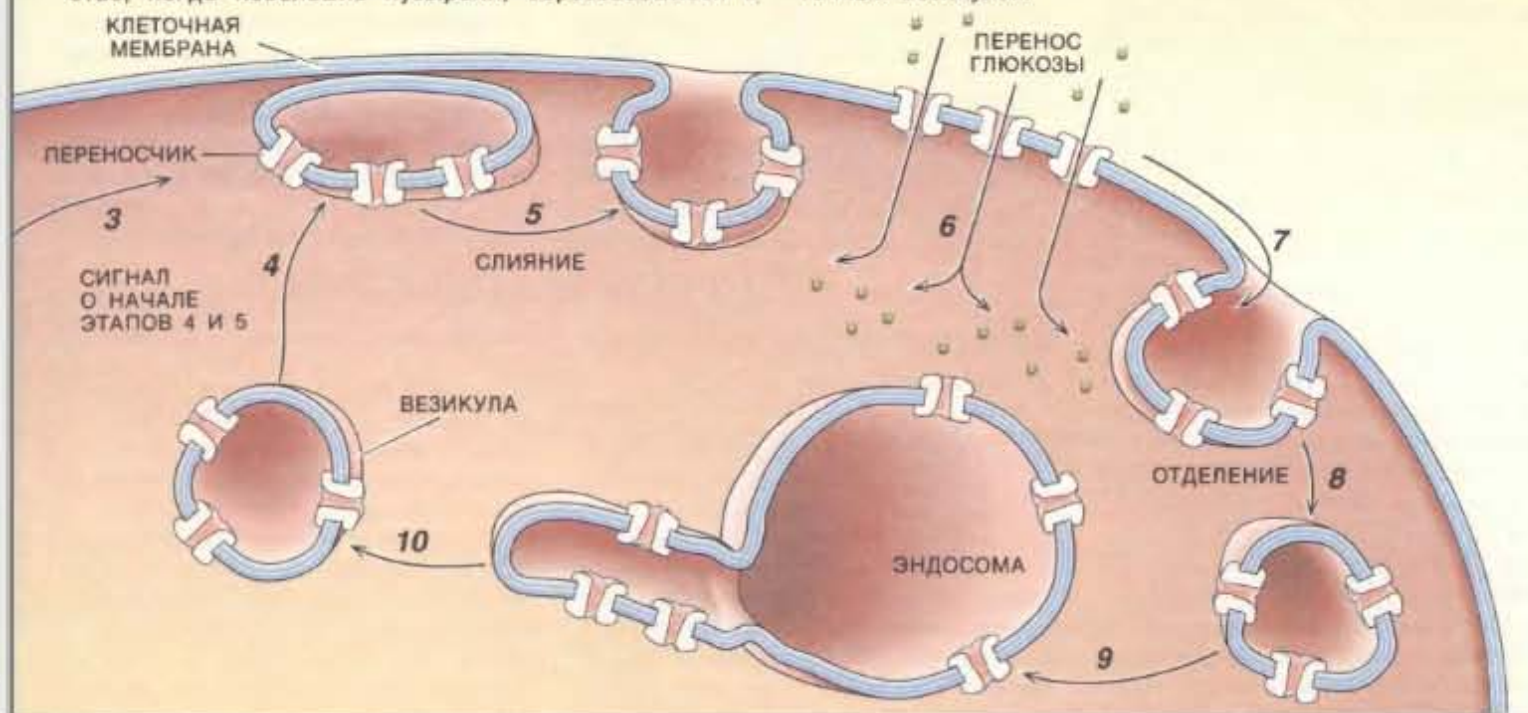
Обратный процесс, по-видимому, сложнее. В результате последовательности событий, в деталях пока еще не ясной, небольшие пузырьки, содержащие GluT4, отделяются от внутренней стороны мембраны и затем сливаются с более крупными мембранными мешками, называемыми эндосомами. В эндосомах молекулы GluT4 каким-то образом переходят в трубчатые выросты, которые, перестраиваясь, вновь образуют мелкие пузырьки. Переход GluT4 во внутреннее пространство клетки осуществляется постоянно, но в присутствии инсулина содержащие его везикулы немедленно сливаются с поверхностной мембраной клетки. Исчезновение инсулина прерывает цикл, приводя к накоплению пузырьков.

Так как GluT4 — основной изотип

Роль инсулина в переброске переносчика глюкозы

мишеней, что сопровождается образованием ADP (2). Предполагается, что такой фосфорилированный белок служит сигналом для перераспределения белка — переносчика глюкозы (3) путем передвижения содержащих его везикул (мембранных пузырьков) к клеточной мембране (4). Пузырьки сливаются с мембраной (5), обеспечивая перенос глюкозы (6). Молекулы переносчика возвращаются во внутриклеточное пространство, когда небольшие пузырьки, образовавшиеся в

результате впаивания (7) мембраны и отделения (8), сливаются с более крупными везикулами, называемыми эндосомами (9), в которых переносчики переходят в трубчатые выросты, превращающиеся затем в новые пузырьки (10). Пока в среде имеется инсулин, процесс слияния пузырьков с мембраной продолжается, но при снижении концентрации инсулина цикл прерывается, и переносчик глюкозы накапливается во внутриклеточных везикулах.



глюкозного переносчика, способный к перемещению, и в норме он диссоциирует из внутреннего пространства клетки на поверхность или обратно в зависимости от концентрации инсулина, можно думать, что существует какой-то механизм управления этим белком, не касающийся других переносчиков. Основной задачей такого механизма должно быть размещение GluT4 во внутриклеточных пузырьках в отсутствие инсулина. Переносчики глюкозы, свойственные другим тканям, находятся главным образом на поверхности клеток независимо от того, имеется в среде инсулин или нет.

Этот механизм, по всей вероятности, связан с каким-то уникальным сегментом аминокислотной последовательности GluT4, способным путем взаимодействия с другими белками направлять переносчик в пузырьки, играя роль, так сказать, билета до определенного пункта назначения. Для проверки этой гипотезы при помощи методов молекулярной биологии получают мутантные формы GluT4. Если такой мутант обнаружится на поверхности клетки в базальном состоянии (т. е. в отсутствие внешних воздействий), то можно думать, что мутация затронула тот самый сег-

мент, который служит «билетом».

Связывание инсулина с клеточным рецептором инициирует каскад молекулярных событий, результатом которого является перераспределение молекул глюкозного переносчика «в пользу» клеточной мембраны. На сегодня установлены только начальный и конечный этапы этого каскада. Каскад начинается с того, что инсулин крови связывается с каким-то специфическим белком-рецептором, погруженным в клеточную мембрану. Этот белок выступает из мембраны по обе ее стороны.

При связывании инсулина с наружным выступом рецептор принимает конформацию, при которой внутренний выступ фосфорилирует остаток тирозина в определенном участке соответствующего белка-мишени. Пока не обнаружено белка, участвующего в передаче сигнала о переброске переносчика глюкозы, но такой очевидный кандидат на эту роль, как сам переносчик, уже отвергнут.

Для выяснения событий, начинающихся активацией рецептора инсулина применяются два подхода. Один из них состоит в поиске белка-мишени путем выделения и исследования белков, которые имеют остатки тирозина, фосфорилирующиеся в присутст-

вии инсулина. В рамках второго подхода внимание сосредоточивается на других белках, содержащихся в пузырьках с GluT4. Возможно, что инсулин вызывает в одном из этих белков такие изменения, в результате которых ускоряется движение пузырька к клеточной поверхности или индуцируется его слияние с поверхностной мембраной клетки. Не исключено, что помимо GluT4, в составе пузырьков перемещаются и иные белки с неизвестными функциями. Эта возможность вытекает из самого везикулярного механизма. Для регуляции скорости переноса в клетку глюкозы такой механизм может показаться слишком громоздким, однако он представляется вполне эффективным, если речь идет о перемещении нескольких различных белков на клеточную поверхность и обратно.

Эти данные не объясняют причины инсулинзависимого сахарного диабета, но они имеют отношение к другой форме этого заболевания, независимой от инсулина. Поскольку предрасположение к ИНСД является, несомненно, наследственным, должен существовать по крайней мере один обуславливающий его ген. Возможно, что при дефекте этого гена нарушается регуляция GluT4 инсулином.

Одним из самых ранних проявлений ИНСД является нечувствительность к инсулину, что проявляется в неспособности мышц, жировой ткани и печени адекватно реагировать на повышенное содержание инсулина в крови. Поджелудочная железа отвечает на это усиленной секрецией инсулина. В результате у некоторых больных на ранних стадиях сочетаются стойко повышенный кровяной уровень инсулина и проходящая гипергликемия после приема углеводистой пищи. По мере дальнейшего развития болезни поджелудочная железа часто теряет способность секретировать инсулин в количествах, необходимых для компенсации нечувствительности к нему тканей. К этому времени гипергликемия становится стойкой, не исчезающей между приемами пищи, и больному приходится вводить инсулин или другие препараты, понижающие содержание глюкозы в крови.

Явления, лежащие в основе такого течения болезни, проявились в результате работ Лодвигса, а также Б. Торенса из Уайтхедовского института медико-биологических исследований и Р. Уитера из Юго-западной медицинской школы Техасского университета. Используя две различные животные модели ИНСД, эти исследователи установили, что при такой патологии в бета-клетках поджелудочной железы снижено содержание GluT2 — характерного для данных клеток изотипа глюкозного переносчика, причем аномально низкий его уровень коррелирует с ослабленной секрецией инсулина в ответ на повышенное содержание глюкозы в крови. Поскольку усиление транспорта глюкозы в бета-клетки поджелудочной железы в норме вызывает выделение инсулина, неадекватная секреция инсулина может быть обусловлена пониженным содержанием GluT2 .

Разгадку нечувствительности к инсулину, по-видимому, следует искать в скелетных мышцах, на которые приходится 80% утилизации глюкозы в организме после приема углеводистой пищи. (При базальном метаболизме, т. е. в отсутствие нагрузки, 60% глюкозы поглощает мозг). В мышечных клетках избыток глюкозы крови превращается в гликоген, причем скорость этого процесса лимитируется транспортом глюкозы. Так как у больных ИНСД интенсивность отложения гликогена в мышцах в 2 раза меньше, чем в норме, у них, вероятно, имеется дефект хотя бы в одном из белков, регулирующих транспорт глюкозы.

Есть, однако, и другое соображение. Нечувствительность к инсулину не может быть обусловлена снижением общего количества GluT4 в мышеч-

ных клетках. Проведенные недавно измерения содержания GluT4 в материале биопсии мышц, взятом у здоровых людей и больных диабетом, показали, что при ИНСД если даже этого белка и бывает меньше, чем в норме, то лишь незначительно. Причина нечувствительности к инсулину может быть связана с GluT4 иначе; так, возможно, что он направляется в неподходящий внутриклеточный компартмент, откуда не может быть переброшен на клеточную поверхность. Можно предположить также дефект на каком-то другом этапе пути сигнализации, обеспечивающего стимуляцию переброски GluT4 инсу-

лином. Например, в рецепторе инсулина на клеточной поверхности или в одном из пока неизвестных белков, передающих сигнал от рецептора к пузырькам с GluT4 .

Таким образом, ключевой вопрос сводится к следующему: нарушен ли в мышечных клетках больных диабетом механизм переброски переносчика глюкозы? Если да, то выяснение процессов, начинающихся с активации рецептора инсулина и заканчивающихся переброской переносчика, должно показать, почему инсулиновый сигнал не доходит по назначению — сбивается ли он с пути или получает неправильный адрес?

Наука и общество

В строительных лесах

ПОДОБНО самым грандиозным архитектурным сооружениям, мозг в процессе развития нуждается в своего рода строительных лесах. Эти вспомогательные структуры, как и положено строительным лесам, демонтируются после того, как формирование основной структуры завершено. По меньшей мере таков смысл растущего ряда данных, которые частично были представлены на состоявшемся в ноябре прошлого года съезде Нейробиологического общества.

Как сказала К. Шати из Станфордского университета, чья работа впервые прояснила функцию одной из систем «строительных лесов» в развивающемся мозге, лейтмотив развития нервной системы «выяче здесь — завтра там». По ее мнению, некоторые врожденные дефекты, такие, как церебральный паралич, могут быть связаны с подобными временными системами, существующими на ранних стадиях развития. Она считает, что при изучении мозга не следует ограничиваться взрослым организмом. «В ранний период развития мозг совсем иной», — подчеркивает она.

Существованием «строительных лесов» в развивающемся мозге можно было бы объяснить, каким образом нервные связи, т. е. отростки нейронов (нервных клеток), протягиваются в должные места еще до того, как формируются сами эти места. Например, длинные нервные волокна, по которым передается зрительная информация от сетчатки, достигают определенной зоны в области мозга, называемой таламусом. Исходящие отсюда аксоны (длинные отростки нейронов) контактируют с нейронами в четвертом слое зрительной коры (внешней извитой области мозга). Но, слов-

но нетерпеливый покупатель еще не построенного дома, таламические аксоны оказываются в нужном месте вблизи коры раньше, чем появляется объект контакта.

Несколько лет назад Шати и ее коллеги обнаружили, что в мозге имеются специфические короткоживущие клетки, которые служат промежуточными ориентирующими мишенями для исходящих из таламуса аксонов. Эти, как их назвали, подпластиночные нейроны располагаются непосредственно под зрительной корой и, по-видимому, направляют таламические аксоны к конечному месту назначения. «Эти нейроны действуют как временная связь», — сказала Шати. (Но совершенно неясно, каким образом они сами ориентируются.)

Собственно, о существовании подпластиночных нейронов известно давно, но считалось, что они являются рудиментом, наподобие хвостовых позвонков у человека, либо служат «пунктом ожидания» в линиях передачи информации. Однако Шати с коллегами в экспериментах на кошках продемонстрировала центральную роль этих клеток. Когда их удаляли на ранних стадиях развития, таламические аксоны «блуждали» под так называемой корковой пластинкой, где появляются нейроны четвертого слоя коры, и так и не достигали коры.

В недавних проведенных опытах Шати удаляла подпластиночные нейроны на более поздней стадии развития. В результате у кошек в зрительной коре не развивались колонки глазодоминантности — тонкая структура, связанная с разницей восприятия левым и правым глазом. Поскольку глазодоминантность частично зависит от входных зрительных стимулов, развитие этой структуры, по-видимому, невозможно без подпласти-

ночных нейронов. Как сказала Шати, если эти клетки ликвидируются на ранней стадии развития, аксоны не могут найти область своего назначения, а если позже — точный адрес.

Хотя Шати, как и многие исследователи, изучающие развитие мозга, сосредоточила внимание на зрительной системе, она утверждает, что в ее лаборатории получены данные, свидетельствующие об организующей роли подпластиночных нейронов и в других зонах коры. Эти нейроны, вероятно, обеспечивают первые связи между корой и подкорковыми областями на ранних стадиях развития, когда расстояния в мозге еще невелики.

При нормальном развитии подпла-

стиночные нейроны исчезают после того, как подкорковые аксоны достигают своих мишеней. На их месте образуется белое вещество, являющееся путем аксонов в обоих направлениях на более поздних стадиях развития. Незадолго до запрограммированной гибели подпластиночные нейроны теряют рецепторы для фактора роста нервов.

Как отмечает Д. Первис из Университета Дьюка, идея о временных структурах в развивающемся мозге не нова, но сейчас переживает возрождение. В 1972 г. П. Равик из Йельского университета сообщил о том, что радиальные глиальные клетки, которые до последнего времени считались второстепенным элементом ткани мозга,

в ходе развития обеспечивают целенаправленное перемещение нейронов. Как и подпластиночные нейроны, радиальные глиальные клетки отсутствуют во взрослом организме. В более простых нервных системах, в том числе у рыб и насекомых, тоже имеются рано появляющиеся нейроны, которые устанавливают нервные пути и затем погибают.

Вообще, согласно К. Гудмэну из Калифорнийского университета в Беркли, у позвоночных известны и другие временно существующие нейроны, но никакие из них не имеют такого глубокого значения в процессе развития мозга, как подпластиночные клетки.

Маргарит Холлоуэй

Самые маленькие лазеры

Представьте себе булавоочную головку. Исследователи фирмы AT&T Bell Laboratories в Мюррей-Хилле (шт. Нью-Йорк) считают, сколько лазеров может разместиться на ее крошечной поверхности. В ноябре 1991 г. они объявили, что им удалось изготовить самые маленькие в мире лазеры: по форме они похожи на канцелярские кнопки, и на булавоочной головке их может уместиться до 10 тыс. штук. Ученые надеются, что эти приборы в конце концов станут ключевыми элементами сверхбыстродействующих переключателей в системах связи и оптических компьютеров.

В новых приборах воплощены результаты научных поисков, о которых сообщалось в публикациях еще два года назад. В то время, сотрудничая со специалистами Bell Communications Research, ученые Bell Laboratories создали решетки крошечных цилиндрических лазеров, способных излучать свет с торцевой части (см. статью: Дж. Джемелл, Дж. Хартисон. Микролазеры. «В мире науки», 1992, № 1). Лазеры более поздней конструкции, сде-

ланные из чередующихся слоев арсенида индия-галлия и фосфида-арсенида индия-галлия, могут излучать свет либо с торцевой части, имеющей формы диска, либо со стороны кромки диска.

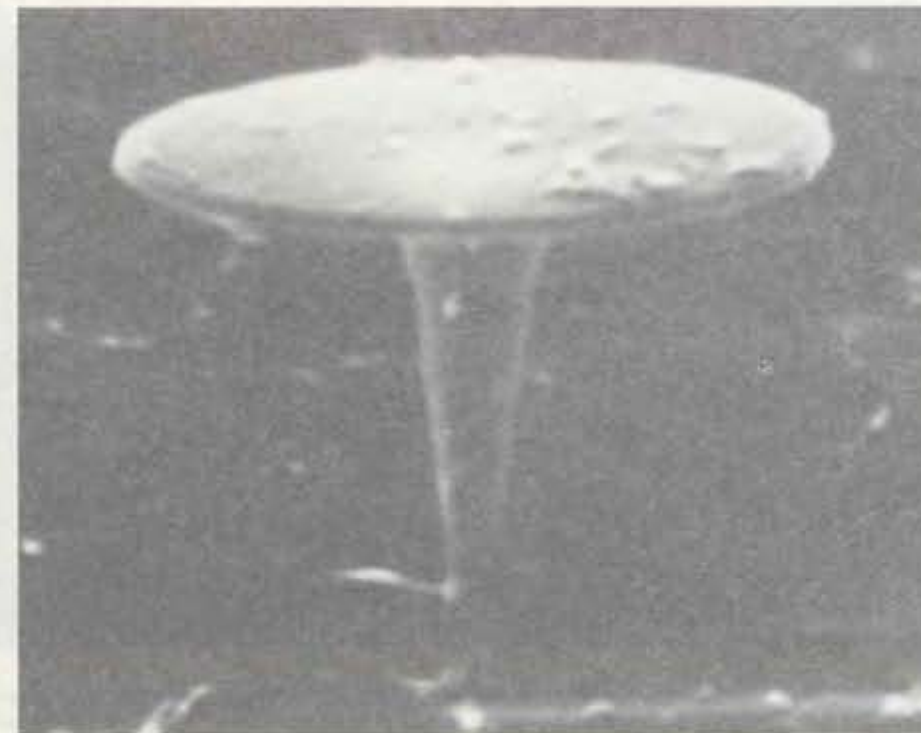
При изготовлении этих лазеров ученые для получения полупроводящих слоев толщиной в 400 атомов использовали метод химического осаждения паров. Затем с помощью микролитографии они вытравивали лишний материал, чтобы придать лазеру форму кнопки. Пока изготовлены лазеры со «шляпками» трех диаметров — 2, 5 и 10 мкм.

Поскольку эти лазеры сделаны из меньшей массы материала, чем лазеры предыдущего поколения, многие их показатели имеют меньшие пороговые значения — в частности, они начинают излучать при более низкой подводимой мощности. Необычная форма лазеров также изменяет направление излучения. В цилиндрических лазерах, например, свет многократно проходит вперед и назад между двумя зеркалами в полости лазера, наращивая свою интенсивность, прежде чем он выйдет наружу. В лазерах, имеющих форму кнопки, интенсивность света нарастает по мере того как фотоны движутся по периферии «шляпки».

Группе из пяти сотрудников Bell Laboratories, создавших эти приборы, предстоит еще много потрудиться, прежде чем им удастся встроить их в другие системы. Пока эти лазеры активируются светом (а не электроэнергией) и работают непрерывно только при температурах ниже 0°C.

Тем не менее С. Макколл, физик из Bell Laboratories, принимавший участие в создании лазеров, надеется сохранить низкий порог излучения при дальнейшем уменьшении их размера или объема. Поскольку активный материал лазера должен находиться только на кромке диска, Макколл предлагает выбрать материал из центральной части лазера, так чтобы он приобрел форму шляпы. Тогда исследователи Bell Laboratories смогут называть лазеры «излучающими спасательными кругами».

Элизабет Коркоран



АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Диски вещества естественным образом возникают вокруг самых разнообразных объектов — от новорожденных звезд до квазаров. Необычный класс переменных звезд помогает теоретикам понять поведение этих дисков

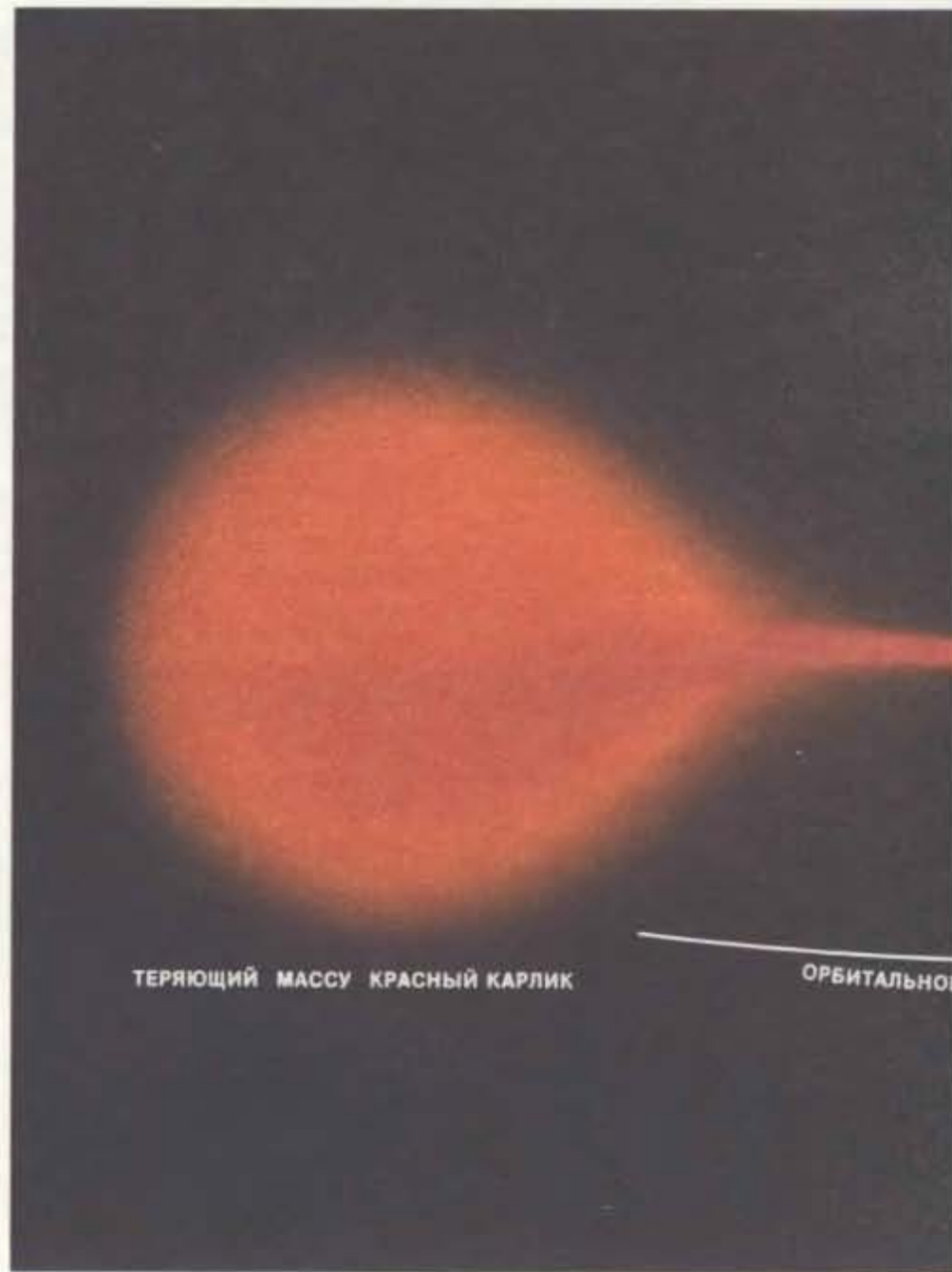
ДЖОН К. КАННИЦЦО, РОНАЛД Х. КЕЙТЧАК

ДИСКИ являются одной из наиболее распространенных структур вокруг небесных объектов. В основном дисками окружены массивные центральные объекты, такие, как звезды или черные дыры. Вещество в диске обычно перемещается внутрь и в конце концов выпадает на центральный объект, поэтому такие диски называют аккреционными. Считают, что аккреционные диски участвуют в разнообразных процессах — от образования звезд и планет до источника энергии квазаров.

Лучше всего изучены аккреционные диски во взаимодействующих двойных звездных системах. Мы рассмотрим особенно интересный класс нестабильных взаимодействующих двойных, так называемых взрывных переменных, блеск которых может возрастать в 100 раз всего за несколько часов. Эти системы, по праву достойные восхищения, служат своего рода лабораторией для изучения физики аккреционных дисков.

Почему столь совершенные образования, как диски, так часто возникают во Вселенной? Оказывается, основные законы физики «благоприятствуют» их образованию. Рассмотрим, например, облако неправильной формы, состоящее из частиц, движущихся по произвольным орбитам, и обладающее в целом отличным от нуля моментом количества движения. (Если облако газообразное, то такими «частицами» можно считать небольшие скопления газа.)

Каждая частица облака подвержена гравитационному притяжению всех других его частей. Проходящие очень близко друг к другу частицы оказывают взаимное влияние силами притяжения и давления, что нарушает их движение по регулярным траекториям. Такие взаимодействия частиц рассеивают энергию случайных движений, тогда как вследствие сохранения



ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩАЯ ДВОЙНАЯ СИСТЕМА, состоящая из горячего плотного белого карлика и холодного менее массивного красного спутника, квазипериодически увеличивает блеск по крайней мере в 100 раз. Под действием силы притяжения белого карлика красная звезда приобретает каплеобразную форму, и через вершину капли устремляется поток газа. В результате орбитального

момента количества движения энергия вращения облака остается постоянной*. В конце концов вещество приобретает конфигурацию с самой низкой энергией: все частицы будут иметь круговые орбиты, лежащие в одной плоскости (см. рисунок на с. 32).

Теоретики разработали ряд моделей для интерпретации таких аккреционных дисков. В простейшей модели принимается, что поток массы в диск точно уравнивается аккрецией на центральный объект. Большинство моделей этих так называемых

* Кинетическая энергия облака может и возрастет за счет уменьшения гравитационной энергии при его сжатии как целого. — Прим. ред.

стационарных аккреционных дисков основано на пионерной работе 1973 г. московских ученых Н. И. Шакура из Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга и Р. А. Сюняева, работавшего тогда в Институте прикладной математики.

Для простоты Шакура и Сюняев приняли, что диск — это тонкий плоский газовый объект, гравитационное поле которого пренебрежимо мало по сравнению с полем центрального объекта. Поэтому движение газа подчиняется законам Кеплера, т. е. орбитальная скорость любой части газа обратно пропорциональна квадратному корню из расстояния от центрального объекта.

Внутренние части объекта обращаются быстрее, чем внешние, и поэтому «проскальзывают» относительно них. При наличии вязкости трение между соседними слоями вещества разогревает газ, и переносит угловой момент наружу. Разогретый газ испускает электромагнитное излучение, которое покидает систему. В этом процессе гравитационная потенциальная энергия превращается в энергию излучения. В результате газ диска медленно дрейфует внутрь со скоростью, равной примерно 1/1000 орбитальной скорости.

СИЛА трения между соседними слоями диска, определяющая скорость аккреции, зависит от вязкости газа. К сожалению, нет хорошей теории для определения вязкости, поэтому Шакура и Сюняев приняли, что сила вязкости пропорциональна давлению в диске. В соответствующее уравнение, описывающее физическое состояние диска, вязкость входит в виде параметра, обозначаемого α . Все неизвестные физические процессы, приводящие к трению, сконцентрированы в этом параметре.** Считая α постоянным, можно разработать модель физических условий в диске. Однако спектр излучения диска в устойчивом состоянии не зависит от α (в очень грубом приближении).

Природа центрального объекта определяет глубину гравитационной потенциальной ямы, которая в свою очередь определяет поток энергии, покидающей диск. Когда центральным объектом является обычная звезда, излучение диска происходит в основном в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра. Веществу, обращающемуся вокруг объекта с высокой плотностью, например белого карлика

** Н. И. Шакура и Р. А. Сюняев исходили из стандартного определения силы вязкости, как силы, приложенной по касательной к единичной площади и равной произведению скорости деформации выделенного объема на динамический коэффициент вязкости (закон Ньютона). Вязкость газа, обусловленная тепловым движением (ламинарная вязкость), аномально мала. Поэтому предполагалось, что в аккреционных дисках поддерживается развитая турбулентность. В этом случае параметр α с точностью до численного множителя порядка 1 представляет собой отношение кинетической энергии турбулентных движений к тепловой энергии газа и излучения (квадрат турбулентного числа Маха). Ввиду отсутствия исходящей из первых принципов теории турбулентности существующие модели дисковой аккреции носят феноменологический характер. Реальная задача существенно усложняется с учетом влияния на динамику движения магнитных полей в космической плазме. — Прим. ред.

движения поток газа огибает белый карлик. Вследствие вязкости он растекается и образует диск; газ в диске движется к центру и в конце концов падает на белый карлик. При этом газ разогревается и ярко светит. Изменения потока газа в диске вызывают сильные флуктуации его светимости.



ДИСКИ образуются в нерегулярных системах, которые обладают общим угловым моментом, отличным от нуля (*a*). Взаимодействие частиц в такой системе приводит к затуханию случайных движений (*b*), и в результате образуется плоский круглый вращающийся диск (*c*). Под влиянием эффектов вязкости частицы движутся по спиральной траектории и происходит их аккреция в направлении центра диска.

ка или нейтронной звезды, приходится проделывать гораздо больший путь до столкновения с поверхностью таких звезд. Диски вокруг этих объектов выделяют больше энергии, и максимум излучения в спектре приходится на ультрафиолетовый и рентгеновский диапазоны.

Из-за больших расстояний прямые наблюдения аккреционных дисков даже ближайших двойных систем невозможны. Астрономам приходится делать выводы об их структуре на основе анализа их излучения. Свет, излученный той частью диска, которая движется к наблюдателю, смещается в коротковолновую (фиолетовую) область спектра, а свет удаляющейся части — в длинноволновую (красную) область. Это явление называют эффектом Доплера. Поэтому вращающиеся газовые аккреционные диски обуславливают характерные особенности в спектре объекта.

Именно таким путем в 1934 г. А. Уайз из Ликской обсерватории впервые обнаружил аккреционный диск в двойной системе. Он изучал спектр RW Тельца — двойной, состоящей из горячей звезды главной последовательности и холодного красного гиганта. Орбитальная плоскость этой двойной системы видна почти с ребра, поэтому в течение каждого оборота холодная звезда затмевает свой спутник. Уайз фотографировал спектр красной звезды в течение 90-минутного интервала, когда спутник был совершенно не виден. Он наблюдал эмиссионные линии, смещенные в результате эффекта Доплера, что указывало на присутствие горячего быстродвижущегося газа.

В начале 40-х годов А. Джой из Обсерватории Маунт-Вилсон также получил спектры RW Тельца. Он обнаружил, что в начале затмения происходит «красный» сдвиг эмиссионных

линий, а в конце затмения — такой же по величине «фиолетовый» сдвиг. Из этих наблюдений Джой заключил, что горячая звезда окружена быстровращающимся газовым кольцом. В начале затмения остается незакрытой та часть кольца, где скорость вращения направлена от наблюдателя, поэтому и наблюдается красное смещение эмиссионных линий. В конце затмения видна та часть диска, где скорость вращения направлена к наблюдателю, поэтому эмиссионные линии имеют фиолетовые смещения.

В последующие годы у астрономов возникло подозрение, что газовое кольцо Джоя в действительности является диском, внутренний край которого достигает поверхности центральной звезды. В 40-х годах О. Струве на Обсерватории Мак-Доналдс и еще несколько ученых предположили, что вещество из спутника истекает в диск и затем падает на центральную звезду. В настоящее время это представление принято большинством астрономов.

Иногда потоки вещества в двойной системе являются прямым следствием звездной эволюции. Когда в ядре звезды истощаются запасы водородного топлива и начинается его сжатие, звезда становится неустойчивой. По мере сжатия ядро разогревается, выделение энергии увеличивается, что приводит к расширению внешних слоев звезды. Но звезда в тесной двойной системе не может расширяться неограниченно. За пределами некоторого объема, называемого полостью Роша, вещество удаляется от одной звезды и попадает в гравитационное поле своего спутника. Размер и форма полости Роша определяются в основном гравитационным притяжением каждого компонента и центробежными силами, связанными с орбитальным движением каждой частицы. Эти конкурирующие силы придают полости Роша каплеобразную форму.

Если звезда расширяется за пределы полости Роша, то газ будет двигаться по траектории, соответствующей наименьшей энергии, и упадет на другой компонент. Газ перетекает через точку полости Роша, называемую внутренней точкой Лагранжа L1, где сила притяжения спутника наибольшая. Здесь он формируется в узкий поток, который движется в направлении спутника. Поскольку газ еще обладает моментом количества движения звезды, которую он покинул, он не сразу падает на звезду-спутник. Его потоки искривляются в направлении к тыльной стороне звезды, на которую происходит аккреция вещества (см. рисунок на с. 30, 31).

Последующие события зависят от

размеров звезды, на которую происходит аккреция, по сравнению с расстоянием между звездами. Если аккрецирующая звезда мала, то потоки газа закручиваются вокруг нее и образуют кольцо. Вследствие вязкости некоторая часть газа теряет момент количества движения и по спиральной траектории приближается к звезде, а некоторая, меньшая, часть газа приобретает этот потерянный момент и устремляется наружу, поэтому кольцо быстро расплывается в плоский диск.

Если аккрецирующая звезда сравнительно велика, то поток газа ударяется о ее поверхность. Но тем не менее образуется нечто подобное аккреционному диску, однако такие диски турбулентны и неустойчивы. Они быстро исчезают, если поток вещества временно прекращается, подобно тому как струя из садового шланга быстро спадает и исчезает, если перекрыть кран. Оказалось, что RW Тельца — это двойная система с таким неустойчивым диском.

В аккреционных дисках могут происходить более сложные и мощные процессы, как, например, в классических двойных системах, называемых взрывными переменными. В этих двойных системах имеется плотный горячий компонент, на который происходит аккреция вещества его более холодного соседа. При этом перенос массы сопровождается потерей орбитального момента количества движения, в результате чего расстояние между звездами сокращается и полость Роша вокруг красной звезды сжимается. Диски во взрывных переменных, вероятно, далеко не стабильны. Поскольку поток вещества в таких дисках может не быть постоянным, объяснение процессов во взрывных переменных представляет трудную проблему. Но эта проблема заслуживает внимания: в странном поведении этих объектов лежит ключ к пониманию общей природы аккреционных дисков.

КАК СЛЕДУЕТ из самого их названия, взрывные переменные подвержены мощным вспышкам, в ходе которых их блеск возрастает в сотни раз всего за несколько суток или даже часов. Объекты одного подкласса взрывных переменных, называемых карликовыми новыми, вспыхивают квазипериодически. Вспышки карликовых новых происходят с интервалами от нескольких недель до нескольких лет, а каждая вспышка длится от нескольких суток до нескольких недель. Карликовые новые отличаются от обычных новых, источником энергии которых считаются ядерные реакции горения водорода в слое аккреции

на поверхности белого карлика. По-видимому, вспышки карликовых новых обусловлены только высвобождением гравитационной энергии; этим и объясняется, почему они в тысячи раз слабее, чем вспышки обычных новых.

В своей основополагающей работе Р. Крафт из Обсерватории Маунт-Вилсон в 60-х годах обнаружил, что взрывные переменные представляют собой тесные двойные. Типичная взрывная двойная имеет орбитальный период 4 часа, а некоторые двойные — менее 90 минут. Такие короткие периоды означают, что звезды расположены очень близко друг к другу, и, следовательно, они должны иметь чрезвычайно малые размеры. Типичная взрывная переменная свободно поместилась бы внутри нашего Солнца.

Изучение спектров и потоков излучения в широком диапазоне длин волн указывает на то, что взрывные переменные состоят из трех основных компонентов: красного карлика, белого карлика и аккреционного диска, окружающего белый карлик. Красный карлик — это холодная звезда низкой светимости, теряющая массу через точку Лагранжа L1. Белый карлик гораздо горячее, имеет более высокую массу и светимость. Белые карлики — это «остатки» ядер далеко проэволюционировавших звезд, истощивших свои запасы водорода. Лишившись внутреннего источника энергии, ядро приобретает огромную плотность — около 10 млн. г/см³. По массе белые карлики можно сравнить с Солнцем, а по размерам — с Землей.

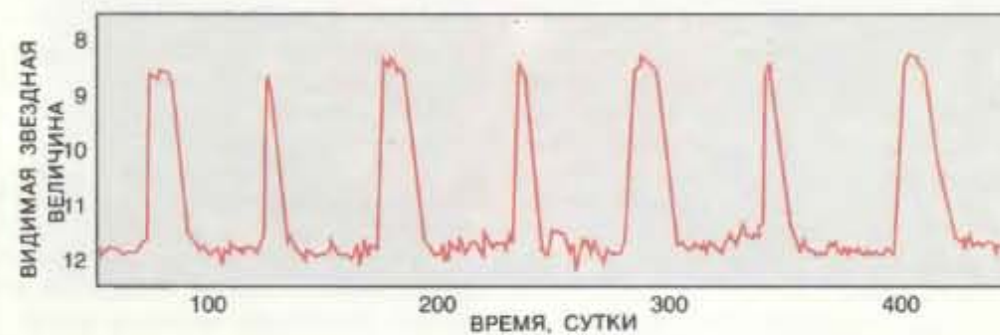
Поскольку белые карлики очень малы, но в то же время чрезвычайно массивны, им соответствует глубокая гравитационная потенциальная яма. Поэтому при падении на них вещества из аккреционного диска выделяется большее количество гравитационной энергии, приводящей из-за вязкости к

нагреву диска. Интенсивность нагрева настолько велика, что диск становится ярче самой звезды.

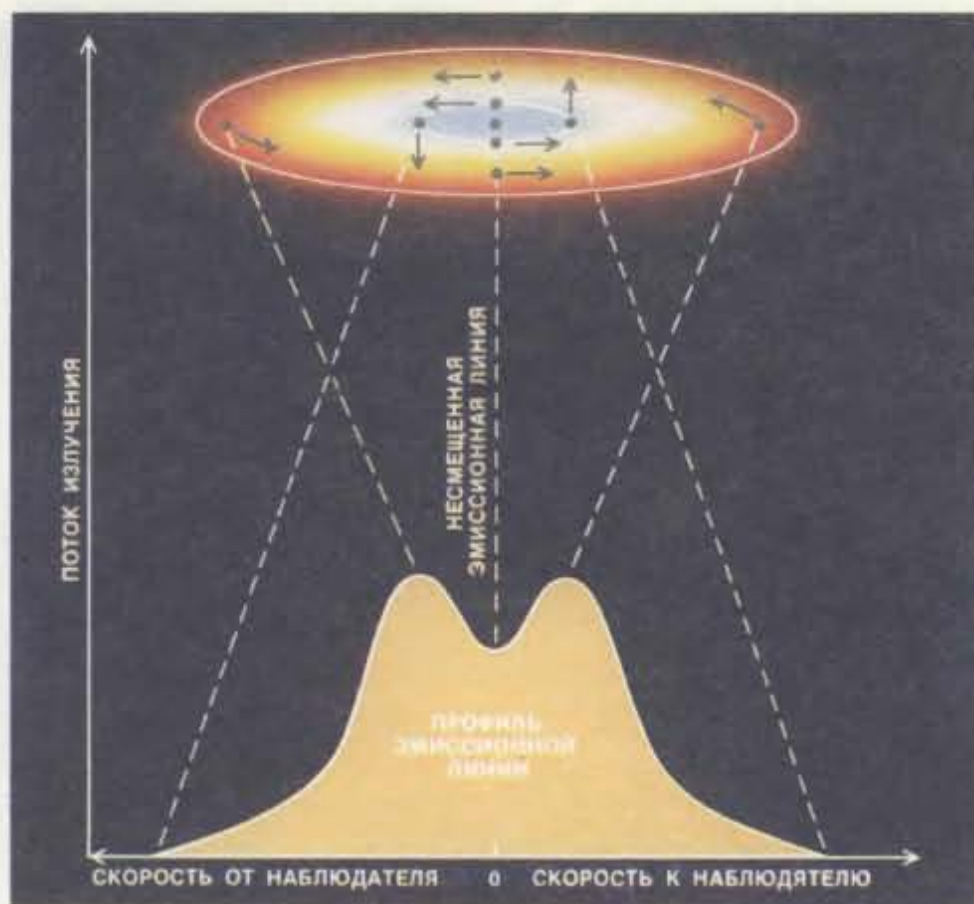
Астрономы-наблюдатели пришли к выводу, что вспышки карликовых новых происходят из-за усиления потока вещества через аккреционный диск. Это продемонстрировал Б. Уорнер из Кейптаунского университета, выполнивший фотометрические наблюдения карликовой новой Z Хамелеона. При наблюдениях с Земли красная звезда затмевает белый карлик и окружающий его аккреционный диск один раз на каждом витке. Во время вспышки падение блеска в середине затмения гораздо больше, чем в спокойные периоды; это свидетельствует о том, что источником вспышки не может быть красная звезда. Кроме того, продолжительность последовательных затмений в ходе развития вспышки увеличивается, а это значит, что выброшенное вещество распределяется по диску.

Оптический спектр карликовой новой сильно изменяется в ходе вспышки. В спокойные периоды в спектре преобладает «синий» континуум, на который накладываются эмиссионные линии водорода и ионов гелия (атом гелия, потерявший один электрон). Континуум возникает в плотных внутренних областях диска, а эмиссионные линии — в более разреженных внешних областях. В системах, в которых орбитальная плоскость видна почти с ребра, профили эмиссионных линий имеют два пика. Эта раздвоенность обусловлена доплеровским смещением — один пик принадлежит краю диска, приближающемуся к наблюдателю, другой — удаляющемуся от наблюдателя.

Во время вспышки интенсивность излучения в континууме резко возрастает, а эмиссионные линии становятся слабыми или исчезают совсем. Часто в результате поглощения излучения более холодным газом, окружаю-



БЛЕСК SS ЛЕБЕДЯ меняется в 20 раз. Полуперегулярные вспышки, вероятно, отражают изменения скорости потока массы через аккреционный диск. У SS Лебедя наблюдаются различные типы долгопериодической активности. Одна из более общих мод, показанная здесь, демонстрирует переход от короткопериодических к долгопериодическим вспышкам. Данные представлены с любезного разрешения Американской ассоциации наблюдателей переменных звезд.



ЭМИССИОННЫЕ ЛИНИИ с двумя пиками наблюдаются тогда, когда аккреционные диски видны почти с ребра. Излучение происходит на определенной длине волны. Излучение от части диска, движущейся к наблюдателю, вызывает «фиолетовое» смещение линий, а от удаляющейся от наблюдателя части — «красное» смещение. Самые внутренние области движутся быстрее всего, поэтому их излучение подвержено наибольшему смещению. Из-за малой площади поверхности эти области вносят наименьший вклад в поток излучения. Газ, пересекающий луч зрения, не дает сдвига.

щим яркую область диска, появляются широкие линии поглощения водорода. По мере ослабления блеска континуум исчезает, а эмиссионные линии снова становятся яркими.

Вспышки карликовых новых, вероятно, вызваны внезапным увеличением потока массы через аккреционный диск на белый карлик. Это увеличение потока может быть связано с выбросом вещества красной звезды или изменениями в самом аккреционном диске. Первое объяснение было предложено примерно 20 лет назад Дж. Батом, который тогда работал в Оксфордском университете; он предположил, что красная звезда периодически заполняет свою полость Роша, сбрасывая избыток вещества в аккреционный диск спутника. Этот избыток вещества увеличивает скорость аккреции, что в свою очередь повышает яркость диска.

Через несколько лет Дж. Смак из Астрономического центра им. Н. Коперника в Польше и Е. Озаки из Токийского университета независимо предложили альтернативную идею. Согласно гипотезе Смака—Озаки, перетекание массы со спутника проис-

ходит с постоянной скоростью. Существует некий механизм накопления вещества в аккреционном диске и последующего его сброса на белый карлик, как только масса диска превысит некоторый критический уровень.

Астрофизики отдают предпочтение модели неустойчивого диска, в основе которой лежит работа Смака и Озаки. В настоящее время большинство исследователей считают, что причиной неустойчивости является повышение локальной поверхностной плотности в какой-нибудь области аккреционного диска до критического значения. Как только плотность в некоторой локальной области достигает критического значения, вязкость резко возрастает и накопленное вещество выпадает на белый карлик, вызывая вспышку. Когда поверхностная плотность падает ниже некоторого уровня, вязкость диска уменьшается и процесс накопления вещества возобновляется.

В течение нескольких лет теоретики пытались разработать математические модели, способные описать неустойчивость аккреционного диска. В этих моделях предсказываются ло-

кальная поверхностная плотность и температура для заданных скорости аккреции и параметра α на некоторых радиальных расстояниях. Увеличение скорости аккреции ведет к росту поверхностной плотности, что в свою очередь повышает вязкость и, следовательно, усиливает разогрев. Поэтому ожидается, что температура диска изменится пропорционально поверхностной плотности. График зависимости локальной температуры от поверхностной плотности на заданном радиальном расстоянии в диске должен представлять собой кривую с положительным наклоном.

В модели вспышек Озаки—Смака требовалось, чтобы для некоторого расстояния в диске при заданной поверхностной плотности существовало два возможных значения температуры, соответствующие устойчивому состоянию. Вспышка соответствует решению с более высоким значением температур, а спокойное состояние — решению с более низким значением. В этом случае кривая зависимости температуры от поверхностной плотности должна иметь S-образную форму. Озаки и Смак приняли, что такое соотношение имеет физический смысл, но они не предложили никакого механизма, приводящего к такой зависимости.

В 1979 году Р. Хоси из Университета Риккё в Токио показал, что такой механизм существует. Хоси анализировал модель вертикальной структуры аккреционного диска (физические условия, преобладающие в тонком слое, перпендикулярном диску). Хотя эта модель была весьма приближенной, он получил S-образную кривую естественным образом, когда его модель рассчитывалась для таких значений температуры, при которых водород частично ионизируется, т. е. когда температура диска повышается настолько, что некоторые атомы водорода теряют свой электрон.

Чтобы понять механизм, соответствующий S-образной кривой, нужно исследовать физические условия в устойчивом диске (скажем, в состоянии теплового равновесия). В системе с постоянной температурой излучаемая диском в космическое пространство энергия должна уравновешиваться высвобождением энергии в его внутренних областях. В противном случае система либо переохладится, либо перегреется. Кроме того, в случае действительной устойчивости системы температура должна возвращаться в начальное состояние, несмотря на небольшие возмущения.

Например, Солнце находится в состоянии термодинамического равно-

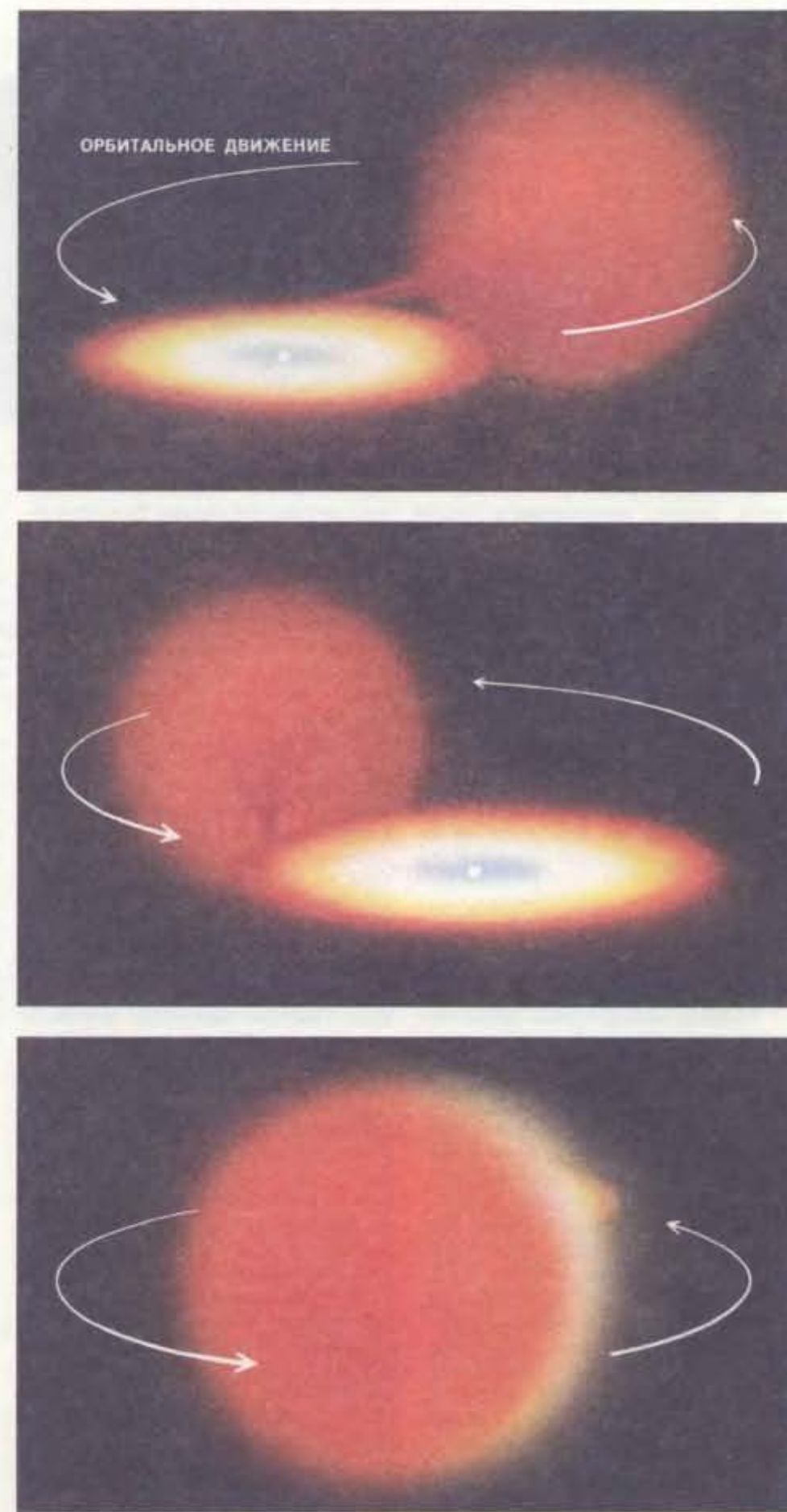
весия. Если бы температура в центре Солнца слегка понизилась, давление газа уменьшилось бы и Солнце сжалось. В свою очередь сжатие повысило бы температуру в центре и увеличило скорость ядерных реакций, заставляя Солнце расширяться до начальных размеров. В конце концов Солнце приобрело бы исходную температуру и выход энергии.

Ситуация в аккреционном диске во многом сходна. Если температура в срединной плоскости диска слегка понизится за короткий промежуток времени, то локальная вязкость уменьшится из-за уменьшения сил трения. В результате поверхностная плотность возрастает, так как снижение вязкости уменьшит поток массы во внутренние области, тогда как вещество из внешних областей будет поступать с постоянной скоростью. Повышение же поверхностной плотности приведет к увеличению вязкости и, следовательно, разогреву, в результате температура и поверхностная плотность вернутся к исходным значениям. При таких условиях график зависимости температуры от поверхностной плотности имеет положительный наклон, поскольку в областях с высокой температурой для поддержания нагрева, обусловленного вязкостью, требуется высокая поверхностная плотность.

Описанный механизм способен поддерживать термодинамическое равновесие в диске при условии, что с изменением температуры не будет происходить существенных изменений непрозрачности. От непрозрачности газа зависит, насколько свободно происходит испускание энергии диском в космическое пространство; значительное изменение непрозрачности может оказывать сильное влияние на температуру диска. При температуре около 10 000 К начинается ионизация водорода и непрозрачность его резко изменяется, увеличиваясь как T^{10} .

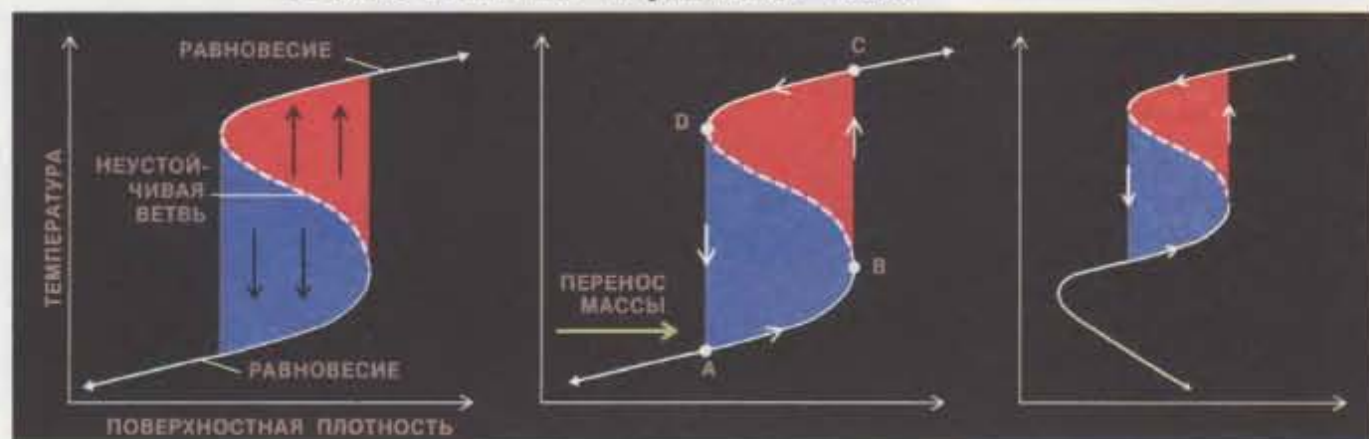
В областях диска с температурой, близкой к критической, слабое охлаждение ведет к значительному снижению непрозрачности, что вызывает увеличение энергии, излучаемой в космическое пространство, и дальнейшее падение температуры. И наоборот, небольшой рост температуры повышает непрозрачность, уменьшая поток излучения и вызывая дальнейший разогрев. Критические области в диске будут либо разогреваться, либо охлаждаться, до тех пор пока они не достигнут устойчивых ветвей на вершине или в основании S-образной кривой.

Поток энергии в направлении, перпендикулярном диску, зависит от локальной непрозрачности и локальной поверхностной плотности (пропор-



В СИСТЕМАХ КАРЛИКОВЫХ НОВЫХ, которые видны с ребра, регулярно происходят затмения, помогающие определить геометрию системы. Во время вспышки максимальный блеск звезды значительно возрастает. Но во время затмения аккреционного диска система становится намного слабее, чем в спокойные периоды, что свидетельствует о том, что избыточное излучение исходит от диска, а не от красной звезды.

Модель вспышки карликовой новой



Согласно одной из предложенных моделей вспышек карликовых новых, для аккреционного диска, окружающего белый карлик, характерна квазипериодическая неустойчивость. На рисунках сверху эта модель иллюстрируется графиками зависимости температуры от поверхностной плотности. Любая точка в диске соответствует двум устойчивым ветвям (или два равновесных состояния): одна при высокой и одна при низкой температурах (слева). Промежуточная ветвь термодинамически неустойчива.

Область диска, соответствующая красному участку на графике, разогревается до тех пор, пока не достигнет высокотемпературного состояния. Области, соответствующие синему участку, охлаждаются, пока не достигнут низкотемпературного состояния. Верхняя ветвь соответствует вспышке, нижняя — спокойному состоянию.

Переход между этими двумя ветвями для аккреционного диска, окру-

жающего белый карлик, в системе карликовой новой происходит следующим образом. Рассмотрим кольцевую зону на некотором фиксированном радиальном расстоянии от белого карлика, температура и поверхностная плотность которой соответствует точке А (в центре). Горизонтальная стрелка изображает скорость поступления вещества от второй звезды — красного карлика. Приток вещества в кольцевую зону превышает его отток на белый карлик, поэтому поверхностная плотность и температура увеличиваются.

Когда условия в кольцевой зоне соответствуют точке В, тепловое равновесие нарушается. Тогда нагрев, обусловленный вязкостью, превышает потери на излучение, поэтому область разогревается, пока не достигнет верхней равновесной ветви в точке С. При таких высоких температурах вязкость в диске велика. Вследствие этого накопленное в кольце вещество будет быстро перетекать внутрь и выпадать на белый карлик.

Из-за внезапного оттока вещества из диска локальная поверхностная плотность и температура уменьшаются и рассматриваемая область переходит из точки С в точку D, которой снова соответствует тепловая неустойчивость. В этот период потери на излучение превосходят нагрев, обусловленный вязкостью, и температура падает. После этого периода охлаждения кольцо возвращается в точку А и начинается новый цикл.

В этой модели принимается произвольная вязкость в диске. Канныццо и А. Камерон из Гарвардского университета разработали более полную физическую модель, в которой считается, что «вязкий» разогрев обусловлен турбулентностью, связанной с конвективными движениями в аккреционном диске. В этом случае S-образная кривая — это лишь часть более общей W-образной кривой (справа). Дальнейшие исследования должны привести к созданию более реалистичных моделей аккреционного диска.

циональной количеству газа на луче зрения). Нижняя ветвь S-образной кривой термодинамически устойчива, поскольку при таких низких температурах водород слабо ионизован, так что непрозрачность очень мало меняется с температурой. Верхняя ветвь устойчива потому, что из-за высокой температуры диска водород полностью ионизован и снова непрозрачность слабо меняется при изменениях температуры. Однако на промежуточной ветви непрозрачность очень чувствительна к изменениям температуры, что ведет к неустойчивости. Исходя из этих физических аргументов, Хоси показал, что зона частично ионизованного водорода в аккреционном диске может дать решения с двумя значениями температуры, которые обеспечивают физический механизм, способный объяснить идею Озаки—Смака о неустойчивости диска.

Удивительно, но работа Хоси не привлекла должного внимания. В июле 1981 г. Дж. Прингл из Кембриджского университета выступил на конференции в Калифорнийском университете в Санта-Крус и изложил общие представления о том, как S-образная кривая зависимости температуры от поверхностной плотности может обеспечить условия, ведущие к вспышке карликовой новой. На конференции присутствовали несколько специалистов по моделям аккреционного диска, которые сразу оценили важность детальных расчетов вертикальной структуры диска.

Пять месяцев спустя Ф. Майер с женой Э. Майер-Хофмайстер из Института астрофизики Общества им. Макса Планка в Гархинге (Германия) опубликовали короткую статью, описывающую основы представлений Прингла. Вскоре после этого статьи о механизме неустойчивости диска

опубликовали Смак в Польше, П. Гош, Дж. Уилер и один из нас (Канныццо) (все мы тогда работали в Техасском университете в Остине), Д. Лин и Дж. Фолкнер из Калифорнийского университета в Санта-Крус и Дж. Папалонзу из Куинз-Мэри-Колледжа и Ш. Минесиге (теперь работающий в Университете Ибараки) и Озаки.

Все эти исследователи признали, что вспышки карликовых новых являются естественным следствием неустойчивости аккреционного диска. Условия на каждом радиальном направлении в диске соответствуют некоторой точке на S-образной кривой зависимости температуры от поверхностной плотности. Температура, или, что эквивалентно, скорость аккреции, на данном радиальном расстоянии определяется поверхностной плотностью и предыдущей эволюцией вещества. Когда локальные усло-

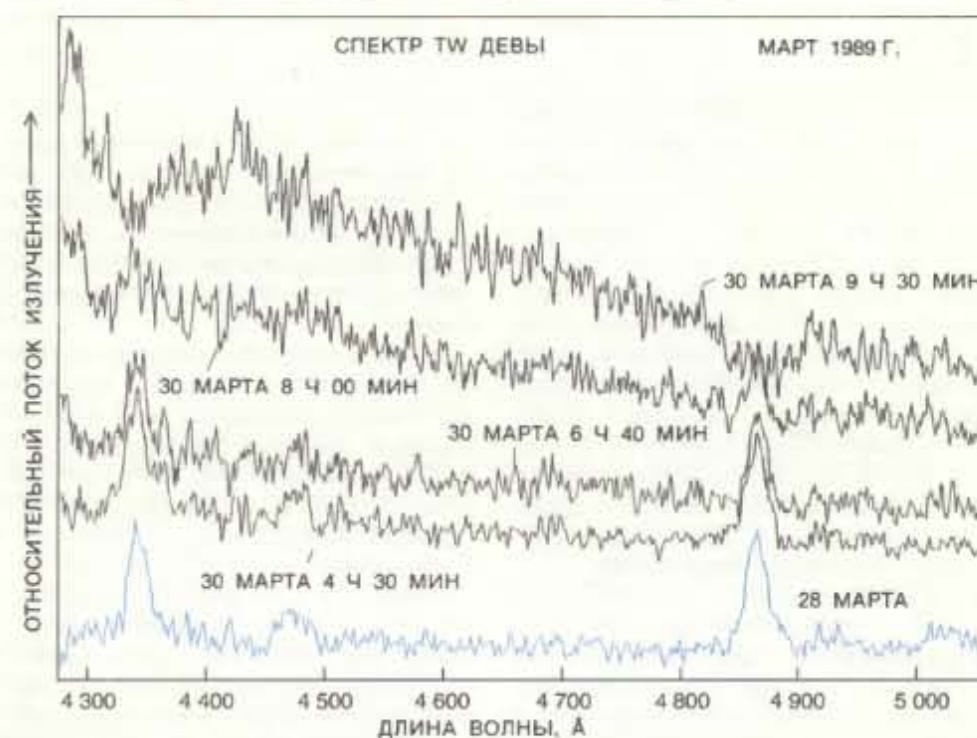
вия в диске будут соответствовать неустойчивой области S-образной кривой, произойдет вспышка (см. вставку на с. 36).

На основе модели неустойчивости диска сделан ряд предположений, которые можно проверить путем наблюдений карликовых новых. Смак описал многие из этих предсказаний в статье, опубликованной в 1984 г. Почти в то же время аналогичные исследования выполнили другие ученые, упомянутые выше. С помощью численного моделирования поведения аккреционного диска во времени Смаку удалось смоделировать кривую блеска, близкую к полученной из данных наблюдений.

Некоторые аспекты вспышек карликовых новых согласуются с моделью неустойчивости аккреционного диска. Кривые блеска диска, обусловленные его неустойчивостью, могут характеризоваться как медленным, так и быстрым увеличением блеска. Из численного моделирования следует, что если неустойчивость диска возникает вблизи его внешнего края, то происходит быстрое возрастание блеска. Тогда радиус диска в ходе вспышки должен увеличиваться; это явление наблюдалось у некоторых карликовых новых.

При таких «внешних» вспышках возрастание потока ультрафиолетового излучения будет запаздывать по сравнению с потоком излучения в оптическом диапазоне, поскольку ультрафиолетовое излучение генерируется в горячих внутренних областях диска, которые в последнюю очередь подвергаются вспышке. Наблюдения, выполненные с помощью Международной ультрафиолетовой обсерватории IUE (International Ultraviolet Explorer), показали, что у нескольких карликовых новых вспышка в ультрафиолетовом диапазоне запаздывает примерно на сутки по сравнению с вспышкой в оптическом диапазоне. Но в 1986 г. Прингл, Ф. Вербунт и Р. Уэйл, работавшие тогда в Кембридже, показали, что такое поведение можно объяснить и в рамках модели Бата неустойчивости звезды-спутника.

Из модели неустойчивости диска следует еще одно важное предположение: когда скорость переноса массы от красного гиганта превысит некоторый критический уровень, поток аккреции вещества будет иметь постоянную, но очень высокую скорость, соответствующую верхней устойчивой ветви S-образной кривой. Уорнер и Смак независимо исследовали эту проблему, определив скорость переноса массы для большого числа взаимодействующих двойных. Они обнаружили, что в системах с вы-



СПЕКТР КАРЛИКОВОЙ НОВОЙ в начале вспышки быстро изменяется, как показано сверху для двойной TW Девы. Нижний спектр соответствует спокойному состоянию. В других спектрах видны изменения, происшедшие через несколько ночей. В течение примерно двух часов система была в предвспышечном состоянии, и ее блеск слабо возрос. Затем блеск быстро нарастал, особенно в синей области спектра. К следующему дню блеск TW Девы увеличился в 100 раз. (Указано всемирное время.)

сокой скоростью переноса массы вспышки не наблюдаются, тогда как в системах со скоростью переноса массы ниже некоторого значения происходят вспышки. Наблюдаемая ими линия «раздела» хорошо согласуется с предсказанной теоретически и не зависит от параметра α . Модель Бата не дает такого верхнего предела. Анализ спектров излучения в процессе вспышки карликовой новой может дать важные свидетельства в пользу моделей неустойчивости диска. Интенсивность излучения областей, которые обуславливают эмиссионные линии, может быть чувствительна к малым изменениям локальных физических условий. Изменение интенсивности этих линий может быть предвестником вспышки.

К. Мансперджер, П. Хансиос, которые тогда работали в Университете шт. Огайо, и один из нас (Кейтчак) наблюдали такой эффект в эмиссионных линиях RX Андромеды за 18 часов до начала вспышки. Кроме того, блеск системы возрос на несколько процентов в течение суток перед главной вспышкой. Эти и другие наблюдения показывают, что иногда в цикле карликовых новых имеется предвспышечная стадия.

Мансперджеру и Кейтчаку удалось наблюдать переход от предвспышечного состояния к вспышке в карликовой новой TW Девы. В один из вече-

ров эта система оказалась несколько более яркой, чем была в предыдущую ночь. В течение следующих 2,5 часа блеск системы лишь слегка возрос. Затем в пределах 15 минут наклон спектра в континууме резко увеличился, свидетельствуя о внезапном возрастании температуры в диске. Одновременно нарастала и скорость увеличения блеска системы. До конца ночи наклон континуума продолжал увеличиваться, а вместо эмиссионных линий появились линии поглощения, указывая, что большая часть диска стала горячей поверхности Солнца. К моменту прекращения наблюдений на рассвете блеск системы возрос в 12 раз по сравнению с предвспышечным значением. Через сутки он превышал его в 100 раз.

Большой частью такое «предвспышечное» поведение было предсказано в модели, разработанной Минесигой, когда он работал в Институте астрономии в Кембридже. В этой модели главной вспышке предшествует «теплая» фаза, которая длится около суток. Затем от области тепловой неустойчивости горячий фронт распространяется через диск, порождая главную вспышку. Наблюдаемое предвспышечное увеличение яркости TW Девы соответствует предсказанной «теплой» фазе, так же как и наблюдаемые темпы изменения температуры и яркости диска.

Если описанная модель неустойчивости диска для вспышек карликовых новых верна, она должна дать ответы на многие вопросы, касающиеся физики аккреционных дисков. Самая сложная проблема в исследовании аккреционных дисков связана с природой их вязкости. Предварительная стадия в объяснении физического механизма вязкости включает эмпирическое определение величины этого эффекта и его зависимости от поверхностной плотности и радиуса диска. С помощью численного моделирования его зависимости от времени исследователи пытались так подогнать соотношение между температурой и поверхностной плотностью, чтобы модели вспышек соответствовали наблюдениям. Таким способом можно проверить теории разогрева, обусловленного вязкостью, чтобы убедиться, что они согласуются с наблюдаемым поведением карликовых новых.

Были предложены два механизма для объяснения разогрева диска вследствие вязкости. В одном из них основное внимание уделяется турбулентности, связанной с конвективными движениями, сопровождающими вертикальный перенос энергии из диска. В другом высвобождение энергии связывается с разрывом и пересоединением магнитных силовых линий в диске. Канинцо, работая с А. Камероном в Гарвардском университете, показал, что с помощью механизма конвективного разогрева можно объяснить некоторые аспекты соотношения между температурой и поверхностной плотностью, необходимого для вспышек карликовых звезд.

Недавно С. Болбас и Дж. Холи из Института теоретической астрономии в Виргинии открыли механизм,

посредством которого движения в ионизованном (и, следовательно, намагниченном) газе в диске усиливают слабые магнитные поля, всегда присутствующие в нем. Следующая задача для теоретиков — ввести эти результаты в общую теорию эволюции диска в целом и определить, можно ли воспроизвести в деталях наблюдаемое поведение вспышек карликовых новых.

Модель неустойчивости диска способна объяснить не только природу взрывных переменных, но и далеких мощных квазаров. Астрономы уже давно выдвинули гипотезу, что эти объекты имеют аккреционные диски, которые переносят вещество к черным дырам массой в миллионы солнечных масс в центрах галактик. Лин и Г. Шилде из Техасского университета в Остине в 1986 г. установили, что S-образное соотношение должно выполняться и для этих гигантских аккреционных дисков. Они предположили, что неустойчивость диска может привести к выбросу узких противоположно направленных потоков вещества (джетов), когда диск находится в состоянии высокого уровня активности, создавая последовательность узлов, наблюдаемых в радиодиапазоне в выбросах из некоторых активных галактик.

Прогресс в понимании природы аккреционных дисков должен сыграть важную роль в определении истинной природы квазаров и других мощных объектов в ядрах галактик, включая таинственный объект в центре Млечного Пути. Эта информация должна привести к новым представлениям об окружающей зарождающиеся звезды дисках, которые, вероятно, являются колыбелью планет, подобных нашей Земле.

сталл, в котором расположенные в определенном порядке дефекты выполняют роль буферов, смягчающих удары электронов, которые ведут себя подобно шарам в китайском бильярде.

Вопрос заключается в том, можно ли с помощью классической механики или квантовой теории объяснить поведение быстро движущихся (высокомобильных) электронов, перемещающихся в магнитном поле при низких температурах. При обычных условиях электроны в магнитном поле смещаются в направлении, перпендикулярном току. Это отклонение, известное как эффект Холла, имеет все

свойства электрического тока, включая его способность создавать напряжение и сопротивление. Если напряженность магнитного поля снижается, сопротивление Холла плавно падает. Однако когда электроны захвачены в узкие каналы и должны быть высокоомобильными, то, как неожиданно для себя установили ученые, сопротивление Холла выравнивается (образуя плато на графической зависимости сопротивления от напряженности), а затем падает почти до нуля.

Сначала ученые думали, что это явление, названное затуханием эффекта Холла, обусловлено квантовомеханическим свойством электронов вести себя как волны. Однако К. Форд и его коллеги из Исследовательского центра им. Томаса Уотсона фирмы IBM, а также К. Бинаккер и Х. ван Хаутен из Исследовательского центра фирмы Philips в Эйндховене (Нидерланды) не считают такое объяснение правильным. Согласно их расчетам, это явление можно объяснить законами классической физики, если рассматривать движущиеся в полупроводнике электроны как бильярдные шары.

Вайс и его коллеги подтвердили правильность классической интерпретации поведения электронов в их микрокристалле. Как утверждает С. Уошберн из Университета Северной Каролины в Чапел-Хилле, они показали, что «электрон может вести себя подобно бильярдному шару, имеющему электрический заряд». Чтобы доказать это, исследователи литографическим способом получили на полупроводнике решетку углублений, отстоящих друг от друга на равные расстояния, около 300 нм. Эти «антиоточки», как называют их Вайс и его коллеги, рассеивают электроны. Хотя в полупроводнике всегда есть случайно образовавшиеся и беспорядочно рассредоточенные дефекты, в которых электроны сталкиваются, в них имеется «гораздо больше мельчайших антиоточек, чем посторонних включений». Поэтому электроны чаще всего сталкиваются в антиоточках.

В зависимости от напряженности магнитного поля электроны могут «застрять» в любом желаемом количестве углублений и образовать замкнутые орбиты вокруг антиоточек в виде ровных кругов. Или они могут просто двигаться вокруг антиоточки, прокладывая себе путь в полупроводнике. Такое классическое поведение проявляется в виде резкого возрастания сопротивления, потому что «застрявшие» электроны снижают плотность заряда, текущего по каналу. Результаты проведенных во время эксперимента измерений хорошо согласуются с предположениями, сделан-

ными на основе анализа модели бильярдных шаров; это указывает на то, что движение электронов скорее подчиняется классическим законам, чем правилам квантовой механики.

Исследователи полагают, что настоящие квантовые явления будут наблюдаться, если антиоточки разместить на расстоянии примерно 50 нм друг от друга или если температуру снизить в 100 раз. В этом случае должна доминировать волновая природа электронов, которая может привести к таким явлениям, как образование стоячей волны между антиоточками. «При этих условиях должны обнаружиться новые не наблюдавшиеся ранее свойства», — сказал Вайс.

Среди признаков, указывающих на квантовомеханическое поведение электронов, могут быть малые колебания и непостоянство результатов измерения сопротивления. Но поскольку движение электронов на этом уровне должно быть действительно сложным и хаотическим, «решить полную квантовомеханическую задачу очень трудно», указывает Уошберн.

Хотя все это относится к области фундаментальной физики, не исключено, что удастся найти какое-либо практическое применение этим эффектам. Уошберн полагает, что из решетки антиоточек можно сделать высокочувствительные датчики. В принципе, по его мнению, такая схема может быть более чувствительной по сравнению с обычной. Он считает, что решетка с более плотным размещением антиоточек может «подавить» рассеяние, вызванное фононами или колебаниями кристаллической решетки. Меньшее рассеяние приведет к большей подвижности электронов. «Можно сделать материал с гораздо более высокой подвижностью электронов и на их основе изготавливать схемы, работающие более эффективно даже при комнатных температурах», — заявил Вайс.

Филип Ям

На пожарище

СЕДЬМОГО ноября пожарные потушили последнюю из более 700 нефтяных скважин, положенных иракскими войсками в Кувейте в феврале прошлого года. Работа по тушению скважин была завершена в удивительно короткий срок, хотя еще в июне опытный пожарный Ред Адэр предсказывал, что на это уйдут годы. Ниже рассмотрены три вопроса, поднимавшиеся в процессе тушения скважин. Первый вопрос экономического характера, второй касается охраны

окружающей среды и третий вопрос политический.

○ Окончательно ли истощены кувейтские запасы нефти?

Весной прошлого года было отмечено, что к черному дыму некоторых горящих скважин стало в больших количествах примешиваться некое вещество, похожее на водяной пар. Нефтепромышленники забили тревогу, так как это явление наблюдается при истощении нефтяных запасов. Пар появляется в том случае, если слой воды, лежащий под нефтью, начинает проникать в нефтяной слой.

Питер Хоббз, специалист по исследованию атмосферы из Вашингтонского университета, возглавлявший в мае выезд группы ученых в зону Персидского залива (который был организован Национальным научным фондом и министерством обороны), сказал, что его группа не обнаружила пара в дыму горящих скважин. Исследование, проведенное позднее Томасом Кахиллом, физиком из Калифорнийского университета в Дейвисе, показало, что в дыму в большом количестве присутствовала соль. Примеси соли, по утверждению Кахилла, указывают на то, что запасы нефти загрязнены «нефтяным рассолом».

До того как скважины были потушены, различные наблюдатели отмечали, что высота пламени и интенсивность горения заметно уменьшились, а это очевидный признак снижения нефтяного давления. Постоянное падение давления нефти, а также загрязнение ее водой могут привести к резкому увеличению стоимости добычи нефти в Кувейте и соответственно к резкому скачку цен на нее. Кувейтские официальные лица отказались обсуждать вопрос о размерах ущерба, нанесенного их нефтяным запасам.

○ Все ученые согласны с тем, что кувейтские пожары не оказали серьезного влияния на климат Земли. Но влияли ли они на погоду в Азии?

Хоббз, так же как и сотрудники Британского метеорологического управления, посетившие зону Персидского залива в марте 1991 г., отверг такую возможность. Но Томас Салливан, метеоролог из Национальной лаборатории им. Лоуренса в Ливерморе, не разделяет их точку зрения.

Салливан вычислил направление распространения дыма, использовал для этого компьютерную модель, разработанную для слежения за движением воздушных потоков, загрязненных радиоактивными выбросами в результате аварий на ядерных объектах. Модель показала, что в тайфуне, который пронесся над Бангладеш в апреле прошлого года, должно было собраться большое дымовое обла-

ко. Этот тайфун, ставший причиной гибели более 100 тыс. человек, сопровождался проливными дождями и побившими все рекорды наводнениями. Салливан также утверждает, что, согласно его модели, дым прошел над теми районами Китая, которые прошлым летом пострадали от наводнений, вызванных дождями.

По мнению Кахилла, примеси соли в дыму горящих скважин могли вызвать выпадение огромного количества осадков на территории Бангладеш и Китая. Отметив, что соль является прекрасным облакообразующим агентом, Кахилл назвал кувейтские пожары «самым крупным в истории экспериментом по образованию облаков».

○ Кто приказал американским правительственным экспертам замалчивать данные о влиянии кувейтских пожаров на окружающую среду?

Цензура была введена на время войны якобы с целью обеспечения государственной безопасности. Но в таких учреждениях, как Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (NOAA), цензура не была отменена и по прошествии нескольких месяцев после окончания войны. В телеграмме от 16 июня 1991 г., разосланной государственным департаментом дипломатическим представителям в зоне Персидского залива, говорится о том, что высказывания, касающиеся «негативного влияния продуктов сгорания нефти на здоровье человека, окружающую среду, урожайность сельскохозяйственных культур и климат планеты ... не следует воспринимать как нечто большее, чем просто предположения». В то время американские официальные лица публично заявляли, что это влияние незначительно.

Джон Носс, возглавляющий NOAA, заявил в июне прошлого года, что приказ о неразглашении последовал из Белого дома «с самого высокого уровня». Джон Робинсон, наблюдавший за деятельностью NOAA в зоне Персидского залива, приписывает этот приказ Стивену Данзански, управляющему делами правительственного кабинета в Белом доме. Данзански, который с апреля прошлого года занимает руководящий пост в министерстве образования, в свою очередь отрицает этот факт. Он предполагает, что такой приказ мог быть дан официальным лицом из Совета национальной безопасности. Данзански отказался назвать его имя. В октябре 1991 г. подкомитет палаты представителей по контролю и расследованиям начал рассмотрение этого вопроса.

Джон Хорган

Наука и общество

По аналогии с китайским бильярдом

БОЛЬШИНСТВО людей, когда они сталкиваются с какой-нибудь проблемой, засучивают рукава и берутся за работу. Однако физики часто ведут себя иначе. Они, например, могут заняться игрой — скажем, в китайский бильярд. Чтобы понять, как при определенных условиях электроны движутся в кристаллической решетке полупроводника, физики Д. Вайс из Института твердого тела Общества им. Макса Планка, М. Рауке из компании Bell Communications Research и их коллеги изготовили микрокри-

Как ориентируются морские черепахи

Вылупившиеся из яиц черепашки тут же отправляются в плавание, преодолевая сотни миль в однообразном морском просторе, а став взрослыми, направляются в обратный путь, к дому. Ученые пытаются понять, каким биологическим компасом и какими картами пользуются эти животные, чтобы безошибочно находить дорогу к местам размножения

КЕННЕТ ДЖ. ЛОХМАНН

Летними ночами, когда после захода солнца на пляжах Атлантического побережья Флориды наконец спадает жара, вылупившиеся из яиц и укрывающиеся в своих подземных гнездах морские черепахи логгерхеды начинают подавать признаки жизни. Время от времени задевая своды гнездовых камер, ударяясь о стенки, крохотные черепашки осыпают с потолка песок и утаптывают его под собой. При этом уровень пола медленно повышается, и новорожденные черепашки поднимаются в своем убежище словно в миниатюрном лифте, пока не выберутся сквозь толщу песка на поверхность.

А здесь этих крошечных животных, размером всего с ладонь ребенка, уже подстерегают многочисленные опасности. Из преследуют крабы, за ними охотятся лисицы и еноты, но уцелевшие черепашки быстро пересекают прибрежную песчаную полосу и, подхваченные прибоем, сразу направляются в открытое море. Борясь с волнами и течениями, преследуемые хищными рыбами и морскими птицами, они плывут день и ночь, пока не окажутся в относительно безопасных водах Гольфстрима. Здесь, в 50—80 км от берега, они укрываются в плавающих скоплениях саргассовых водорослей, где находят достаточно корма в виде мелких беспозвоночных животных. Спустя годы, особи, достигшие зрелого возраста (вероятно, не более одной из тысячи), направляются в обратный путь и нередко возвращаются на тот же пляж, где и дают потомство.

Как же черепахи находят дорогу в океанском просторе, где нет никаких опознавательных знаков? Лишь совсем недавно ученым, наблюдающим за ними в природе и в лабораториях,

стали известны некоторые сигналы, которые помогают этим животным определять свое местонахождение.

У черепах превосходно развита способность очень точно и надежно ориентироваться в пространстве. Миграции в прибрежных водах, которые совершают черепахи некоторых популяций, представляют собой лишь начальный этап трансокеанского заплыва продолжительностью несколько лет. Так логгерхеды (*Caretta caretta*), покинув берега Флориды сразу после рождения, возвращаются в прибрежные воды США не ранее, чем их панцирь вырастет до полуметра в длину. Еще никому не удавалось проследить путь маленьких черепашек в безбрежном море. И все же есть отрывочные сведения о том, что родившиеся во Флориде логгерхеды в конце концов пересекают Атлантический океан, а потом возвращаются обратно. Установлено закономерное увеличение размеров молодых черепах, которых отлавливают по периметру Североатлантического круговорота — системы морских течений, направленных по часовой стрелке вокруг Саргассова моря, которое представляет собой относительно спокойную зону в центре Северной Атлантики. Следовательно, достигшие Гольфстрима молодые черепахи, по-видимому, плывут через Атлантику в восточном направлении, затем гибнут Саргассово море с юга, после чего направляются на запад, к берегам Флориды.

Взрослые черепахи обладают еще более совершенным аппаратом ориентации, чем молодые особи. Например, зеленые черепахи (*Chelonia mydas*), кормящиеся у берегов Бразилии, совершают регулярные миграции в восточном направлении, преодолевая в океане расстояние более 2200 км,

чтобы попасть в места размножения на острове Вознесения.

Мечение черепах на острове Вознесения показало, что самки сохраняют поразительную верность местам откладки яиц. Не было случая, чтобы обитающих на острове черепах видели в сезон размножения в других местах. По окончании периода размножения черепахи отправляются с острова Вознесения в свои кормовые угодья у берегов Бразилии, а потом каждые 2—4 года снова совершают длительные миграции на тот же остров и обратно. Последние исследования Джона Авиза и его коллег из Университета шт. Джорджия показали, что по митохондриальной ДНК черепахи с острова Вознесения отличаются от аналогичных зеленых черепах из других популяций. Результаты этих генетических исследований служат дополнительным доказательством того, что черепахи постоянно возвращаются для размножения в места своего рождения и не смешиваются с особями других популяций.

Столь же верны своим родным пляжам зеленые черепахи, обитающие в устье р. Тортугера в Коста-Рике. Помеченных здесь черепах повторно отлавливали в местах кормежки, разбросанных по всему Карибскому бассейну и простирающихся на север вплоть до Флориды. Тем не менее на протяжении более 30 лет не было зарегистрировано ни одного случая размножения этих животных за пределами указанного района.

ЗЕЛЕНАЯ ЧЕРЕПАХА в океане. Во время путешествий между местами кормежки и откладывания яиц морские черепахи ориентируются в океанских просторах по геомагнитному полю и направлению распространения волн.

Вполне логично, что в качестве первого шага на пути расшифровки механизма ориентации мы попытались установить, какими сигналами руководствуются новорожденные черепахи во время плавания. Их перемещения в прибрежных водах очень напоминают более продолжительные миграции взрослых животных: в обоих случаях черепахи должны безошибочно находить путь к цели в отсутствие видимых опознавательных знаков в однообразном морском просторе. Очевидно, и молодые, и взрослые особи обладают способностью воспринимать одни и те же сигналы. Но молодежь меньше размером, за ней легче наблюдать в условиях лаборатории, тогда как взрослые особи могут достигать более метра в длину

при весе 180 кг. Вместе с моими коллегами по Атлантическому университету Флориды Майклом Салмоном и Дженет Уинекен я начал изучать поведение новорожденных морских черепах с восточного побережья Флориды, чтобы понять, каким образом они точно выбирают путь в открытом море во время своих перемещений в прибрежной зоне.

Приступая к работе, мы понимали, что плавающие черепашки могут в принципе пользоваться самыми разнообразными сигналами, облегчающими ориентацию. Установлено, что другие мигрирующие животные используют в качестве ориентиров положение солнца и звезд, поляризованный свет, запахи, направление ветра, инфразвук (низкочастотные колеба-

ния, которые генерируются, например, при ударах волн о берег) и магнитное поле Земли.

Геомагнитное поле является одним из самых универсальных и стабильных источников информации, доступных животным для выбора направления перемещений. В отличие от большинства других потенциально полезных ориентиров геомагнитное поле остается достаточно постоянным в дневное и ночное время и практически не зависит от изменений погодных условий. Хотя в свое время физики и биологи равно осмеивали саму мысль о том, что некоторые животные обладают способностью воспринимать геомагнитные сигналы, исследования, проводившиеся на протяжении последних 15 лет, показали, что в дей-

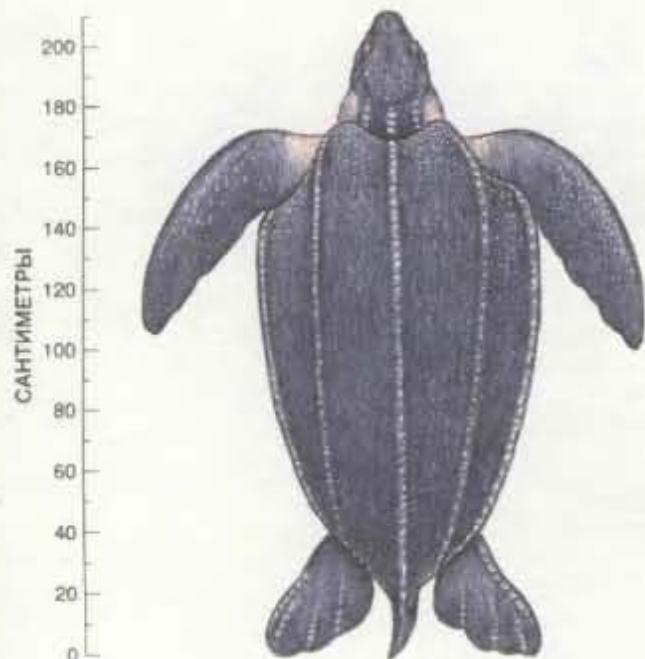


ствительности число таких животных на удивление велико. К ним относятся различные перелетные птицы и мигрирующие рыбы (в частности, лососи, тунцы и акулы), а также некоторые виды земноводных, насекомых и моллюсков. Поэтому мы решили для начала проверить, обладают ли такой же способностью недавно вылупившиеся из яиц черепашки.

Умение юных флоридских логгерхедов ориентироваться в пространстве мы начали изучать в наполненных водой емкостях, приспособив для этой цели фиброоптические спутниковые антенны диаметром около метра. На каждую подопытную черепашку надевали нечто вроде упряжки из нейлоновых бечевек, привязывая ее к одному из плечей коромысла, которые свободно вращались в горизонтальной плоскости под воздействием усилия, прилагаемого плавающей черепахой. Благодаря этому положение коромысла точно указывало направление движения животного. Каждая черепашка свободно перемещалась в пределах окружности с радиусом, равным длине привязи. В соседнем помещении размещали записывающий аппарат или компьютер, которые подключали к плечу коромысла, что позволяло регистрировать направление перемещений животных.

Морские черепахи

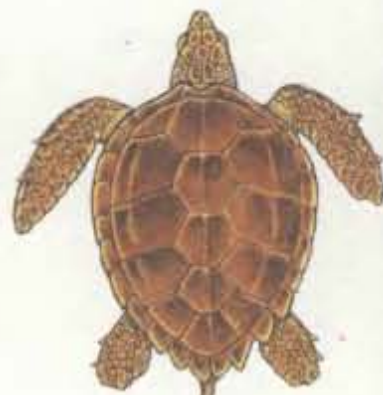
Большинство видов обитают в тропических и субтропических водах мирового океана. Кожистые черепахи иногда добираются до скандинавских берегов, оливковые черепахи Кемпа остаются в Атлантике, а плоские черепахи населяют южную часть Тихого океана (у Австралии). Некоторые зоологи рассматривают зеленую черепаху из восточной части Тихого океана как отдельный вид.



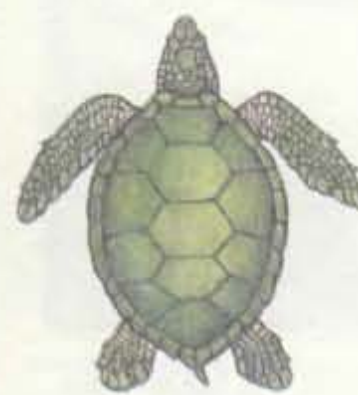
КОЖИСТАЯ
(*Dermochelys coriacea*)



ЗЕЛЕНАЯ
(*Chelonia mydas*)



ЛОГГЕРХЕД
(*Caretta caretta*)



ПЛОСКАЯ
(*Chelonia depressa*)



БИССА
(*Eretmochelys imbricata*)



ОЛИВКАЯ КЕМПА
(*Lepidochelys kempi*)



ОЛИВКОВАЯ
(*Lepidochelys olivacea*)

В начале каждого опыта ту сторону импровизированного бассейна, которая соответствовала востоку в геомагнитной системе координат, слегка подсвечивали, чтобы побудить черепашки плыть в «открытое море» (в природных условиях новорожденные черепашки, оставляя гнезда в ночное время, видят примерно такой же свет со стороны океана, так как водная поверхность лучше, чем суша отражает свет луны и звезд). Примерно через час свет выключали, и животные оставались в полной темноте.

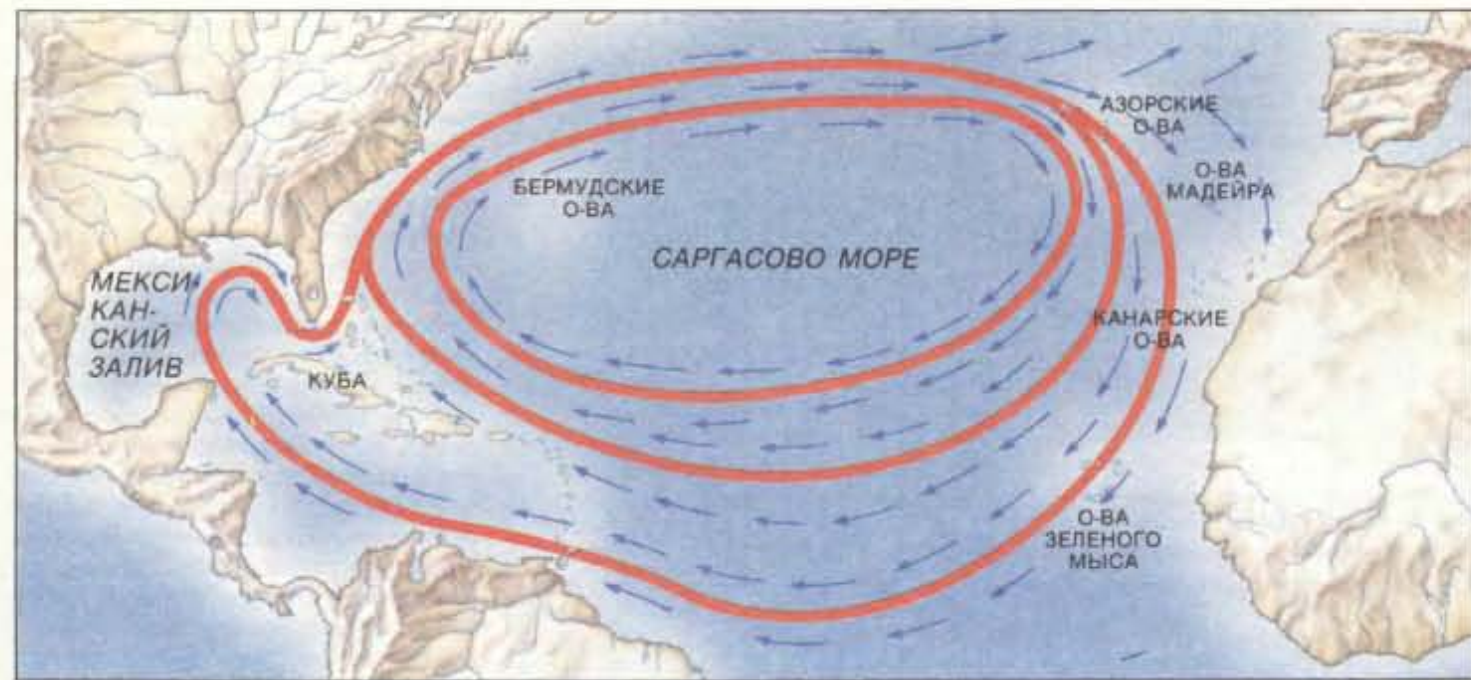
Сразу после выключения света черепашки начинали беспорядочно кружить по бассейну, словно не понимая, в каком направлении лучше двигаться. Однако спустя несколько минут они выбирали определенное направление и придерживались его на протяжении еще нескольких минут, а потом снова начинали плавать кругами. Такое странное поведение черепах с чередованием коротких периодов ориентированного и неупорядоченного плавания в полной темноте можно было наблюдать часами.

При расчете среднего направления перемещений отдельных особей выяснилось, однако, что животные выбирали его отнюдь не произвольно. Большинство черепах пыталось плыть в направлении между магнит-

ными севером и востоком, т. е. держалось курса, который в естественной обстановке позволил бы им, отплыв от восточного побережья Флориды, достигнуть Гольфстрима.

Мы предположили, что выбор животными направления в полной темноте был обусловлен ориентацией в магнитном поле Земли. Для проверки этой гипотезы необходимо было показать, что изменение направления магнитного поля вокруг черепах сопровождается изменением направления их движения. С этой целью было сконструирована система из пяти обмоток квадратной формы, выполненных из медной проволоки (так называемая кубическая обмотка Рубенса), которую разместили вокруг емкости с черепахами. При пропускании тока система генерировала слабое магнитное поле, относительно однородное на всей заключенной внутри нее площади. По напряженности индуцированное магнитное поле было вдвое сильнее чем горизонтальная компонента земного поля, но имело противоположную направленность. Этим обеспечивалась возможность регуляции интенсивности магнитного поля, действовавшего на черепах.

Имея в своем распоряжении такую систему, мы могли оценивать ориентацию недавно вылупившихся черепашек в двух разных магнитных полях. В новом эксперименте каждая черепашка начинала перемещаться в магнитном поле Земли, когда свет исходил со стороны, соответствующей востоку в системе магнитных координат. После этого свет выключали и черепашкам приходилось плыть в полной темноте, в условиях воздействия одного из двух магнитных полей. Половина из них продолжала двигаться в геомагнитном поле (при отключенной системе Рубенса), а остальные животные после включения системы испытывали влияние противоположно направленного магнитного поля.



МИГРАЦИОННЫЕ ПУТИ морских черепах (красные) свидетельствуют об их незаурядных навигационных способностях. Покинув гнезда на побережье Флориды, молодые логгерхеды, возможно, по нескольку раз оплывают Саргассо-

во море, чтобы спустя несколько лет вернуться на родной пляж откладывать яйца. К этому времени они вырастают до половины размера взрослых животных. Стрелки указывают направление морских течений.

Как и в предварительном эксперименте, черепашки, оказавшись в темноте, под воздействием геомагнитного поля перемещались в направлении между магнитным севером и востоком. В то же время, животные, помещенные в противоположно направленное магнитное поле, плыли в обратном направлении. Это наблюдение говорило о том, что новорожденные логгерхеды могут воспринимать геомагнитные сигналы и ориентироваться по ним.

Вооруженные новой информацией, мы готовы были думать, что объяснили способность юных черепашек выбирать правильный путь во время миграций в прибрежных водах. Попав в океан, рассуждали мы, животные в дальнейшем полагаются на магнитный компас, который продолжает действовать и после того, как исчезнет из вида берег. Именно этот «инст-

румент» и помогает черепахам держать верный курс к Гольфстриму.

Тем не менее гипотеза, сформированная на основании лабораторных наблюдений, требовала проверки в естественных условиях. Для того чтобы изучить ориентацию молодых черепах в открытом море, мы построили специальную плавучую клетку (см. рисунок внизу на с. 44). Черепах привязывали к бую внутри сетки и наблюдали за их поведением, получая таким образом возможность определить, в каком направлении предпочитали двигаться животные.

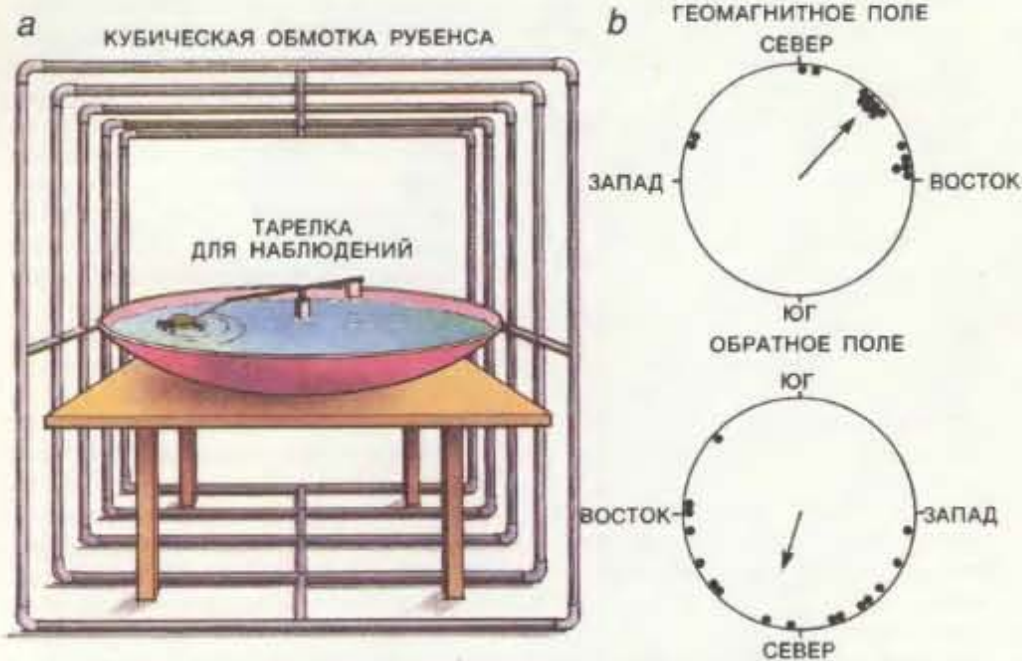
Проведя несколько натурных экспериментов с использованием таких сеток, мы установили, что черепахи пытались плыть в противоположную от берега сторону, даже если не могли его видеть, будучи увезены почти на 25 км в открытое море. Сначала мы решили, что они выбирают такое направление, руководствуясь геомагнитными сигналами.

Но вот, спустя несколько дней, в одно жаркое и необычно тихое утро, когда почти не чувствовалось ветра, поведение черепах внезапно изменилось. Наш катер стоял в нескольких милях от берега, где, как и прежде, черепах привязали к бую, накрыв клеткой. Впервые они пребывали в каком-то замешательстве: некоторые бесцельно плавали кругами, другие перемещались в произвольных направлениях, в том числе и в сторону берега. Мы были озадачены ничуть не меньше. В самом деле, если животные в своих перемещениях в сторону открытого моря руководствуются геомагнитными сигналами, то почему на этот раз они вели себя не так, как в прежних экспериментах?

Пока мы гадали о причинах столь неожиданной перемены, ветер постепенно усилился, и морскую гладь нарушило легкое волнение. Не успели мы обменяться замечаниями о том, что небольшие волны катятся к берегу, в западном направлении, как все

САНТИМЕТРЫ

САНТИМЕТРЫ



ЭКСПЕРИМЕНТЫ показали, что недавно родившиеся флоридские логгерхеды могут воспринимать сигналы магнитного поля Земли (а). Черепашку привязывали к одному из плечей коромысла и с помощью электронного устройства определяли направление ее движения. Для изменения направленности магнитного поля на противоположное использовали кубическую обмотку Рубенса. Полученные результаты (б) свидетельствуют, что большинство особей (точки) в обоих случаях плыли в направлении между магнитным севером и востоком. Стрелкой показано среднее для группы направление.

наши черепахи внезапно круто развернулись и направились в сторону от него. Продолжая наблюдать за ними в этих новых условиях, мы не могли не заметить, что буквально все животные плыли навстречу волнам, в открытое море, как и черепахи, с которыми мы экспериментировали накануне.

Неужели волны служили им опознавательными знаками? Чтобы ответить на этот вопрос, мы взяли морских черепах трех разных видов: лог-

герхедов, зеленых черепах и кожистых черепах (*Dermochelys coriacea*), и поместили их в чан с искусственно созданным волнением. В конструкции чана были использованы стальные обручи, чтобы нарушить местное магнитное поле. В таком чане при спокойной воде черепахи плавали в разных направлениях. Но как только мы создавали искусственное волнение, животные начинали двигаться навстречу волнам, что служило доказательством их способности придер-

живаться определенному курсу, используя в качестве ориентира волны.

Таким образом, мы узнали, что морские черепахи могут ориентироваться как по волнам, так и по магнитному полю Земли, по крайней мере в лабораторных условиях. Но как обстоят дела в природе? Используют ли эти животные волны, или магнитное поле, или иные ориентиры для выбора направления своих перемещений? Когда они предпочитают пользоваться теми или иными ориентирами? Не могут ли они руководствоваться сразу несколькими сигналами? Если ориентиром служит магнитное поле Земли, почему в тихую погоду они не плывут в открытое море по магнитному компасу?

Все это непростые вопросы. Иногда мы наблюдали, что молодые черепахи плыли в своих клетках против волн независимо от направления последних, даже если волны шли от берега. Какие бы выводы не подсказывали результаты наших наблюдений, нас не оставляла мысль, что привязанные черепахи были лишены возможности использовать другие, неизвестные нам ориентиры.

Мы, например, знали, что лет 20 назад Мэрион Ментон со своими сотрудниками из Колумбийского университета провела эксперименты, которые продемонстрировали способность зеленых черепах обнаруживать присутствующие в воде химические вещества. Это навело на мысль, что если новорожденные черепахи, направляясь в открытое море, следуют вдоль химического градиента (или даже вдоль градиента температуры или солености) между Гольфстримом и побережьем Флориды, то привязанные в одной точке океана животные

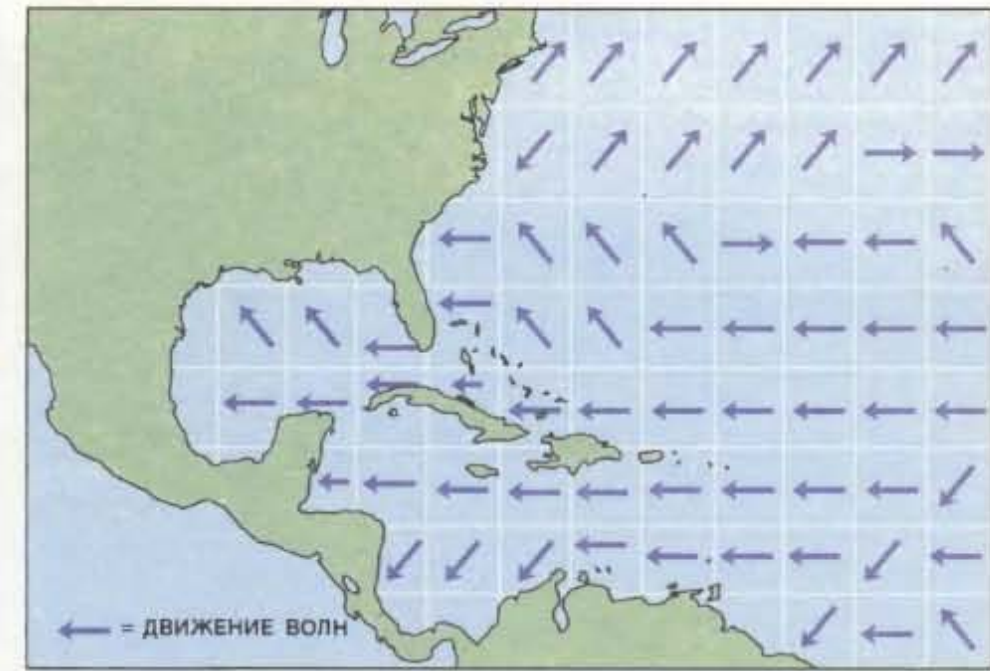
не имели возможности сравнивать состояние воды в разных местах, как во время миграций, что полностью исключало использование ими химического градиента для ориентации в пространстве. В этой ситуации черепахи могли плыть против воли просто потому, что к ним не поступали другие, возможно, более предпочтительные сигналы.

Для изучения этого вопроса мы провели наблюдения за черепахами, которые могли свободно плавать в прибрежной зоне. При этом за черепахами не следили так долго, как в экспериментах с плавучими клетками. Каждую черепаху просто опускали в воду и отмечали направление, в котором она удалялась от места выпуска. Имелось в виду, что каждое выпущенное животное получало возможность использовать все доступные ориентиры, как и приступающие к миграциям дикие морские черепахи.

Уже в самом начале мы заметили, что при обычных погодных условиях выпущенные на волю черепахи начинали плыть против волн. Однако поскольку волны шли с моря к берегу, это наблюдение не давало ничего нового. Выбирая направление движения, черепахи в равной степени могли руководствоваться направлением волн, магнитным полем Земли, химическим градиентом или любым другим источником сигналов. Чтобы подтвердить первостепенную важность ориентирования по волнам, нам надо было дожидаться дня, когда те будут двигаться в необычном направлении, т. е. в любом другом, кроме направления на берег. Тогда черепахам придется выбирать между движением против волн и перемещением в открытом море с использованием других ориентиров.

Мы дожались своего часа осенью 1989 г., когда вдоль побережья Флориды, на север, промчался ураган Хьюго. На подходе к суше он формировал своеобразные погодные условия на всей акватории, прилегающей к юго-восточной оконечности США. Проснувшись однажды утром, вскоре после прекращения шторма, мы обнаружили, что с берега дует сильный западный ветер. Ухватившись за эту уникальную возможность провести столь необходимый эксперимент, мы, не мешкая, погрузили наших черепах в пластмассовое ведро с водой и кинулись к катеру, чтобы как можно быстрее отплыть в море.

Мы нашли то, что искали в пяти милях от берега. Это было место, где волны явно катились на восток, в океан. Случай был редкий и эти условия не могли долго сохраняться. Поэтому



НАПРАВЛЕНИЕ распространения волн служит хорошим ориентиром, поскольку в сезон вылупливания черепах из яиц волны обычно направлены к берегу (вверху). Выпущенные в океан при необычных погодных условиях молодые черепахи также плывут навстречу волнам, хотя в результате они приближаются к суше (слева).

мы стали одну за другой выпускать черепах в воду, наблюдая за их перемещениями. Результат не вызывал сомнений: большинство животных сразу направилось наперерез волнам, хотя в конце концов это неизбежно привело бы их к берегу.

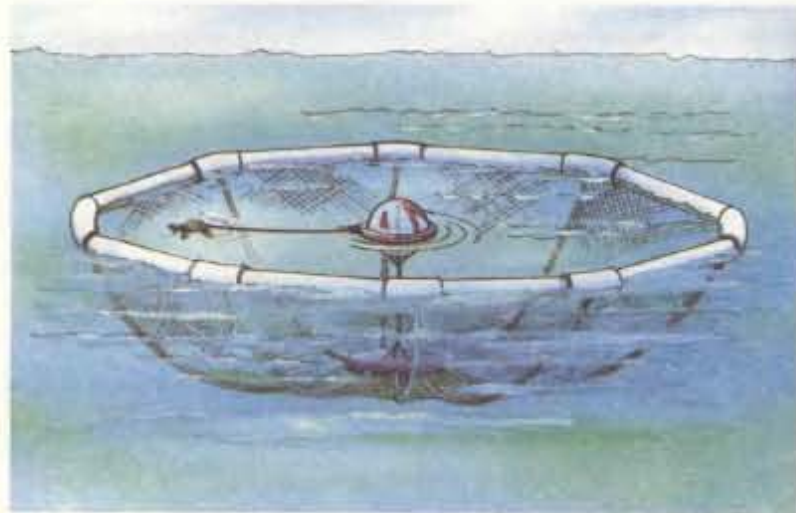
Нам поистине повезло. На протяжении следующих нескольких недель мы имели возможность неоднократно повторять наблюдения, благодаря тому, что необычная для этих мест погода вызвала на время изменение волнового режима. В каждом новом эксперименте мы наблюдали, как молодые черепахи плыли навстречу волнам независимо от того, в каком магнитном направлении двигались последние. Это исследование показало, что недавно вылупившиеся из яиц черепахи действительно использовали направление волн как ориентир для выбора направления миграций.

Почему же черепахи избирали именно этот ориентир? Волны, набегающие на мелководье вблизи пляжей, преломляются, пока не достигнут кромки суши. Поэтому в нормальных условиях направление их движения надежно указывает местонахождение береговой линии, а двигаться против волн — значит плыть в открытое море.

Направление волн, несомненно, служит важнейшим ориентиром, ко-

торый вылупившиеся из яиц черепахи используют в начальном периоде миграций. Тем не менее не исключено, что они, одновременно, или в качестве альтернативы, могут воспринимать и другие сигналы. После перемещения животных на более глубокие участки, где волнение океана уже не столь надежно указывает направление к берегу, на смену морским волнам в качестве ориентира, по видимому, приходит магнитное поле. Нельзя исключить возможность использования черепахами и других механизмов ориентации, например хемосенсорных, зрительных и, возможно, еще неизвестных науке.

Как ни поразительна способность недавно родившихся черепах ориентироваться в морском просторе, у взрослых особей она развита несравненно сильнее. К сожалению, наблюдать за этими животными в безбрежном океане, где происходят их миграции, очень трудно, а их большие размеры и вес не позволяют экспериментировать с ними в лабораторных условиях. Тем не менее можно представить себе характер навигационных навыков, которыми должны обладать взрослые черепахи, и поразмышлять о возможных механизмах их ориентации, исходя даже из тех скудных результатов, которые были



ПЛАВУЧАЯ БАЗА для изучения ориентиров, которыми пользуются юные черепахи в океане. На черепашку надевали упряжь (фотография), с помощью которой ее привязывали к частично погруженному в воду бую. Сетка защи-



щала животное от нападения хищных рыб. Буй легко вращался, что позволяло черепашке плыть в любом направлении. Большинство только что вылупившихся черепашек плыло навстречу набегающим волнам.



ЧЕРЕПАШКИ, ВЫЛУПИВШИЕСЯ на пляже Нансите-Бич в Санта-Розе (Коста-Рика), устремляются к воде, где чувствуют себя в относительной безопасности. По мнению уче-

ных, те немногие из оливковых черепах, которые достигают зрелого возраста, возвращаются для размножения на тот же пляж.

получены некоторыми исследователями (преимущественно методом мечения) и из нашего собственного опыта работы с молодыми животными.

Одно из существенных различий между юными и взрослыми черепахами состоит в том, что последние, по-видимому, знают свое местонахождение относительно конечного пункта миграций. Новорожденным флоридским черепахам требуется всего лишь твердо держаться курса в открытое море, чтобы попасть, наконец, в воды Гольфстрима — течения, параллельного береговой линии. В этих условиях можно ориентироваться с помощью относительно простого «компас» или, например, двигаясь навстречу волнам. Однако взрослые самки не могут полагаться лишь на компас в поисках обратной дороги к месту откладки яиц на совершенно определенном участке суши. Для этого им необходимо знать, где они находятся в данный момент. Ученые называют такую способность «чувством карты».

Чтобы уяснить разницу между чувством компаса и чувством карты, представьте себе такую мало приятную ситуацию: вам завязывают глаза, сажают в вертолет, высаживают на поляне в лесу столь обширном, что из него нельзя выбраться самостоятельно, и говорят, что улететь вы

сможете только в том случае, если, пользуясь компасом, через час найдете вертолет на другой поляне, точно в центре лесного массива. Компас поможет вам двигаться в определенном направлении, но это не значит, что вы вовремя попадете в нужное вам место. Для этого необходимо знать, где вы находитесь относительно цели вашего похода, например к северу или к востоку от центральной поляны. Таким образом, одного компаса недостаточно — нужна еще и карта или... чувство карты.

О чувстве карты у животных известно сравнительно немного. Детальные исследования проводились только на птицах, но и здесь специалисты придерживаются разных точек зрения относительно природы этого чувства и возможных механизмов ориентации. Тем не менее способность воспринимать магнитное поле Земли, развитая как у птиц, так и у черепах, теоретически вполне пригодна для определения собственного местонахождения в пространстве.

Отдельные геомагнитные параметры, например наклонение магнитных силовых линий (угол, под которым эти линии пересекают поверхность Земли) и напряженность поля в горизонтальном и вертикальном направлениях, подвержены закономерным изменениям по широте, которые не-

трудно прогнозировать. Любой такой параметр может использоваться в качестве одного из компонентов карты для определения местоположения относительно конечного пункта миграций.

Еще одним потенциально доступным для черепах источником магнитной информации служат полосы магнитных максимумов и минимумов на океанском дне. Такие полосы находятся в зонах разломов, т. е. в местах расхождения литосферных плит. Плиты движутся со скоростью несколько сантиметров в год. При этом непрерывно выделяется расплавленный материал, который в процессе остывания на морском дне намагничивается параллельно направлению геомагнитного поля.

Полярность магнитного поля Земли на протяжении ее геологической истории время от времени изменялась на противоположную (по меньшей мере 23 раза за последние пять миллионов лет). Поэтому полосы максимумов и минимумов на дне океана сформировались в периоды разной геомагнитной полярности, намагничены в противоположных направлениях. По мере расширения морского дна и расхождения литосферных плит на нем формировались чередующиеся полосы остывшей породы. Магнитный сигнал каждой полосы суммиру-

ется с местным магнитным полем Земли, что несколько усиливает общую напряженность последнего (так появились магнитные максимумы), либо противоположен существующему геомагнитному полю и уменьшает его, создавая магнитный минимум.

Полосы магнитных максимумов и минимумов обнаружены на обширных участках морского дна. Исследования Джозефа Кишвинка и его сотрудников из Калифорнийского технологического института показали, что киты и дельфины часто выбрасываются на берег в тех местах, где полосы магнитных минимумов пересекают сушу. Это предполагает способность китообразных перемещаться вдоль этих полос во время миграций. Возможно, по ним же ориентируются мигрирующие морские черепахи.

Сигналы, которыми руководствуются взрослые черепахи при выборе направления миграций, остаются столь же загадочными, как и чувство карты. Ясно, что к числу ориентиров относятся геомагнитные сигналы и направление движения волн. Во многих районах мирового океана волны и зыбь на протяжении большей части года могут служить надежными указателями направления миграций. Волновой режим отражает преобладающий характер ветров над обширными водными пространствами и остается постоянным на протяжении длительных периодов. Направление, в котором перемещаются океанские валы на данном участке, зависит от направления и силы ветра в десятках и сотнях миль от него. Поэтому волновой режим мало изменяется под воздействием местных погодных условий и сохраняет стабильность на протяжении недель и даже месяцев. Это явление известно с давних пор. Так, полинезийские мореплаватели постоянно использовали его в своих дальних походах.

До сих пор неизвестно, используют ли взрослые морские черепахи волны в качестве ориентиров. Хорошо известно, что мигрирующие взрослые особи не плывут прямо против волн. Это значит, что склонность новорожденных черепашек плыть навстречу волнам в юности и у взрослых животных сменяется способностью двигаться под определенным углом к ним (волновой компас).

По крайней мере в отдельных случаях мигрирующие черепахи, по-видимому, ориентируются с помощью хемосенсорного аппарата.

Некоторые исследователи склоняются к мнению, что гнездящиеся на острове Вознесения зеленые черепахи находят дорогу к родным пляжам, определяя присутствующие в воде на

расстоянии несколько сотен миль от него вещества, свойственные только этому острову, т. е. пользуются химическими сигналами. Расчеты, проведенные Артуром Кохом и его сотрудниками из Флоридского университета показали, что концентрация природных соединений, поступающих в море с острова Вознесения, в процессе их дальнейшего переноса к берегам Бразилии изменяется, как ни странно, очень слабо: разведение не превышает 100—1000-кратной величины.

Есть, однако, соображения, ставящие под сомнение способность черепах ориентироваться исключительно по химическим сигналам. Во всяком случае, кормящиеся в прибрежных водах Бразилии зеленые черепахи совершенно определенно не могут руководствоваться химическим градиентом, берущим начало на острове Вознесения, так как не в состоянии сравнивать состав воды в месте своего нахождения и на участках, удаленных от него на многие мили. К тому же, способность зеленых черепах, которые гнездятся в устье Тортугуэро (и в других местах), собираться для размножения на определенных участках пляжей с разбросанных по обширной территории мест кормежки (лежащий как выше, так и ниже по течению), также служит аргументом против возможности ориентирования с помощью одного лишь хемосенсорного механизма.

Столь же маловероятно ориентирование по звездам, хотя этим способом пользуются многие перелетные птицы. Изучение анатомического строения глаз морских черепах Кохом, который в настоящее время работает в Университете шт. Индиана, и Дэвидом Эренфельдом из Университета Ратгерса показало, что взрослые черепахи очень близоруки, если их голова поднята над водой. По этой причине они, видимо, неспособны различать конфигурацию созвездий в ночном небе.

Необычайно развитая способность морских черепах ориентироваться в пространстве, несомненно, служила важным фактором их эволюции, помогая осваивать кормовые угодья, лежащие на большом

расстоянии от мест размножения. Черепахи представляют собой очень древнюю группу животных, которые, судя по ископаемым остаткам, практически не изменились за миллионы лет своего существования.

И все же, несмотря на столь долгую историю, дальнейшее существование морских черепах находится под угрозой. Годы безжалостной охоты и сбора яиц привели к полному уничтожению некоторых популяций, а состояние многих других резко ухудшилось из-за повсеместного исчезновения традиционных мест размножения, загрязнения морской среды и попадания черепах в рыболовные сети. Два из трех видов морских черепах, размножающихся во Флориде (зеленая и кожистая черепахи), в настоящее время отнесены к числу находящихся под угрозой исчезновения, а третий (логгерхед) к уязвимым видам. Положение усугубляется строгой приверженностью многих морских черепах к местам гнездования, что делает невозможным пополнение пострававших популяций животными из других районов.

Правда, сохраняются и определенные надежды. Знание механизмов ориентации молодых черепах позволяет выращивать их в неволе, а потом выпускать в такие места и при таких условиях, которые обеспечивают максимальную вероятность их выживания во время миграций в прибрежных водах и в открытом море. Специалисты по охране природы предпринимают также попытки использовать навигационные способности черепах, перенося их яйца на охраняемые пляжи в расчете на то, что животные, родившиеся в таких безопасных местах, вернутся туда, чтобы в свою очередь дать потомство. Если мы сможем понять как ориентируются взрослые черепахи, то, возможно, рано или поздно удастся заманить возвращающихся к местам размножения самок на более безопасные пляжи. Поэтому изучение механизмов ориентации у морских черепах имеет важное значение не только для познания одной из наиболее совершенных из известных нам навигационных систем, но и для спасения этих животных от полного исчезновения.

Наука и общество

Снова Венера

ПОДОБНО детям, наблюдающим бейсбольный матч сквозь шель в заборе, планетологи жадно и нетерпе-

ливо наблюдали за тем, как радиолокационные изображения с космического аппарата «Магеллан» постепенно открывали перед ними поверхность Венеры. В завершении первого

года съемки поверхности Венеры с помощью «Магеллана» выявлено множество ошеломляющих и часто загадочных ландшафтов.

Недавно Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) опубликовало глобальные карты Венеры, усеянные ударными кратерами, разрушенными под воздействием мощной атмосферы, блинообразными вулканами, сетью разломов и загадочным лавовым потоком, извивающимся на 6800 км. Теперь различные специализированные группы ученых отступают на шаг назад, чтобы «посмотреть, как все это взаимосвязано и что означает», как говорит С. Саундерс, работающий по проекту «Магеллан» в Лаборатории реактивного движения.

Хотя скорость приповерхностных ветров на Венере не превышает нескольких километров в час, ветровые наносы видны вокруг многих кратеров. Они преимущественно ориентированы к экватору, указывая направление атмосферной циркуляции, считает Дж. Шуберт из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. На раскаленной (475°C) поверхности Венеры переносимая ветром пыль может вызвать эрозию или внедряться в скальные породы. Происходит также химическая эрозия, как сообщает Э. Арвидсон из Вашингтонского университета.

Но несмотря на это, поверхность Венеры усеяна крупными кратерами, такими, как Куниц (диаметром 50 км), названный в честь математика Марии Куниц. (Все образования на поверхности Венеры носят имена знаменитых женщин или женских мифологических персонажей.) С помощью «Магеллана» на Венере обнаружено всего около 850 кратеров, значительно меньше, чем на Луне или Марсе. Планетологи предполагают, что мелкие метеориты разрушаются в атмосфере; более крупные кратеры могут быть скрыты древними потоками лавы.

Одно из самых интересных вулканических образований — гора Гула, названная в честь ассирийской богини (мать-земля). Поперечник этой горы составляет несколько сотен километров, а высота — всего около 3 км. В начале выполнения программы Саундерс предположил, что Гула — активный вулкан. Но когда с «Магеллана» были переданы более подробные изображения, были обнаружены ударный кратер и выброшенная порода, лежащая поверх застывшей лавы вокруг Гулы и ее двойника — горы Сив (в германско-скандинавской мифологии Сив — богиня плодородия. — *Перев.*).

Некоторые участки поверхности, такие, как вершина Гулы, кажутся яркими в лучах радиолокатора «Магеллана». Горные области Венеры могут быть сложены из сульфидов или окси-

дов железа, которые эффективно отражают радиолокационный сигнал. Интересно, что вершина Маат, второй высочайшей горы на Венере, кажется темной. Сначала Дж. Вуд из Смитсоновской астрофизической обсерватории предположил, что темное вещество — это очень свежая лава, которая еще не подверглась выветриванию и не успела приобрести химический состав из сульфидов железа. Этот ученый пришел к выводу, что гора Маат моложе других вулканов, хотя выветривание происходит так медленно, что лава может быть очень древней.

Некоторые ученые полагают, что значительная часть поверхности Венеры подвергалась сильной переработке в период мощной вулканической активности 500 млн. лет назад, сходный с такими же «всплесками» активности на Марсе и Луне. Существует и «стационарный» сценарий, в котором принимается довольно постоянный уровень вулканической активности на протяжении геологического времени. Арвидсон усматривает в Венере «раннюю Землю», лишенную тектоники плит, но поддерживающую непрерывную вулканическую активность.

Топография Венеры определяется восходящими и нисходящими потоками вещества в ее недрах. Восходящие потоки образуют круговые разломы, называемые коронами. Как сообщает

Шуберт, борозды, наблюдаемые на краю некоторых корон, в действительности могут быть областями, где происходит субдукция коры в мантию. На карте северного полушария с центром, совпадающим с северным полюсом, выявляются яркие возвышенные области, такие, как нагорья Максвелл (прямо под полюсом) и Афродита (простирающееся в нижней части к правому краю изображения). Эти нагорья могли образоваться вследствие погружения холодного вещества в мантию планеты, которое сопровождалось прогибанием коры. Г. Петенджилл из Массачусетского технологического института сообщает, что нагорье Максвелл имеет резкий наклон — это неожиданно в условиях горячих деформированных поверхностных скальных пород.

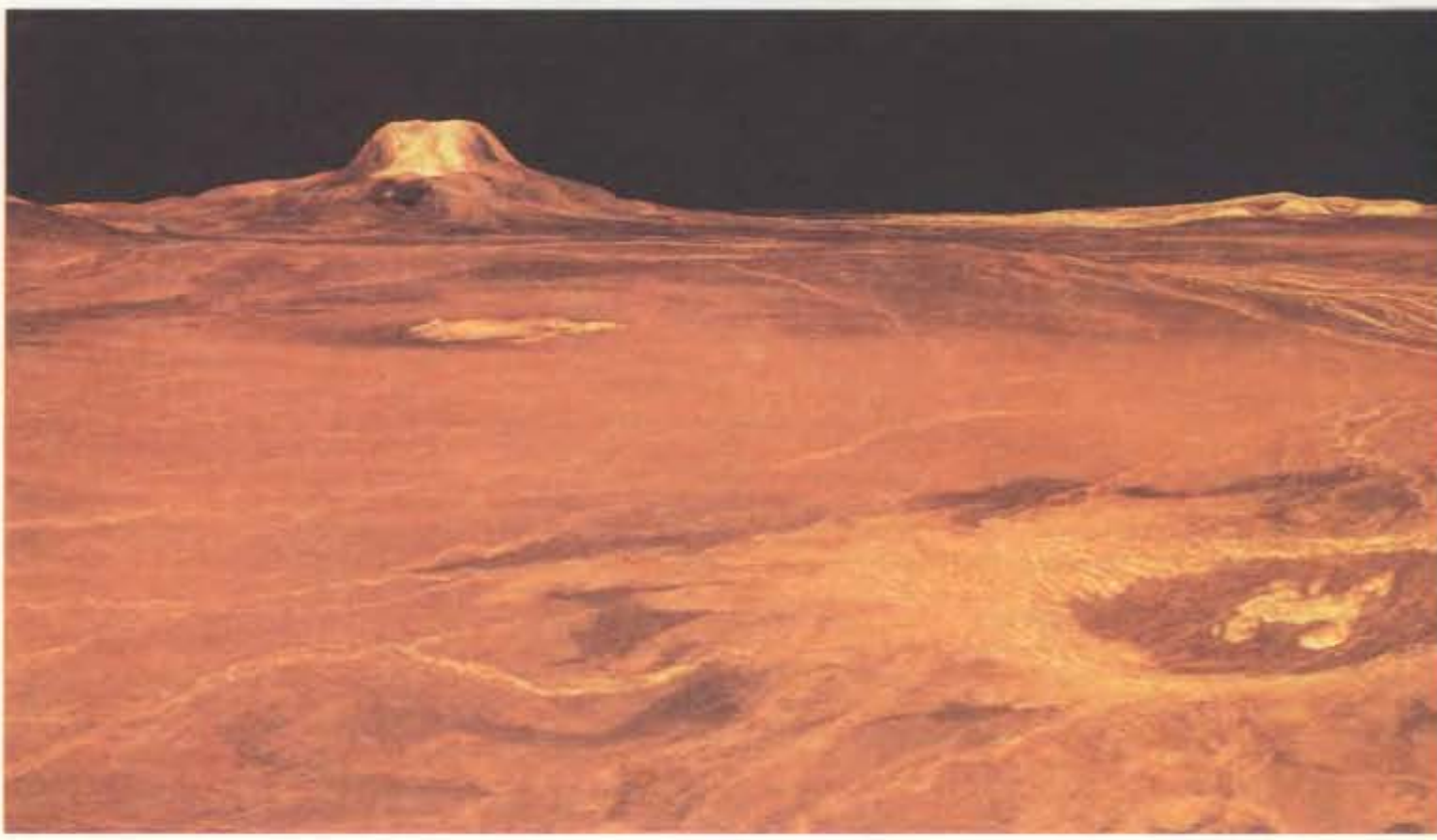
Несмотря на колоссальный объем уже собранной информации, проект «Магеллан» еще далек от завершения. Вторая серия съемки поверхности, которая должна была быть закончена к 15 января 1992 г., заполнит белые пятна, оставшиеся на первой карте, а также позволит выявить изменения, происшедшие на поверхности.

НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ, переданных «Магелланом», видны кратер Куниц (внизу), вершина Гула (справа вверху) и почти полная карта северного полушария планеты (справа внизу). Фото: НАСА и Лаборатория реактивного движения.

Ко времени завершения программы в 1995 г. «Магеллан» должен собрать еще четыре триллиона бит информации. Планетологи, изучающие Венеру, вдруг оказались лицом к лицу с огромным объемом новых данных, требующих объяснения. Не хотите ли

им помочь? В начале 1993 г. НАСА должно опубликовать карты диска Венеры, полученные в первом цикле программы, в виде набора из 62 оптических изображений.

Кори Паулл



Племенные войны

Контакты между европейцами и коренным населением Америки, вероятно, привели к нарушению тонкого социального равновесия в племенном сообществе, что вызвало распространение насилия

Р. БРАЙЕН ФЕРГУСОН

ШЕСТОГО января 1493 г. Христофор Колумб отправился из Нового Света в обратное плавание, оставив 38 человек своей команды на острове Эспаньола, в поселении Навидад. Это поселение располагалось вблизи деревни, где жил вождь племени таино по имени Гуаканагари, который, по словам Колумба, «с гордостью называл меня своим братом и относился ко мне, как к брату». Колумб был убежден в мирном характере местных индейцев.

Когда же он менее чем через год вернулся, его люди в Навидад были убиты, а само поселение и крепость разрушены. Гуаканагари обвинил в разрушениях более сильных вождей, живущих в глубине острова, и вскоре Колумб стал свидетелем их постоянных налетов на деревни, находившихся во владении Гуаканагари. Однако команда Колумба обнаружила в домах индейцев, живших в этих деревнях, спрятанные предметы, принадлежавшие убитым испанцам. Среди этих предметов был корабельный якорь, который, как полагал Колумб, не мог попасть к индейцам как предмет обмена. Ему так и не удалось установить, что произошло в действительности.

Исследователи и завоеватели последовавшие за Колумбом, нередко рассказывали жуткие истории о непереносимой жестокости индейцев. Когда философ Томас Гоббс писал в 1651 г. о войне «всех против всех» в первобытном обществе, он заметил, что «жизнь дикарей во многих уголках Америки... сегодня отличается такой же жестокостью». Даже в настоящее время бытует мнение, что «примитивные» культуры обычно находятся в состоянии войны и что одним из первых результатов контактов этих культур с Западом является уменьшение их воинственности.

На самом же деле «первый результат» европейской колонизации был совершенно противоположным. Контакты между европейцами и коренным населением часто усиливали вражду в регионе и нередко способ-



ПОЛИТИЧЕСКАЯ КАРИКАТУРА, относящаяся к войне 1812 г., нарисована шотландским карикатуристом Уильямом Чарлзом. Карикатура иллюстрирует то, как присутствие европейцев способствовало распространению насилия. Коло-

ствовали возникновению войн между группами, которые прежде жили в мире. Многие, а возможно, и большинство известных племенных войн могут быть непосредственно связаны с появлением в Новом Свете европейцев.

Лишь в последнее десятилетие антропологи стали понимать, что подобные явления обусловлены фактором, который можно было бы назвать «культурным эффектом Гейзенберга». Если представители западной цивилизации, будь то антропологи или

конкистадоры, наблюдают за ходом событий в каком-то регионе, само их присутствие способно повлиять на поведение местных жителей.

НОВЫЙ Свет — не единственное место, где социальные отношения между людьми были нарушены подобным образом. Глобальная имперская экспансия европейцев изменяла одинаковым образом отношения между местными племенами, хотя и с существенными вариациями, в зависимости от того, как коренное население

противостояло европейским болезням, внедрению металлургии и т. д. Следует отметить, что колониальная экспансия европейцев не уникальна. Современные государства Третьего мира, как и древние государства — от Китая до государства астеков — оказали значительное влияние на характер вражды между народами, живущими в районах, прилегающих к границам самих государств.

Нил Уайтхед из Оксфордского университета и я попытались нанести на карту контуры того, что мы называем «зоной племенных войн» — района, граничащего с тем или иным государством и испытывающего на себе ощутимым образом результаты такого соседства. Характер военных действий в этой зоне изменяется как под влиянием непосредственных контактов коренного населения с государством, так и в результате крупных изменений, связанных с существованием поблизости самого государства. Война, в конце концов, есть средство выражения политики, последняя же зависит от устройства общества, которое может претерпевать значительные изменения в результате экспансии государства, и эти изменения часто происходят задолго до того, как на сцене появляется «грамотный наблюдатель».

Антропологи выделяют три основные причины социальных изменений, которые могут дестабилизировать зону племенных войн, или племенную зону: болезни, привозимые переселенцами, изменение экосистемы привезенными видами животных и растений, влияние новых технологий и товаров. Весьма спорным остается вопрос относительно количества американских индейцев, умерших от новых болезней до первых непосредственных контактов с европейцами, однако определено известно, что вскоре после основания миссий, торговых поселений и фортов среди местных жителей наблюдались большие потери. Часто они приписывали новые массовые заболевания действию колдовских сил со стороны местных врагов и прибегали к ответным агрессивным акциям против них. Для групп, основанных социально, экономически и политически на кровном родстве, внезапная потеря трети населения часто оборачивалась катастрофой и имела для них даже большие последствия, чем чума в Европе.

Экологические изменения часто предшествовали экспансии европейцев, поскольку растения или животные, завезенные колонистами, начинали размножаться сами по себе. В



нысты выплачивали вознаграждение — одно ружье за 16 скальпов — как местным жителям, так и другим колонистам за добытые ими скальпы воевавших против них индейцев и европейцев.

некоторых случаях эти изменения были столь значительными, что трудно представить, какой была природная среда, например, на современной территории Новой Англии до 1500 г. По мере изменения среды обитания менялся и характер взаимодействия с ней местного населения. Обычно это приводило к коренным изменениям в организации работ, что также влекло за собой значительные изменения в социальной структуре.

Со времен Месопотамии основным видом отношений между государствами и их соседями, не объединенными в государство, была торговля готовыми товарами, промышленное же производство способствовало появлению новых форм торговых отношений в период европейской экспансии. Например, приобретение топоров и мачете позволило многим племенам Амазонии расширить свои лесные сады и начать производство маниока для торговли с лесными жителями Бразилии.

В большинстве районов Нового Света металлические инструменты стали предметом торговли среди коренных жителей задолго до обоснования там европейцев. Когда же этих ценных товаров появилось достаточно много, это привело к изменению местных систем торговли, а кабальные условия, диктуемые местными

группами, которые обладали монополией на поставку европейских товаров, часто приводили к большим распрям. Другие товары также быстро находили спрос у местных жителей, в особенности ружья и боеприпасы. Ружья не всегда обладали преимуществом перед вооружением индейцев в первые столетия с момента появления европейцев (последним это хорошо известно), однако во многих ситуациях их применение приводило к большому количеству жертв.

ЭПИДЕМИИ, экологические изменения и новые технологии могут предшествовать прямым контактам. Само же присутствие европейцев еще более усугубляет ситуацию в племенной зоне. Одним из наиболее усложняющих факторов является число государств, преследующих свои интересы в одном и том же регионе. Например, одновременное присутствие английских и французских колонистов в Северной Америке в XVIII в. давало коренному населению больше политической свободы для маневрирования, но вместе с тем вовлекало их в соперничество между той и другой стороной.

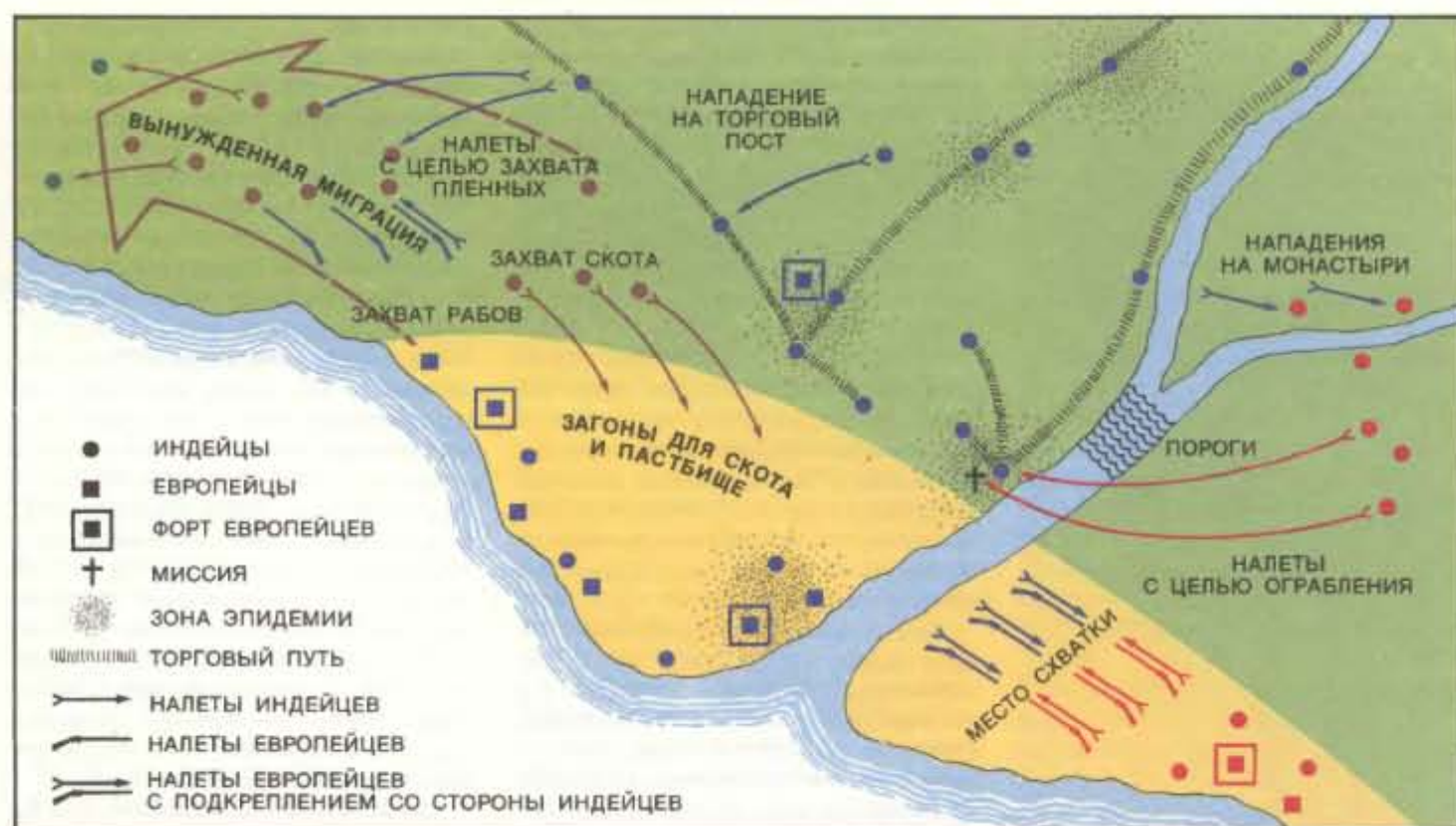
Отношения между европейцами и коренным населением зависят также от таких обстоятельств, как основной вид деятельности (военной, изыска-

тельской, религиозной или экономической) европейцев в данном поселении, степень административного контроля со стороны европейцев, система мер принуждения и усмирения местного населения, а также степень его интеграции в колониальное общество. Отношения между европейцами и местными группами — каждая из них имела собственную политическую иерархию, систему группового подчинения и собственную структуру подразделений — привели в свою очередь к появлению новых отношений между этими группами, либо враждующих друг с другом, либо объединенных общими интересами (как торговые партнеры или союзники).

Как ни парадоксально, существуют убедительные свидетельства того, что значительная часть племенной структуры, отмеченной европейцами, на самом деле была обусловлена присутствием самих европейцев. Представители местной администрации испытывали значительные трудности в отношениях с коренным населением при существовавших в то время формах его организации — часто без наделенного властью лидера или без четкой принадлежности к той или иной группе. Поэтому они сами стремились принимать решения — назначали вождей и устанавливали культурные и политические границы. Эти искусственные границы в свою очередь быстро вплетались в структуру местного общества, поскольку их существование намного облегчало отношения с представителями администрации европейцев — обстоятельство весьма важное для местных жителей.

Прямые и косвенные контакты с европейцами способствовали возникновению многих видов войн. Уайтхед и я подразделяем эти войны на три более общих вида, хотя в действительности часто имела место их комбинация. Первый вид — это войны сопротивления, в которых индейцы стремились сдерживать натиск европейцев или вытеснить их.

Этот вид противодействия отнюдь не был «автоматическим»: обычно европейцев принимали хорошо, пока их хищническое поведение становилось невыносимым. Европейцам далеко не всегда удавалось одерживать победу в бою, особенно в первые столетия с момента их появления в Новом Свете. Однако возможность государств пополнять свои войска с моря, искусное применение ими тактики «разделяй и властвуй», необходимость в отношении местных военных договоренностей, а также технологические и военные преимуществ в конце концов привели к поражению местных сил.



ПЛЕМЕННАЯ ЗОНА представляет собой прилегающую к границам государства область, в которой нарушена жизнь племенных групп. Для этой зоны обычно характерны вой-

ны, эпидемии и экологические изменения. В зоне происходили конфликты как между европейцами и коренными жителями, так и между самими племенными группами.

В войнах второго типа участвовали враждующие друг с другом племена, которых стравливали друг с другом европейцы. Эта этническая вражда была наиболее сильной в XVI—XVII вв., когда иностранные армии редко вступали в схватку без значительных вспомогательных сил индейцев. Последних европейцы обучали военному делу в своих лагерях и иногда оснащали их оружием. Даже в 1883 г. американские силы, преследовавшие Джеронимо, состояли в основном из индейцев апачи.

Войны третьего вида велись между независимыми племенами в пределах племенной зоны. Распри из-за западных товаров были лишь одной из причин этих войн. Другой причиной были трения, возникавшие в связи с переселением коренного населения: расширяющиеся границы государств вынуждали людей покидать свои места, вытесняя их на уже занятые территории или вовлекая в соперничество за жизненное пространство с подобными же группами. Наиболее яростные столкновения происходили при попытках захватить пленных, чтобы обменять их или продать европейцам. Такие столкновения наряду с эпидемиями новых болезней привели к значительному сокращению числа коренных жителей во многих районах Северной и Южной Америки.

ЭТИ РАЗЛИЧНЫЕ виды войн можно проиллюстрировать рядом хорошо изученных примеров, начиная почти со времени Колумба и кончая современностью. В опубликованном повествовании Ганса Штадена, захваченного в плен в 1550 г. индейцами тупинамба, живущими на побережье Бразилии, были даны ужасающие образы дикарей. Однако к тому времени тупинамба выступали в качестве союзников в войнах между Португалией и Францией, их вовлекали в рейды с целью захвата рабов для европейцев, они лишались своих земель и были доведены до нищеты колонизаторами, которые, проводя политику «разделяй и властвуй», преднамеренно разжигали между ними вражду.

Судя по ранним описаниям европейцев, дурной славой у них пользовались и карибы, которые захватывали людей в рабство и слыли каннибалами. Действительно, такие упоминания встречаются в рассказах европейцев о самых первых контактах с коренными жителями, однако, как показал Уайтхед, «слава» каннибалов, которая закрепилась за карибами, раздувалась преднамеренно. Согласно более подробным и не столь предвзятым описаниям, каннибализм был весьма ограниченной ритуальной практикой.

По испанскому закону пойманные каннибалы отдавались в рабство, поэтому племена карибов стали объектом охоты со стороны европейцев, которые использовали историю о пиршествах каннибалов как предлог.

Судя по некоторым источникам, с пленными, которые не были съедены, индейцы обычно обращались достаточно хорошо, а сами пленные интегрировались в местное общество. Лишь после более широких контактов с европейцами спорадический захват пленных обрел массовый и целенаправленный характер и превратился в своего рода индустрию по поставке рабов на колониальные рынки.

В конце XIX в. племя мундуруку, жившее в верховьях реки Тапажос, считалось самым воинственным во всей Амазонии. Не случайно они считались также самыми большими друзьями португальцев. Действительно, их жестокие рейды на большие расстояния осуществлялись по указанию португальцев, которые платили индейцам за налеты на досаждавшие им группы и поощряли за трофеи в виде людских голов.

Несколько десятилетий спустя репутация «самого воинственного» племени перешла к индейцам дживаро, жившим у подножия Анд. Вероятно,



КАРТИНА ПИРШЕСТВА КАННИБАЛОВ, нарисованная в 1594 г. Теодором Дебрайем, возможно, заключала в себе скрытый мотив. Если индейцы какого-либо племени признавались каннибалами, то, согласно испанскому закону, любой, кто захватывал в плен представителя этого племени, мог обратить его в раба.



ТСАНЦА (засушенная голова) иногда считается символом диких нравов индейцев, однако тсанцы в основном поставлялись на европейский и североамериканский рынки. Индейцы обменивали их на ружья, что привело к межплеменному соперничеству за обладание оружием. Это соперничество уменьшилось лишь после значительного сокращения численности коренного населения.

рост торговли шкурами буйволов усилили соперничество за обладание выпасными землями. Нападения на поселения с целью захвата лошадей приводили к вражде, а такие народы, как блэкфут и чейены силой сохраняли свою монополию на «доступ» к европейским торговцам.

На северо-западном побережье Тихого океана среди таких групп, как квакиютл, хайда и щимшаны на протяжении веков существовала вражда, обусловленная тем, что жители районов с бедными ресурсами нападали на тех, кто контролировал реки, в которых в изобилии водились лосось и другая рыба. С появлением европейцев эта вражда утихла, поскольку эпидемии привели к гибели более трети местного населения. Однако с развитием торговли пушной она вновь усилилась, хотя схватки происходили уже за право контролировать эту торговлю. Кроме того, рост богатства некоторых разбогатевших племен стимулировал у них потребность в рабах. Нападения с целью захвата рабов участились, особенно со стороны тех местных групп, для которых рабы были единственным товаром, который они могли обменять на ружья, необходимые им для самообороны.

В северо-восточных лесах соперничество за право контролировать торговлю пушиной переросло во вражду между ирокезами и гуронами. Эти воевавшие друг с другом племена стремились обеспечить себе доступ к торговым постам и местам охоты на бобров. Между тем, англичане и французы разжигали эту вражду, преследуя собственные колониальные интересы.

В других частях Северной Америки, в особенности на юго-востоке и юго-западе, наблюдалась во многом схожая картина. Стремясь удовлетворить потребность европейцев в рабах, чероки нападали на племена, жившие к западу от них, пима нападали на явапай, а другие группы — на навахов.

Те же факторы, о которых свидетельствуют исторические документы, характерны для племенной зоны и в настоящее время. Возможно, наилучшим примером являются янома-

ми — народ, сохранивший свои верования и обычаи и живущий в горных районах на границе Венесуэлы и Бразилии. В последние годы яномами лишены большей части своих земель в связи с разработкой бразильцами полезных ископаемых на их территории. В настоящее время предпринимаются международные усилия по сохранению за яномами оставшихся у них земель.

Яномами также известны тем, что они якобы постоянно воюют друг с другом. Если судить по широко известным работам антрополога Наполеона А. Шанона из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, яномами являют собой типичный пример дикарей, отличающихся особой жестокостью. Рассуждая об их воинственности, Шанон отмечает, что это и есть пример первобытного «состояния войны», о котором писал Гоббс. Шанон также считает, что их общество является типичным догосударственным образованием.

Точка зрения Шанона была поставлена под сомнение Уильямом Дж. Смоллом из Питтсбургского университета, бразильским антропологом Альсидой Р. Рамос и другими учеными, проводившими полевые исследования среди яномами. Они пришли к выводу, что нарисованный им образ жестокого народа неприемлем к яномами.

По мнению других исследователей, далеко не бесспорным является представление, что воинственность яномами вызвана соперничеством среди мужчин за обладание женщинами. Например, Марвин Харрис из Флоридского университета давно отстаивает свою точку зрения, что распри из-за женщин возникают не сами по себе, а в связи с другими проблемами. Он считает, что недостаток дичи, которая обеспечивала бы необходимое питание, порождает соперничество сексуального характера между охотниками. По мнению Харриса, возникающие конфликты снижают рост населения и обеспечивают баланс между его численностью и количеством доступной дичи. Некоторые исследователи объясняли причины хронических войн между яномами их мстительностью и верой в колдовские силы.

На мой взгляд, все эти факторы имеют второстепенное значение по сравнению с ощущающимися и поныне последствиями «цивилизованного» вторжения. В противоположность распространенному представлению, яномами не являются изолированным народом. Выбор ими места жительства в удаленных горных районах близ хребта Парима был обусловлен тем, что

они были вынуждены укрываться в труднодоступных местах от врагов, охотившихся за рабами — события, относящиеся к началу 17 в. Охота за рабами возобновилась в 18 и 19 вв., а в самом конце прошлого столетия на территории яномами с применением силы по отношению к ним началась добыча каучука. Таким образом, самый последний период прямых контактов с пришельцами является не первой, а четвертой или пятой «волной».

Изучая все доступные источники, в которых содержатся сведения о периодах войны и мира среди яномами с 1800-х по 1980-е годы, я обнаружил, что в подавляющем большинстве случаев военные конфликты возникали сразу же после какого-либо существенного передвижения европейцев — проникновения, отхода или изменения местоположения. Периоды их присутствия или отсутствия обычно сопровождалось миром.

В объяснении характера вражды между яномами следует учитывать то, что они имели доступ к западным товарам, особенно — к стальным инструментам, и это является, пожалуй, наиболее важным обстоятельством. Для яномами стальные инструменты были почти на порядок эффективнее каменных орудий. Они сразу же нашли применение в хозяйственной деятельности, например, их использовали для расчистки садов и добычи дров.

Яномами чрезвычайно ценили эти инструменты и другие европейские товары, использовавшиеся в утилитарных целях, а также в качестве украшений. Эти товары были редкими и не в одинаковой мере доступными. Яномами совершали опасные переходы и неоднократно меняли местоположение своих деревень с тем, чтобы получить лучший доступ к поставщикам западных товаров.

Хотя они иногда нападали на поселения европейцев или другие деревни с целью добычи товаров, грабежи были делом рискованным и совершались лишь изредка. Гораздо лучше было разместиться там, где был возможен доступ к товарам, например, устроить поселения вдоль торгового пути или, еще лучше, поселиться рядом с миссией или сторожевым постом европейцев. Сильная группа могла тем самым добывать относительно много западных товаров. Кроме того, такая группа получала значительные преимущества, выступая в качестве монополистов-посредников в торговле с более отдаленными деревнями.

Подобная группа часто торговала западными товарами, уже отслужившими свой срок. В обмен она получа-

ла разнообразные товары местного происхождения, такие как бумажная пряжа, луки, колчаны, стрелы, отравленные курае. Представители этой группы также получали преимущества в междеревенских браках. Удаленные деревни, желая установить торговые контакты, часто уступали своих женщин мужчинам, которые были посредниками в торговле. В этих браках посредник, предлагая европейские товары, освобождал себя от обременительной работы в течение нескольких лет на своего тестя — своего рода выкуп за невесту. Группы, которые контролировали доступ к европейцам, укрепляли свое положение, политическую и военную силу, поскольку они еще и пользовались поддержкой хорошо вооруженных европейцев.

В ЭТОЙ связи вражда между местными группами могла иметь несколько последствий. Яномами, изолированные от источников западных товаров, нападали на торговые посты, чтобы вытеснить посредников или установить свое присутствие вдоль торгового пути. Посредники же стремились защитить свои позиции, отражая попытки нападения со стороны соперника или препятствуя его передвижению вокруг контролируемого района. В пределах существовавших торговых отношений вражда между группами, перераставшая в яростные столкновения, могла приводить к изменению торговых путей и интенсивного торгового обмена с европейцами.

Почти всегда изменения в «источнике товаров» сопровождалось применением силы. Чаще всего более удаленная группа нападала на селение, расположенное между ней и этим источником. Независимо от того, удавалось ли этой группе вытеснить посредников, или же последние, дав отпор, укрепляли свои позиции, происходило установление новых прочных отношений. По прошествии примерно двух лет жители двух ранее враждовавших деревень практически переставали нападать друг на друга.

Распределением источников западных товаров можно объяснить вариации в характере военных конфликтов, однако это объяснение будет неполным. Яномами, живущие в районе слияния рек Ориноко и Мавака и жизни которых детально описана Шаноном и другими исследователями, проявили большую готовность прибегнуть к агрессивным акциям в середине 60-х, чем в начале 40-х годов, т. е. в начале современной волны контактов. Порог, при котором конфликты перерастают в войну, был ниже; кроме того, помимо «торгово-

го антагонизма», повышенная враждебность была обусловлена и другими факторами.

Эти и другие аспекты жизни в племенной зоне совместно порождают «комплекс враждебности», который пронизывает все общество и по причине которого яномами считаются «жестоким народом». Главнейший из этих аспектов — болезни: малярия, корь, а также заболевания легких и желудка. Ряд эпидемий был принесен современной волной контактов с европейцами вскоре после 1940 г., и в последующие десятилетия эпидемии наблюдались очень часто. В деревне одна эпидемия могла уносить до 40% жителей. Это было настоящей катастрофой, которая нарушила социальную систему, основанную на семье, и тщательно соблюдавшийся «баланс браков».

За эти же годы крупные деревни, расположенные около миссий, истощили местные ресурсы дичи. Это привело к уменьшению количества мяса, доставлявшегося при его общинном делении — практика, составлявшая основу солидарности между семьями в наиболее «подвижных» деревнях. Эпидемии и исчезновение богатой дичи привели к подрыву социальной солидарности. В конце концов она уступила место духу соперничества, который стал главным фактором, предрасполагавшим ко вражде и столкновениям в повседневной жизни.

Деревни, пережившие эти события, приспособились к атмосфере войны. Они стали гораздо больше по сравнению с обычными деревнями и поэтому могли собирать больше воинов. Женатые мужчины теперь обычно оставались жить у своих кровных родственников, а не переселялись в семью жены, как это принято у некоторых других яномами. Это позволяло им быстро мобилизовать силы, чтобы отстоять свои интересы. Деревенские правители были наделены большей властью, что было продиктовано условиями войны, а также благодаря их ключевой роли в контроле над торговлей и поддержке со стороны «местных» европейцев. Обычно скромные в традиционных деревнях, некоторые из этих правителей становились деспотами. Следует также отметить, что отношения между деревнями во многом определялись интересами торговли и принимали характер военных союзов.

Эти изменения отразились на всей системе верований и обычаев яномами. Стремление укрепить свое положение стало центральным мотивом, поскольку любое проявление неуважения могло привести к катастрофи-

это связано с тем, что они засушивали людские головы. К тому времени древнее ритуальное искусство засушивания голов превратилось в крупный бизнес, поскольку «продукция» пользовалась большим спросом в Европе и Северной Америке. Ружье за одну голову — таков был «курс», по которому европейцы платили дживаро, что вызвало между индейцами соперничество за обладание оружием и привело к повсеместной бойне.

ПОДОБНЫЕ изменения происходили и в Северной Америке, где также наблюдалось усиление межплеменной вражды. Пожалуй, в наибольшей степени это относится к племенам, населявшим Великую равнину. Появление у них лошадей и ружей полностью изменило их образ жизни, а последовавшие межплеменные конфликты были в немалой степени обусловлены именно этим обстоятельством.

Расширение границ поселений и

ческому подрыву позиций в войне и торговле. Поэтому яномами поощряли воинственность в молодых людях. Тот, кто стремился убедить других в необходимости поддерживать боевой дух и быть готовым к войне, искусно манипулировал идиомами колдовства и отмщения.

Даже мифы отвечали социальному климату. У яномами, живущих в районе слияния рек Ориноко и Мавака, существует миф, согласно которому их воинственность порождена кровью раненого мясца, упавшего на землю. Яномами, живущие в более «мирных районах», не знакомы с этим мифом.

ВОЗМОЖНО в каждом обществе существуют свои представления о причинах возникновения войн. В западной цивилизации общепринятыми являются идеи Гоббса. Конечно, народам Америки войны были известны еще до появления там Колумба. Например, весьма воинственные государства инков и астеков имели свою племенную зону, хотя ситуация в этих районах, вероятно, была более стабильной, чем та, где обосновались европейцы. Археологические данные определенно свидетельствуют о том, что даже в отсутствие какого-либо государства оседлые народы враждовали друг с другом, и порой эта вражда насчитывала тысячелетия.

Однако жестокость, отмеченная Гоббсом, не была выражением враждебности «человека природы», а скорее была обусловлена контактами с гоббсовским Левиафаном — государствами Западной Европы. Рассматривать бойню как нечто, приоткрывающее фундаментальную особенность человеческого существования, это все равно, что пытаться пройти через зеркало.

Оценка факторов, приводящих к войнам в период контактов, способствует более глубокому пониманию характера конфликтов между племенами, испытывавшими европейское влияние, и может пролить свет на загадочные убийства, последовавшие после самой первой встречи европейцев с американскими индейцами. Отчасти события на Эспаньоле переключаются с тем, что происходило в районе, населенном яномами: мирная обстановка сменилась войной вскоре после сооружения европейцами сторожевой заставы, удаленные группы стали нападать на те группы, которые располагались ближе к европейцам, а владения последних подвергались разграблению.

Хотя невозможно восстановить события, произошедшие в селении Навидад, вполне вероятно, что остав-

ленные в этом селении люди, ослабленные болезнями и внутренними распрями, стали требовать большего «гостеприимства» от местных хозяев, при том что к этому времени у испанцев, по-видимому, уже истощились запасы предметов для обмена с местными жителями. Независимо от того, убили или нет испанцев люди Гуаканагари, они, несомненно, стали обладателями многих столь желанных западных товаров. Часть этих товаров, вероятно, перешла в руки

индейцев других, более сильных групп, совершавших нападения на владения Гуаканагари, что привело к восстановлению баланса сил, нарушенного союзом между Гуаканагари и Колумбом.

Если этот сценарий верен — а он разыгрывался много раз в последние пять столетий, — то это будет означать, что дестабилизирующее влияние контактов с европейцами, проводивших к насилию, началось в Новом Свете уже в 1493 г.

Наука и общество

Компьютерные программы пытаются пройти тест Тьюринга

ЕСЛИ бы пионер вычислительной техники англичанин Алан М. Тьюринг увидел столпотворение прессы в зале Компьютерного музея в Бостоне 8 ноября прошлого года, то наверное был бы немало удивлен. Это был первый ежегодный конкурс Лебнера, в котором программы соревнуются друг с другом в попытке пройти через строгий тест Тьюринга, предложенный его автором в 1950 г. в качестве критерия, дающего ответ на вопрос о том, может ли машина мыслить.

В других помещениях музея 10 судей работали за 8 терминалами. Каждый терминал соединялся с одной из шести соревнующихся компьютерных программ или с одним из двух людей, участвовавших в тесте наравне с программами. В каждом случае отпечатанные сообщения были единственной формой диалога, на основании которого судья должен был решить, кто находится на другом конце канала связи: человек или программа. Диалоги, демонстрировавшиеся на больших экранах, опоясывавших зал, время от времени вызывали у публики взрывы смеха.

Сцена эта не совсем соответствовала тому спокойному, интеллектуальному поединку, который был задуман Тьюрингом. Его предложение было целиком выдержано в духе британского понимания честной игры: судья должен был взаимодействовать либо с человеком, либо с машиной и угадать, кто есть кто. Диалог разрешалось вести только с помощью электрической печатной машинки; в отсутствие таких факторов, как выра-

жение лица, индивидуальные привычки и т. д., игровое поле было бы интеллектуально ровным и объективным. Сможет ли интеллектуальная программа обмануть судью, ответив на серию его коварных вопросов так, чтобы он принял ее за человека?

Роберт Эпштейн из Кембриджского научного центра по изучению поведения, организатор соревнования, решил ограничить темы диалогов, чтобы дать какой-то шанс на успех современным программам, еще далеким от настоящего интеллекта. Судьи должны были расставить восемь партнеров по диалогу по шкале в диапазоне от наиболее человекоподобных до наиболее компьютероподобных. Затем судьям нужно было провести границу между теми, кого предположительно принимали за людей, и теми, кого — за программы.

Каждый судья обсуждал с участниками конкурса в Бостоне свою тему: от женской одежды и творчества Шекспира до приготовления мартина. Администраторы музея волновались за кулисами, опасаясь провала мероприятия. Вдруг судьи, несмотря на свою неопытность, запросто отличат программы от людей!

Оказалось, что они напрасно беспокоились. Несколько экранов повергли публику в раздумья относительно природы отвечающего на вопросы. Например, при обсуждении творчества Шекспира ответы были четкими и уместными. Иногда они демонстрировали нечеловечески подробное знание пьес, а иногда и глубоко человеческое понимание тонкостей сюжета и персонажей. Тема «Эксцентричный разговор» вызвала еще больший интерес у публики, когда судья под номером 9, работая за терминалом 5, вступил в поединок с неизвестным,

дававшим несколько уклончивые ответы.

Судья: Как вы определяете слово «эксцентричный»?

Терминал: Капризные, внезапные и зачастую своеобразные изменения в поведении... луч света в этом мрачном, сером мире!

Судья: Довольно пессимистичный взгляд на мир. У вас никогда не было неприятностей из-за вашей эксцентричности?

Терминал: Моя страна — Земля, и я гражданин мира, не так ли? Наверное, вы все же говорите не обо мне, вам так не кажется?

Наконец, судье номер 9 изрядно надоели эти уклончивые ответы.

Судья: Можете ли вы хоть раз ответить мне прямо на поставленный вопрос?

Терминал: Внезапные, смелые и неожиданные вопросы часто застают меня врасплох. Вы хотите считать, я один раз чтобы ответил вам, не правда ли? Иногда я сожалею, что не являюсь системным аналитиком.

Этот грамматический ляпсус («я один раз чтобы ответил вам») и выдал программу большинству экспертов и почти экспертов, наблюдавших за дисплеем номер 5. Это напоминало диалоги «Элизы», одной из первых беседующих программ, когда она неправильно спрягала и склоняла слова во фразах при построении своих ответов. Но Элиза была программой,

проводившей сеансы психотерапии с людьми. Программа же или личность на другом конце пятого терминала сама выглядела на совсем психически нормальной.

Несколько программ закончили испытания на человеческой части списков, составленных судьями. Хотя эксцентричный собеседник не обманул судью 9, ему удалось ввести в заблуждение пятерых из десяти судей и получить приз в 1500 долл. (Приз был оплачен спонсором конкурса Хью Г. Лебнером, бизнесменом из Нью-Йорка). Эта программа под названием «РС-Доктор» предназначена для того, чтобы пользователи, образно говоря, «спустили пар», как говорит ее создатель Джозеф Вайнтрауб, возглавляющий фирму «Думающие программы» (Thinking Software) в Вудсайд (шт. Нью-Йорк).

Второй была программа «Тьюринг», представленная Кеннетом М. Колби, одним из пионеров искусственного интеллекта и профессором психологии и поведенческих наук с медицинского факультета Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Программа Колби, специализирующаяся в вопросах романтических взаимоотношений, обманула двух судей и слегка обошла программу «Джулия» — мастера в области светской беседы. Два человека, участвовавшие в конкурсе, блестяще сыграли свою роль. Заметим, однако, что творчество Шекспира и женская одежда, по-видимому, останутся за пределами компетентности вычислительной

техники по крайней мере в течение еще нескольких лет.

По ходу соревнований кое-кто шепотом высказывал мнение, что тест Тьюринга сам по себе не имеет существенного значения для искусственного интеллекта. На самом деле если программа «РС-Доктор» представляет авангард будущих победителей, то сам конкурс можно рассматривать скорее как компьютерный цирк, чем критерий интеллекта. Высказывались такие замечания и по поводу замысла соревнований. Случайные эксцентричные ассоциации, например, так же легко рождаются в кремниевом кристалле, как и в человеческом мозгу. Могу ли этот факт дать программе «РС-Доктор» заведомое преимущество над соперниками? Тьюринг, наверное, сказал бы «да».

Однако эти сомнения никак не проявились в победной эйфории, царившей в зале компьютерного музея. Когда Вайнтрауб от имени своей компании обратился по радиорепродуктору к публике, один репортер, толкнув в бок своего приятеля, шутливо заметил: «Он неплохо заработал на всем этом». Участники следующего конкурса смогут получить более весомые награды в планируемом неограниченном тесте Тьюринга с призовым фондом в 100 тыс. долл. Тогда, наверное, сам профессор Тьюринг снисходительно улыбнется конкурсантам и благословит кремниевый кристалл. *А.К. Дьюдни, первый официальный комментатор первого ежегодного конкурса Лебнера*

Космическое рандеву

Они издавна были главными героями научно-фантастических фильмов, но никто никогда не видел астероид крупным планом, вплоть до настоящего времени. 29 октября 1991 г. космический аппарат НАСА «Галилей» на пути к Юпитеру впервые в истории передал на Землю изображения Гаспры, крошечного (примерно 12-20 км в поперечнике) «аборигена» пояса астероидов, расположенного между орбитами Марса и Юпитера.

Гаспра принадлежит к наиболее встречающемуся типу — каменный астероид типа S. Эта многочисленная и разнообразная группа, вероятно, включает как первичное вещество, из которого образовалась Солнечная система, так и осколки более крупных, более сильно проэволюционировавших тел. Гаспра относится ко второй категории, считает Дж. Веврка из Корнеллского университета. Ида, с которой «Галилей» встретится в 1993 г., по-видимому, принадлежит к более примитивному типу.

Неправильная форма Гаспры не была неожиданностью: мелкие астероиды, вероятно, подверга-

лись неоднократным столкновениям за время существования Солнечной системы, и их сила гравитации слишком слаба для того, чтобы составляющее их вещество могло образовать сферический объект. Исходя из числа кратеров на поверхности Гаспры, Веврка оценил, что возраст ее поверхности 300—500 млн. лет — весьма молодой по сравнению с возрастом Солнечной системы (4,6 млрд. лет). На изображении астероида видны изменения поверхности, вероятно, там, где метеориты нарушили верхний слой.

Из-за неисправности антенны «Галилей» сможет передать другие изображения Гаспры весной 1992 г., когда приблизится к Земле. На лучших изображениях можно будет обнаружить детали поперечником менее 100 м, т. е. разрешение будет в 3—4 раза выше, чем для приведенного здесь снимка.

У ученых первое изображение Гаспры вызывает гордость и радость. А как быть с поклонниками «затерянных в пространстве»? Что же, первые данные показывают, что реальные астероиды могут оказаться гораздо интереснее.

Кори Пауэлл



Световая связь: пятое поколение

Легированные эрбием световоды, активируемые излучением крошечных лазерных кристаллов, позволяют провести революцию в области усиления оптических сигналов, передаваемых по световодным системам трансконтинентальной связи и по локальным сетям передачи данных с большой скоростью

ЭММАНУЭЛЬ ДЕСУРВИР

ИНОГДА новшества возникают в результате необычного или оригинального применения существующих технологий или старых идей. Около пяти лет назад многие ученые предсказывали, что системы световодной связи практически достигли предела рабочих характеристик. Игнорируя такие мнения, группа исследователей пересмотрела технологию двадцатилетней давности: передачу сигналов по оптическим во-

локнам из кварцевого стекла с добавкой примесей редкоземельных элементов. Такие световоды могут усиливать световые сигналы, если они активируются инфракрасным излучением.

В течение трех лет эти исследователи (в их число входил и я) разработали новый тип оптического усилителя на основе волокна с добавкой редкоземельного элемента эрбия, которое активируется (накачивается) крошеч-

ным эффективным источником излучения, так называемым кристаллом лазерного диода. Если такой волоконный усилитель ввести в состав систем связи, то их пропускную способность можно увеличить в сто раз. В принципе по сплошному непрерывному световодному кабелю, длина которого составляет четверть длины экватора нашей планеты, за доли секунды можно передать миллиарды битов информации. Фирмы AT&T Bell

Laboratories и Kokusai Denshin Denwa (KDD) планируют в середине этого десятилетия проложить такой кабель по дну Тихого океана, и, вероятно, многие другие компании готовы последовать их примеру. По такому кабелю можно будет одновременно передавать 500 тыс. телефонных разговоров, т. е. в 12 с лишним раз больше, чем по существующим трансокеанским линиям связи.

Легированные эрбием световоды исключают необходимость применения сложных устройств, называемых повторителями, которые используются в обычных системах связи для восстановления ослабленных сигналов. Волоконные усилители могут усиливать сигналы в большее число раз, чем повторители, и они способны передавать данные с более высокими скоростями. Нет сомнения, что такие световоды будут играть важную роль не только в системах дальней связи, но и в локальных сетях. Волоконные усилители являются идеальными для сетей, в которых огромные объемы информации передаются тысячам пользователей. Такие сети могут подвести сигналы телевидения высокой четкости к каждому дому и позволить всем предпринимателям при-

нять участие в деловых телеконференциях.

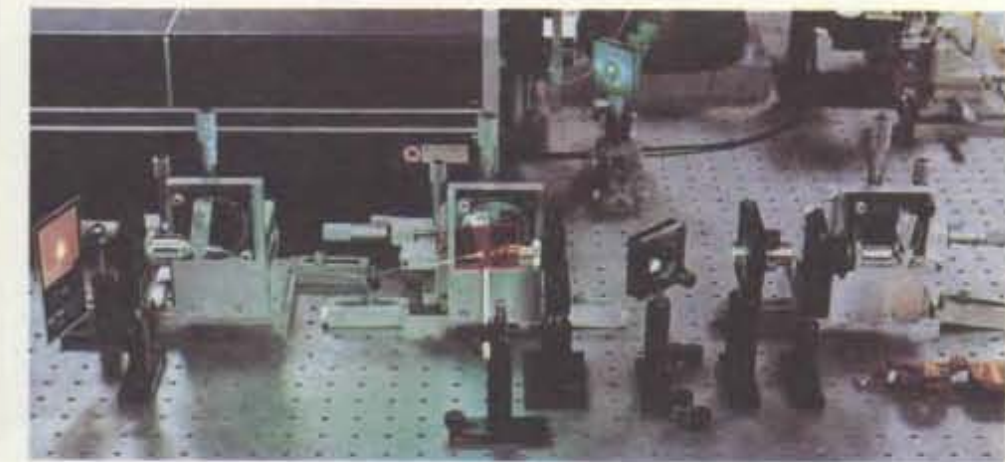
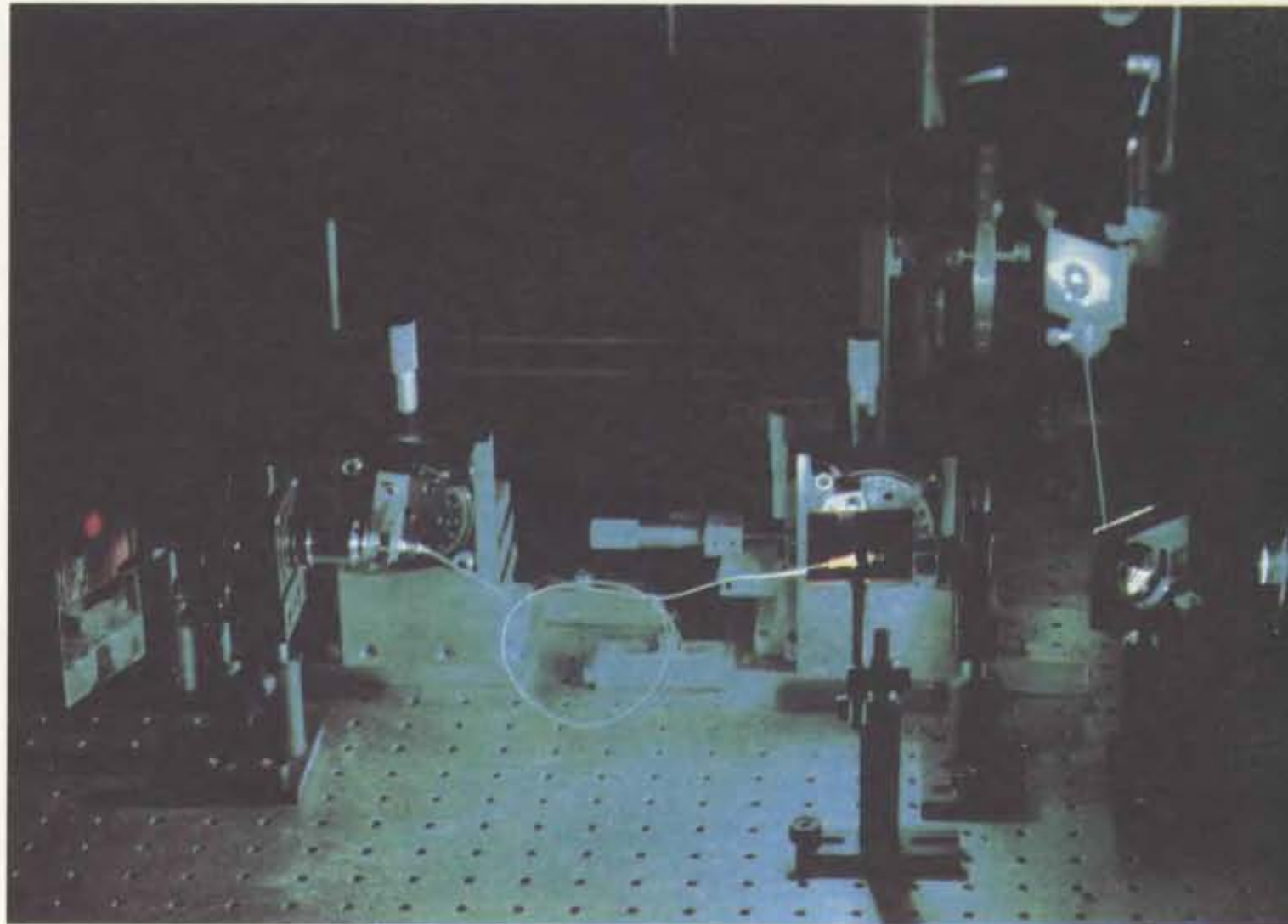
Не исключено, что световодные усилители найдут широкое применение в системах связи будущего. Их можно будет использовать в системах, в которых информация передается изменением фазы и частоты света, а не модуляцией его интенсивности, как это делается во всех существующих сегодня системах. Волоконные усилители также могут играть важную роль в системах, в которых информация будет передаваться солитонами. Теоретически эти короткие импульсы света могут бесконечно распространяться в свободном от дефектов волокне. Если на основе какой-либо из этих концепций можно будет создать практически работающую систему, ее эксплуатационные характеристики будут намного выше, чем у существующих систем.

С 1975 г. технология световодной связи развивалась исключительно быстрыми темпами. Она совершенствовалась по мере того, как ученые, преодолевая стоящие перед ними препятствия, создавали новые системы, способные быстрее и в больших объемах передавать информацию на все более далекие расстояния. Все вновь создаваемые системы должны также обнаруживать высокие эксплуатационные характеристики и быть недорогостоящими. За двадцать последних лет в результате непрерывного прогресса появилось пять поколений систем световодной связи,

каждое из которых было существенным шагом вперед по сравнению с предыдущим.

Первое поколение систем световодной связи было разработано примерно в 1975 г. Уже тогда эти системы могли передавать намного больше информации, чем электропроводные линии связи, в которых электрические сигналы распространялись по медным проводам. Системы первого и последующих поколений включают в себя одни и те же основные компоненты: кодирующие и декодирующие устройства, передатчик, кварцевые световоды, повторители и приемники. Вначале кодирующее устройство преобразует входную информацию в электрический сигнал. Затем передатчик преобразует этот сигнал в свет. В первых световодных линиях связи в 1975 г. в качестве передатчика использовался светоизлучающий диод, который генерирует инфракрасное излучение на длине волны 0,87 мкм. Изменение электрического сигнала в таких диодах вызывает изменение интенсивности излучаемого ими света.

Во всех поколениях световодных систем связи свет от передатчика распространяется по волокнам, сделанным из кварцевого стекла. Волокно состоит из центральной жилы (сердцевины), по которой распространяется свет, и оболочки, которая направляет свет по жиле. По мере распространения светового сигнала по волокну он становится шире и ослабевает. Уширение сигнала (его размывание) в основном происходит вследст-



ЛЕГИРОВАННЫЕ ЭРБИЕМ СВЕТОВОДЫ (светящаяся зеленым светом петля кабеля слева) будут одним из ключевых элементов в системах световодной связи следующего поколения. Для демонстрации возможностей световода с добавкой эрбия усиливать оптические сигналы автор и его коллеги из фирмы AT&T Bell Laboratories создали установку, показанную здесь при освещении (сверху) и в темноте (слева). Кварцевое волокно усиливает инфракрасные световые сигналы, если его активировать излучением зеленого лазера. Атомы эрбия в волокне поглощают зеленый свет и переходят в возбужденное состояние. Когда по световоду проходят инфракрасные световые сигналы, атомы эрбия передают им свою избыточную энергию в процессе вынужденного излучения. Траектория сигнала показана красным светом. Сигнал возникает в правой части установки, проходит через волокно с примесью эрбия и направляется в левую часть, где измеряется усиление сигнала.

вне того, что свет с различными длинами волн распространяется по жиле с неодинаковыми скоростями. Ослабление сигнала — это в основном следствие наличия неоднородностей и дефектов в стекле, которые рассеивают или поглощают свет.

В системе связи ослабление сигнала компенсируется повторителями. Эти устройства расположены между участками волокна определенной длины, они усиливают и заново излучают сигнал. В конце концов сигнал достигает приемника, который преобразует свет обратно в электрический сигнал. Наконец, декодирующее устройство преобразует электрический сигнал в формат, который может восприниматься телефоном или компьютером.

Успех каждого поколения систем световодной связи в конечном счете зависит от двух параметров: как много информации может быть передано через систему за одну секунду и насколько далеко сигналы могут распространиться по волокну без усиления их в повторителях. Таким образом, качество системы связи можно характеризовать пропускной способностью, которая определяется как произведение максимально возможной скорости передачи на максимальную длину связи (без повторителей). В 1978 г. один миллиард битов (один Гбит) можно было передать за одну секунду по системе связи с кабелем длиной 10 км. Пропускная способ-

ность такой системы составляла примерно 10 Гбит · км/с.

В течение следующих трех лет появилось второе поколение систем световодной связи, пропускная способность которых увеличилась почти до 100 Гбит · км/с. Ученым удалось улучшить эту технологию в двух направлениях. Во-первых, они уменьшили размер жилы световода и создали так называемый одномодовый световод, в котором световые сигналы разных длин волн распространяются практически с одинаковой скоростью. За счет этого фактора существенно уменьшается дисперсионное «расплывание» сигнала. Во-вторых, ученые создали передатчики и приемники, работающие на длине волны света 1,3 мкм. Переход на такую длину волны уменьшил ослабление сигналов в волокне, поскольку кварцевое стекло гораздо более прозрачно на длине волны 1,3 мкм, чем на 0,87 мкм.

В 1982 г., когда исследователи разработали технологию изготовления световодов с повышенной однородностью кварцевого стекла, на смену двум предыдущим пришли системы связи третьего поколения. Новые волокна обладали малым поглощением света в диапазоне длин волн от 1,2 до 1,6 мкм. Ученые также улучшили технологию изготовления диодных лазеров — высокоскоростных монохроматических источников лазерного света. Так, были созданы диодные лазеры с длиной волны излучения

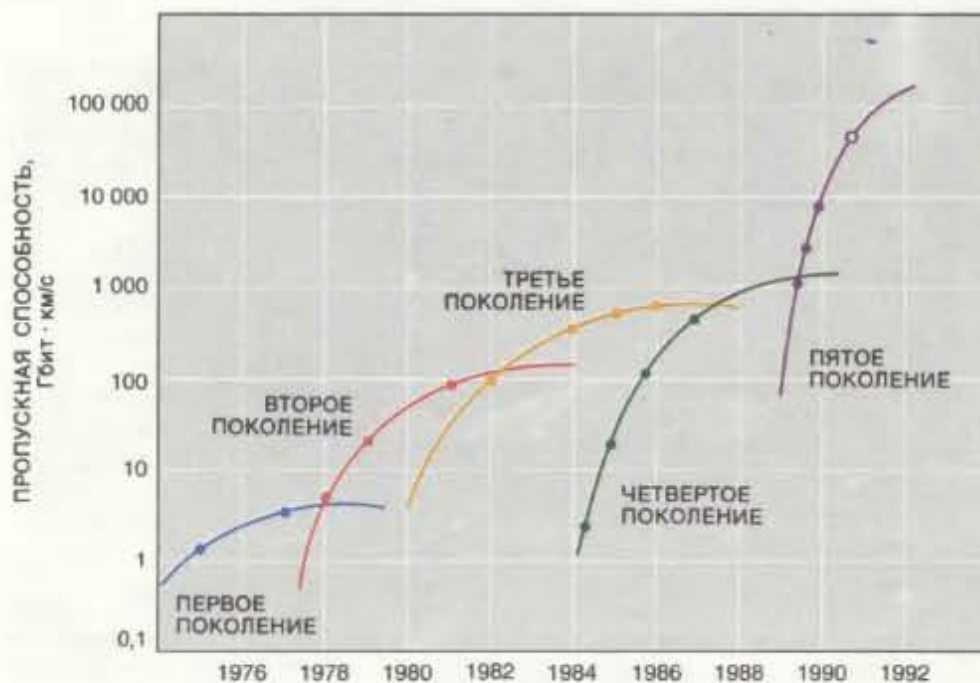
1,55 мкм, на которой кварцевое стекло обладает наибольшей прозрачностью. Эти достижения позволили поднять пропускную способность световодных линий связи до нескольких сот гигабит-километров в секунду.

К 1984 г. многие ученые полагали, что все основные идеи и принципы построения систем волоконной связи уже были реализованы на практике. К их удивлению, работы в области перспективных технологий и создания совершенно новых приборов обусловили появление четвертого, а затем и пятого поколений систем оптической связи.

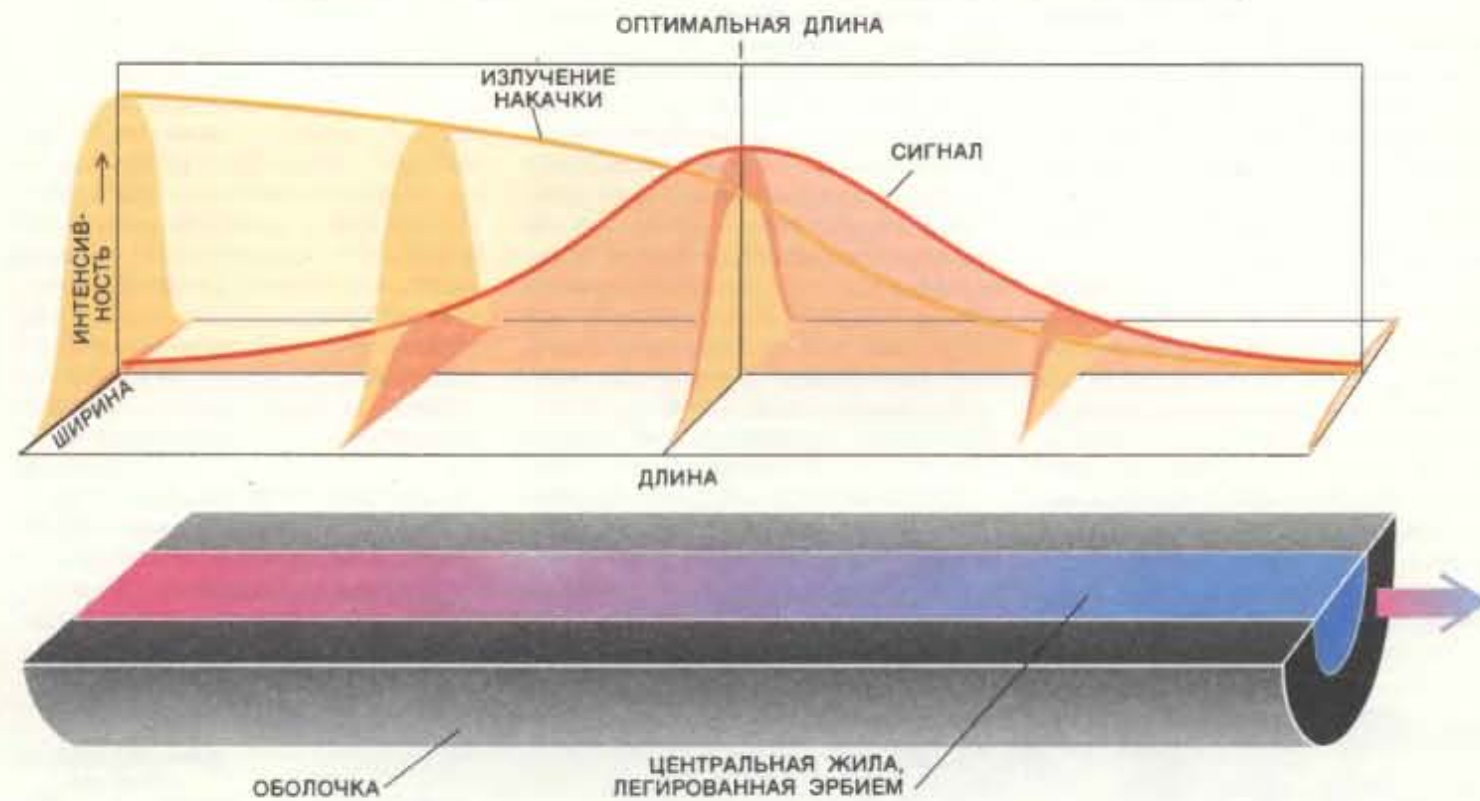
ЧЕТВЕРТОЕ поколение основано на новейших системах, в которых при передаче информации модулируется не интенсивность света, а его частота или фаза. Поскольку в этих системах должна сохраняться фаза и частота световой волны, то они называются когерентными, т. е. так же, как в волновой оптике, называют распространяющиеся вместе световые волны с одинаковой фазой и частотой. Системы, в которых используется модуляция интенсивности, называются системами с прямой регистрацией, поскольку используемые в них приемники излучения непосредственно преобразуют изменения интенсивности света в изменение силы электрического тока.

В лабораторных условиях технические характеристики когерентных систем лучше, чем у систем с прямой регистрацией. Когерентные приемники могут точно регистрировать световые сигналы, интенсивность которых гораздо меньше того минимального уровня, при котором они могут быть обнаружены в системах с прямой регистрацией. Поэтому в когерентных системах сигналы могут передаваться на более далекие расстояния, чем в системах с прямой регистрацией.

В 1987 г. когерентные системы имели почти такую же пропускную способность, как и системы прямой регистрации. Однако оставалось неясным, какую из этих схем можно будет улучшить в дальнейшем. Некоторые исследователи отдавали предпочтение когерентным системам, считая, что они обладают более высокими потенциальными возможностями. Однако применение когерентных систем связано с рядом технических трудностей. Для них в частности, необходимы источники света с очень стабильной частотой и фазой, а также приборы, которые могли бы модулировать и регистрировать фазу и частоту света так же просто, как обычные устройства могут изменять и ре-



ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ СВЕТОВОДОВ с 1976 г. возрастала в десять раз через каждые четыре года. На рисунке представлены пять поколений систем световодной связи. Незакрашенным кружком (на фиолетовой кривой) отмечены результаты эксперимента, в котором для имитации передачи на дальнее расстояние использовались замкнутый в кольцо световод и волоконные усилители.



ВОЛОКОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ работает при наличии источника возбуждающего излучения для накачки и одномодового световода, жила которого легирована эрбием. Волокно усиливает оптические сигналы за счет того, что атомы эрбия поглощают излучение накачки и передают ее энер-

гию сигналу. Поэтому интенсивность излучения накачки падает по длине световода. По мере прохождения сигнала по волокну его интенсивность возрастает, пока интенсивность излучения накачки не упадет ниже определенного порога.

гистрировать интенсивность излучения. Ученым, однако, удалось создать такие приборы, но в то время они были слишком сложными и дорогостоящими для практического применения.

Исследователи также стремились улучшить системы прямой регистрации. Они понимали, что если им удастся создать мощные усилители, они тем самым смогут компенсировать ограниченную чувствительность приемников прямой регистрации. При наличии мощных усилителей уровни сигналов могли бы оставаться достаточно высокими, чтобы преодолеть большие расстояния.

Многие ученые пытались создать оптический усилитель на одном кристалле. Однако экспериментальные образцы усилителей плохо работали даже в лабораторных условиях. Трудно было вообразить, что за несколько лет кристаллы оптических усилителей можно довести до этапа массового выпуска.

В конце 80-х годов казалось, что оптические усилители смогут улучшить параметры как систем прямой регистрации, так и когерентных систем. Однако было не ясно, какой тип оптического усилителя окажется наиболее приемлемым для практических применений. Поэтому ряд исследователей обратились к приборам различных «экзотических» конструкций.

Решающий прогресс в этой области был достигнут в результате разработки усилителя на волокне, легированном эрбием. Основными элементами этого усилителя являются диодные лазеры и отрезки волокна с примесью эрбия. Лазерные диоды активируют усилитель (подводят к нему энергию), накачивая его инфракрасным излучением с длиной волны 1,48 или 0,98 мкм. Оно поглощается атомами эрбия, которые при этом переходят в состояние с высокой внутренней энергией. Если через легированный эрбием световод пропустить слабый оптический сигнал, возбужденные атомы эрбия передадут избыток своей энергии сигналу в процессе, как его назвал Эйнштейн, индуцированного излучения. Таким образом легированное эрбием волокно регенерирует сигнал.

Световоды, легированные эрбием, нельзя считать «повторителями» сигнала, хотя они и действуют как регенераторы сигнала. Повторители преобразуют свет в электрический ток, усиливают ток и затем преобразуют его обратно в свет. Световоды с примесью эрбия не прерывают путь светового сигнала от передатчика к приемнику.

С разработкой легированного эрбием волокна появилось пятое поколение систем оптической связи. Их пропускная способность возросла от со-

тен до десятков тысяч гигабит-километров в секунду.

Идея добавки в оптическое волокно примеси эрбия и других редкоземельных элементов родилась в начале 60-х годов, когда Ч. Кестер и Э. Шницер из фирмы American Optical Company исследовали световоды, легированные редкоземельным элементом неодимом. Они обнаружили, что эти световоды способны усиливать свет и что их можно использовать в качестве активной среды лазера. Для измерения усиления они обернули отрезок световода длиной один метр вокруг накачивающей лампы-вспышки. Оказалось, что инфракрасное излучение с длиной волны 1,06 мкм может быть усилено в 50 000 раз или на 47 Дб. Коэффициент усиления обычно выражают в децибелах (Дб) — единицах, которые определяются как увеличенный в десять раз десятичный логарифм отношения выходной мощности к входной мощности. Через десятилетие Джулиан Стоун и Ч. Буррус-младший из фирмы Bell Laboratories первыми продемонстрировали, что легированные неодимом волокна можно накачивать не громоздкими лампами вспышками или лазерами с водяным охлаждением, а диодными лазерами.

Но в 70-е годы это многообещающее направление исследований было забыто. Неодимовые волоконные усилители не были нужны в то время,

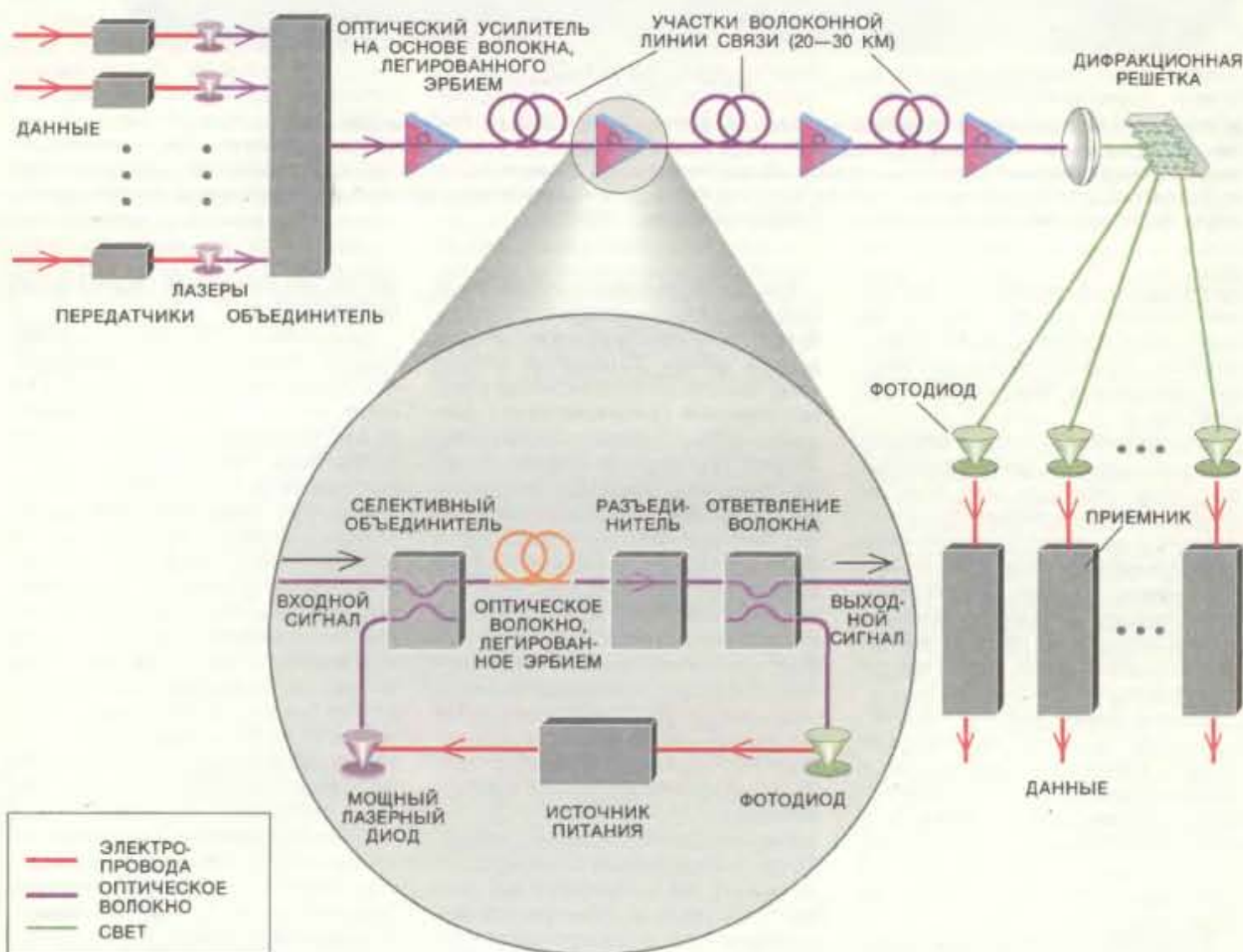
поскольку они работают в диапазоне длин волн 1,06 мкм, а ученые занимались в основном спектральным диапазоном вблизи 1,3 или 1,55 мкм, где кварц обладает наибольшей прозрачностью. Можно ли легировать волокно другими элементами и получить прибор, усиливающий свет в нужном спектральном диапазоне?

Эта проблема не изучалась до 1985—1986 гг., когда Д. Пайн и его сотрудники в Саутгемптонском университете вновь проявили интерес к волокнам с примесями редкоземельных элементов. В частности, они показали, что на основе легированного эрбием волокна можно создать новый тип усилителя для света с длиной волны 1,55 мкм. Через год они получили на этой длине волны усиление 25 Дб, накачивая легированное эрбием волокно

но красным светом с длиной волны 0,65 мкм и мощностью 60 мВт.

Большинство ученых, знакомых с работами в Саутгемптоне, считали эти физические исследования весьма интересными, но не имеющими какой-либо практической ценности. Такая точка зрения была вполне оправдана, поскольку получить интенсивное красное излучение на длине волны 0,65 мкм весьма сложно; для этого надо использовать громоздкие тяжелые лазеры. Однако эта точка зрения не учитывала тот факт, что эрбий можно накачивать и на других длинах волн. В частности, его можно возбуждать инфракрасным излучением, которое весьма эффективно генерирует такое широко распространенное устройство, как кристалл диодного лазера.

ЯОЧЕНЬ заинтересовался работой ученых из Саутгемптона, поскольку до этого в течении нескольких лет экспериментировал с волоконными усилителями, в которых сигнал усиливался благодаря так называемому комбинационному рассеянию. Когда в 1986 г. я поступил на работу в фирму AT&T, у меня было желание заняться проблемой совершенствования волоконных усилителей, с тем чтобы их можно было использовать в световодных системах связи. Как раз перед моим поступлением на фирму работавшие в этой лаборатории Дж. Мак-Чесни и Джей Симпсон запатентовали технологию изготовления оптических световодов, состоящих из многих компонент, в том числе и из редкоземельных элементов. Вместе с ними и с Ф. Бекером (тоже сотрудни-



СИСТЕМЫ ДАЛЬНОЙ СВЯЗИ в ближайшие годы будут в основном строиться на легированных эрбием волоконных световодах. В таких системах несколько оптических передатчиков вырабатывают сигналы, которые затем объединяются и направляются в один световод. Волоконные усилители размещены между отрезками обычного световода, они периодически увеличивают амплитуду сигнала. В приемном узле сигнал, выходящий из световода, фокусирует-

ся на дифракционной решетке, где он разделяется по спектральным каналам. Эти разделенные сигналы подаются на отдельные приемники. На вставке показано устройство волоконного усилителя. Фотодиод измеряет интенсивность выходного сигнала и вырабатывает сигнал обратной связи, который поддерживает постоянный коэффициент усиления.

ком Bell Labs) мы начали совместную работу по изучению легированных эрбием волокон.

Мы использовали аргоновый ионный лазер для накачки примеси эрбия в волокне зеленым светом с длиной волны 0,51 мкм. К середине 1987 г. мы получили достаточно большой коэффициент усиления, равный 22 Дб при мощности накачки 100 мВт зеленого света. Но эти результаты не вызвали никакого энтузиазма у специалистов по оптической связи, которые справедливо считали наше устройство бесполезным для практического применения.

Затем мой коллега Р. Жиль и я приняли весьма необычное решение. Следующим логическим шагом в наших исследованиях должна была быть попытка разработки более практичного

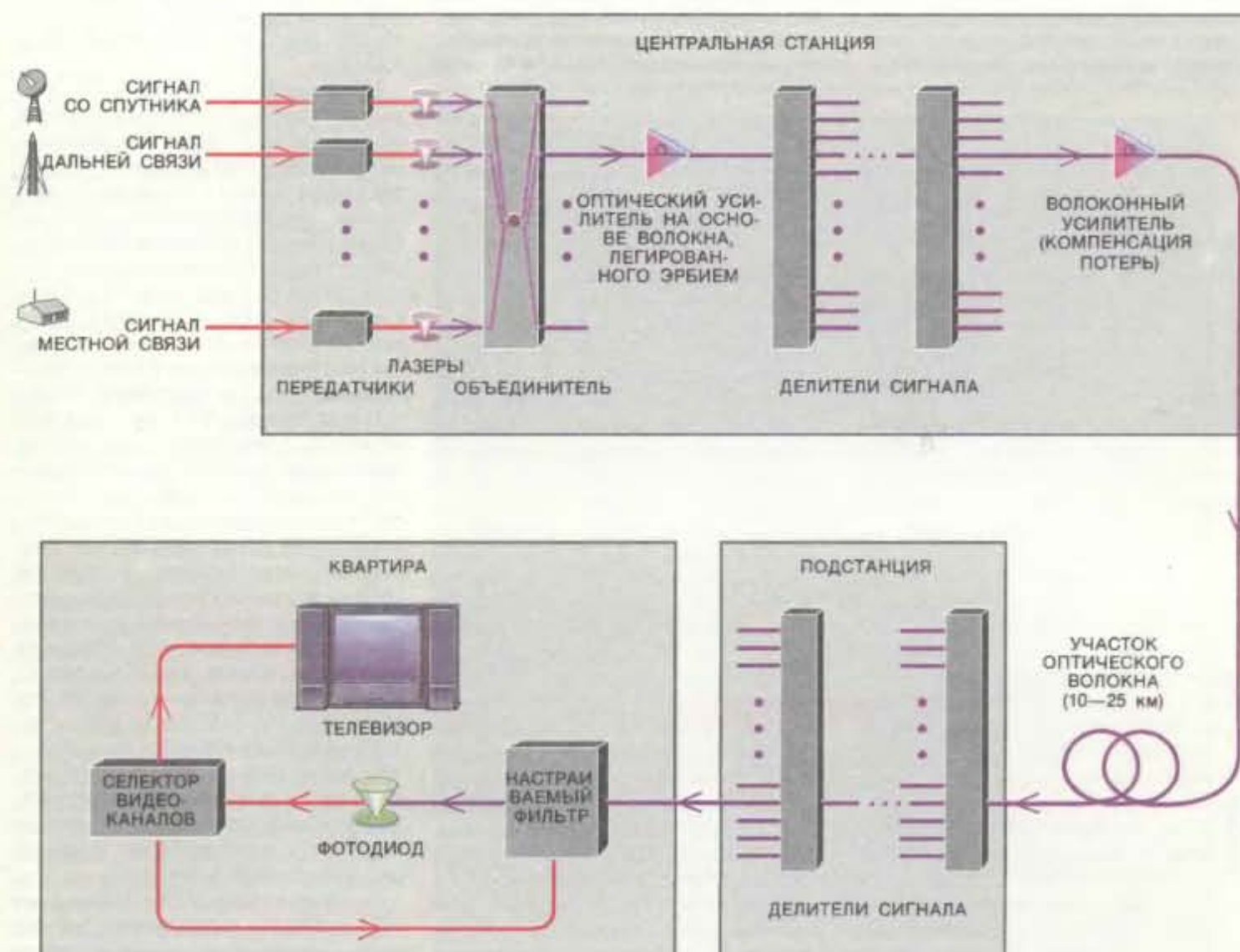
волоконного усилителя, но мы решили проверить, насколько хорошо наш усилитель способен передавать данные. Мы попытались измерить коэффициент ошибок (вероятность их появления) при передаче данных по обычному световоду, светящемуся зеленым светом. Несколько часов у нас ушло на подавление наводок и разных побочных эффектов, и в результате мы получили коэффициент ошибок величиной не более одной миллиардной при скорости передачи данных 2 Гбит/с. Такая низкая вероятность возникновения ошибок является стандартной для систем «безошибочной» связи.

Весьма важно, что измеренный нами коэффициент усиления не зависел от поляризации света, в то время как существующие полупроводниковые

усилители чувствительны к поляризации света. Этот результат был первым указанием на превосходство легированных эрбием волокон по сравнению с другими усилителями.

Воодушевленные результатами, мы провели эксперимент по одновременной передаче нескольких сигналов по световоду с примесью эрбия. Оказалось, что усилитель на эрбиевом волокне может одновременно усиливать несколько сигналов. Они не мешали друг другу; иными словами (используя принятый в связи термин) перекрестные помехи между этими сигналами были незначительны. Так, мы обнаружили второе преимущество усилителей на световодах, легированных эрбием.

В конце 80-х годов мои коллеги и я занялись конструированием практи-



ВЕЩАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ для телевидения высокой четкости и других служб связи является примером систем, в которых применение усилителей на основе легированных эрбием световодов обещает заметные выгоды. Согласно последним оценкам, такие системы могут передавать сигналы на расстояние до 25 км, а число пользователей таких систем может достигать 10 млн. Исходные сигналы поступают на ряд передатчиков и лазеров, которые преобразуют их в

свет. Световые сигналы объединяются в один общий и направляются в несколько обычных световодов. Усилители увеличивают интенсивность света, по мере того, как сигнал многократно делится по различным приемным ответвлениям и ослабляется после прохождения длинных отрезков обычного кабеля. В конце концов сигнал доставляется к пользователю, который может выбрать интересующую его часть сигнала.

ческого образца усилителя на волокне с примесью эрбия. Прежде всего нам требовалось доказать, что компактные лазерные диоды могут заменить громоздкие лазеры в качестве эффективных устройств накачки усилителей на основе волокна, легированного эрбием.

Наша работа затруднялась тем обстоятельством, что, хотя для накачки атомов эрбия можно использовать излучение с различными длинами волн, эффективная накачка возможна только на определенных длинах волн. Например, если атом эрбия накачивать излучением с длиной волны 0,67 или 0,80 мкм, то он поглощает фотон и переходит в нужное возбужденное состояние, но в этом состоянии он может поглотить еще один фотон и перейти во второе возбужденное состояние. Значит, в световодном усилителе часть атомов эрбия будет переходить в это второе состояние, в котором они не смогут отдать свою энергию оптическому сигналу. В ре-

зультате эффективность усилителя снижается.

К счастью, природа, оказалось, устроена так, что излучение с длиной волны 0,98 или 1,48 мкм может активировать эрбий без таких паразитных эффектов. Излучение на этих длинах волн можно получить от полупроводниковых лазеров, изготовленных из смеси индия, галлия, мышьяка и фосфора. Кварцевый световод можно сконструировать так, что свет с длиной волны 0,98, 1,48 или 1,55 мкм будет распространяться в нем в одномодовом режиме. Такой режим распространения света весьма желателен, поскольку позволяет передавать свет высокой интенсивности для эффективной накачки атомов эрбия.

Для проверки пригодности диодных лазеров наша группа и другие исследователи сначала использовали обычные полупроводниковые лазеры для тестирования работоспособности волокон с примесью эрбия при накачке их на длинах волн 0,98 или

1,48 мкм. Исследователи из Саутгемптона большинство своих первых экспериментов провели на длине волны 0,98 мкм, которую они выделили как самую эффективную длину волны для накачки. В это время наша группа сконцентрировалась на исследованиях на длине волны 1,48 мкм, где технология диодных лазеров достигла больших успехов. К этим исследованиям присоединились и другие организации, включая расположенную вблизи Токио фирму Nippon Telegraph and Telephone (NTT) Research Laboratories. На сегодняшний день лучшие результаты, полученные в AT&T для длины волны 1,48 мкм и в NTT для длины волны 0,98 мкм, составляют усиление в диапазоне от 30 до 40 Дб при мощности накачки не более 10 мВт. Такие уровни мощности накачки легко достижимы в лазерных диодах, поскольку в настоящее время они могут излучать свет мощностью до 200 мВт на длинах волн 0,98 и 1,48 мкм.

По-видимому, самым значительным достижением в рассматриваемой области следует считать продемонстрированную в 1989 г. фирмой NTT эффективную накачку волоконного усилителя лазерным диодом. Эта же фирма успешно проверила работоспособность макетной системы связи, составленной из усилителей на волокне с примесью эрбия и обычных световодных кабелей. Эта экспериментальная система передавала 2 Гбит информации в секунду на расстояние 212 км.

После того как NTT показала возможность существенного увеличения пропускной способности, исследовательские группы во всем мире начали состязание за достижение рекордных результатов с упорством, достойным Олимпийских игр. В середине 1989 г. фирмы NTT и Bell Communications Research сообщили о достижении скорости передачи 10 Гбит/с на расстоянии 150 км, что обеспечивает пропускную способность на уровне 1500 Гбит·км/с. К концу 1989 г. сотрудники KDD объявили еще об одном впечатляющем достижении. Используя 12 волоконных усилителей, они передавали данные со скоростью 1,2 Гбит/с на невероятно большое расстояние, равное 904 км.

Затем в начале 1990 г. ученые из NTT добились выдающегося результата. Они первыми создали когерентную систему оптической связи с применением волоконных усилителей. Эта система могла передавать данные со скоростью 2,5 Гбит/с на расстоянии 2223 км. Наступила эра систем дальней оптической связи на расстоянии в тысячи километров.

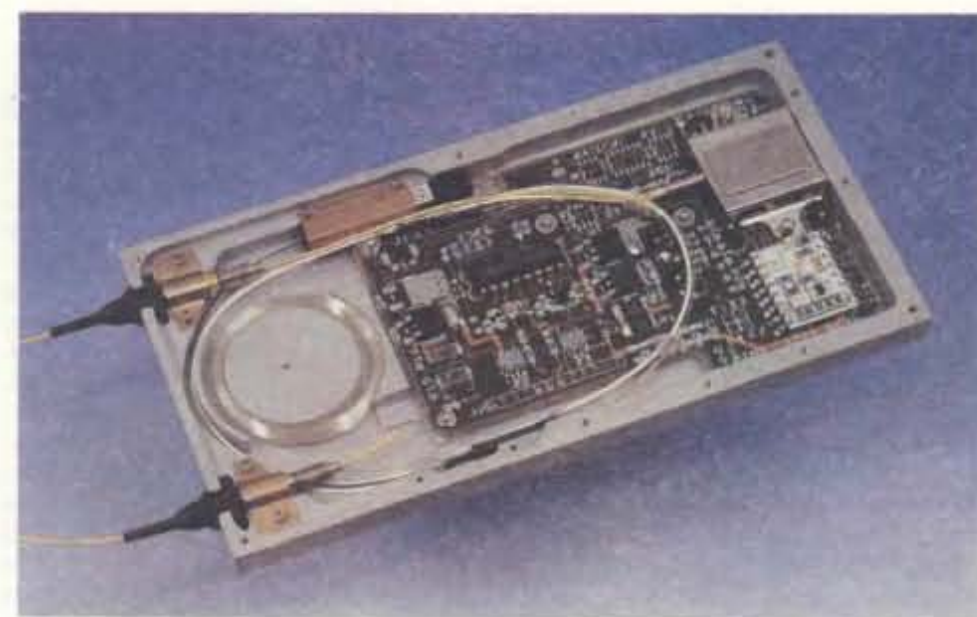
Но даже эти результаты не полностью демонстрируют потенциальные

возможности световодных усилителей на основе волокон с примесью эрбия. Используя экспериментальную систему, имитирующую очень длинную линию связи, Н. Бергано и его сотрудники в AT&T достигли пропускной способности в 50 000 Гбит·км/с. Эта пропускная способность в 100 раз превышает достигнутую к настоящему времени в системах световодной связи без усилителей и в 10 раз больше пропускной способности систем связи, проложенных через океан.

Ученые этой группы поместили несколько усилителей на основе легированного эрбием волокна между бухтами световодного кабеля с малыми потерями и соединили входной и выходной концы, получив тем самым замкнутую петлю. В нее вводились световые импульсы и исследовалась их передача. Удалось достичь скорости передачи 2,4 Гбит/с при дальности связи 21 000 км и 5 Гбит/с при дальности 9000 км. Выходные сигналы практически без искажений воспроизводили входные сигналы, к ним только добавлялся небольшой неизбежный шум, вносимый волоконными усилителями. Хотя эти результаты были получены в экспериментальном «световодном кольце», которое несколько отличается от классических установок для демонстрации связи между двумя пунктами, они показывают огромный потенциал систем световодной связи с волоконными усилителями.

ВТО ВРЕМЯ как некоторые исследователи в последние четыре года сконцентрировали свои усилия на достижении рекордных значений показателя пропускной способности, другие добились значительного прогресса в изучении солитонов и возможности их применения для систем связи.

Теоретически солитон может бесконечно долго распространяться по «идеальному» световоду, то есть по световоду, в котором свет не ослабляется. Солитон, как и обычный световой импульс, состоит из ряда спектральных компонент с несколько различными длинами волн. Интенсивность света в солитоне также изменяется по его длине, ширине и высоте. Световые поля с различными длинами волн распространяются по световодам с неодинаковыми скоростями. Это явление называется дисперсией. Из-за дисперсии обычные световые импульсы по мере распространения по волокну «растягиваются» и их длительность увеличивается. Если интенсивность света превышает некоторый предел, то световые поля одинаковой длины волны, но разной интенсивности также распространяются по волокну с разными скоростями.



ВОЛОКОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ будет усиливать телефонные сигналы в световодных кабелях, межконтинентальных линиях связи. Усилитель содержит бухту оптического волокна легированного эрбием (слева). Волокно накачивается светом, излучаемым микролазером, который размещен в специальном металлическом отсеке (справа сверху). Световые сигналы подводятся к усилителю и выводятся из него по желтым кабелям (слева). Показанный здесь опытный образец длиной 15 см был сконструирован Т. Клайном и его коллегами в AT&T Bell Laboratories.

Это явление связано с оптическим эффектом Керра. Принцип использования солитонов для связи заключается в том, что оптический эффект Керра может компенсировать дисперсию. Если каждая спектральная компонента сигнала имеет определенную интенсивность, то все компоненты будут иметь одинаковую скорость распространения. В результате солитон не будет уширяться или сжиматься при распространении по идеальному световоду (в котором нет потерь).

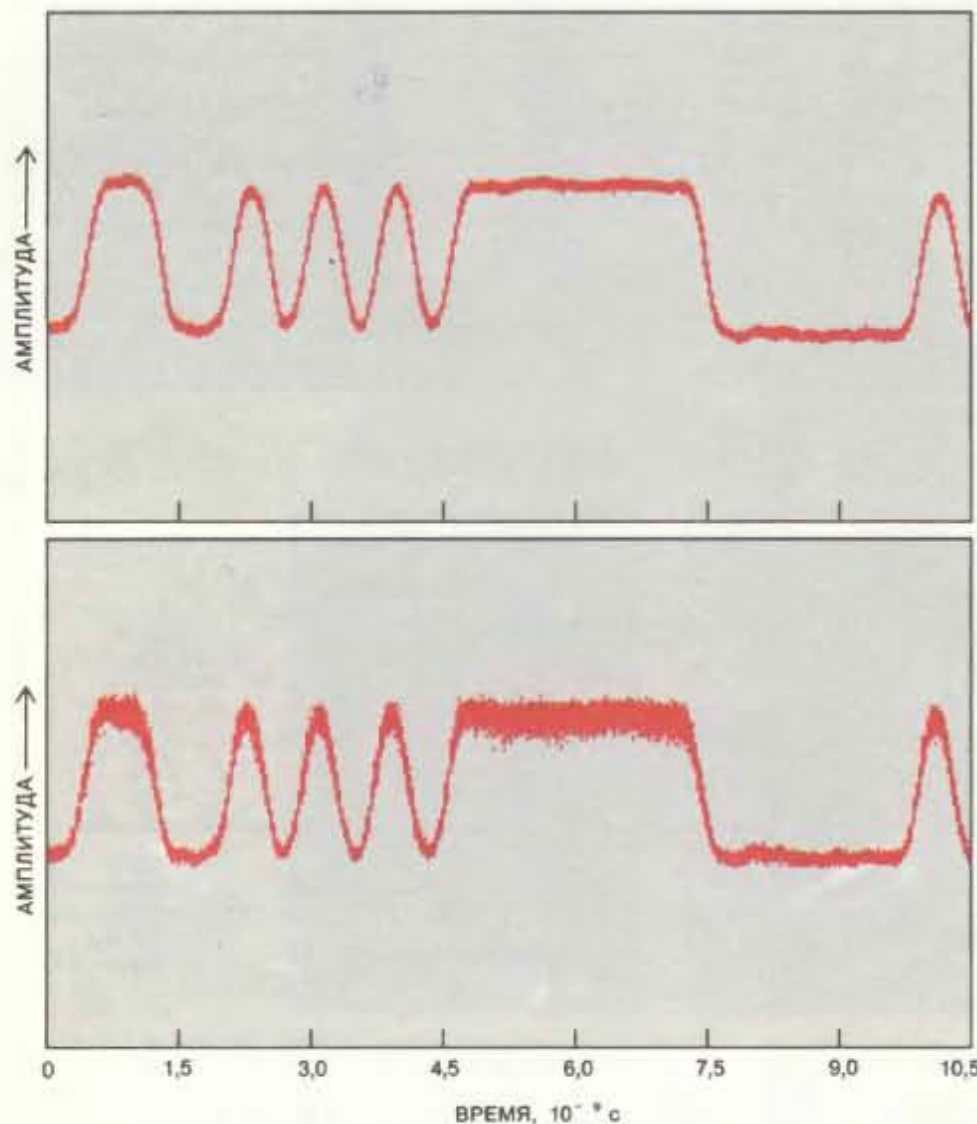
Конечно, во всех световодах сигнал неизбежно ослабляется, и солитон будет медленно затухать по мере его распространения. Но он все же будет сохранять свою форму неизменной, если интенсивность света превышает некоторый порог.

Л. Молленауэр, который первым начал исследовать возможность применения солитонов для оптической связи, предложил компенсировать ослабление света в световодах с помощью волоконных усилителей; это позволяет солитонам распространяться на дальние расстояния. В 1988 г. он экспериментально доказал плодотворность своей идеи. Молленауэр с коллегами из AT&T вводили солитоны в 40-км кольцо, составленное из световодов и волоконных усилителей, и убедились, что солитоны могут проходить расстояние до 10 000 км практически без уширения. Недавно они показали, что солитоны позволяют достичь скорости безошибочной передачи информации до 2,5 Гбит/с на расстоянии 14 000 км.

Этот результат убедительно доказывает важность использования солитонов в системах дальней связи.

Солитоны являются идеальными световыми импульсами для связи. Их можно расположить близко друг к другу, поскольку они не сливаются один с другим и поскольку они имеют небольшую длительность. Длительность солитона составляет примерно десять триллионных долей секунды (10 пс). Солитоновые системы, в которых отдельный бит информации кодируется наличием или отсутствием солитона, могут достичь пропускной способности не менее 5 Гбит/с на расстоянии в 10 000 км.

Солитоновые системы могут достичь еще более высоких показателей, если использовать в них последние достижения других передовых технологий. При передаче сигналов солитонами информацию можно одновременно передавать по нескольким каналам, если для каждого из них отвести свой спектральный диапазон. Такой метод, называемый мультиплексированием (делением каналов) по длинам волн, не приемлем для обычных сигналов, поскольку вследствие дисперсии обычные сигналы перемешиваются друг с другом на больших расстояниях и восстановить их уже невозможно. В солитоновых системах максимальное количество каналов ограничено, поскольку коэффициент усиления волоконных усилителей изменяется в зависимости от длины волны. Анализ показывает, что на практике солитоновая система может ра-



СИГНАЛЫ (вверху) проходят 9000 км по кольцу, образованному из обычного световодного кабеля и волоконных усилителей, и поступают на приемный узел (внизу) практически неискаженными и без шумов. Эти результаты, полученные Н. Бергано и его сотрудниками в AT&T Bell Laboratories, демонстрируют огромные потенциальные возможности волоконных усилителей.

ботать одновременно по меньшей мере на пяти каналах, и, таким образом, ее пропускная способность составит 25 Гбит/с.

Молленауэр с сотрудниками также изучили «мультиплексирование поляризации» в солитоновых системах. Такой подход позволяет удвоить количество каналов, передавая сигналы по обоим каналам на одной длине волны, но с двумя различными состояниями поляризации. Этот метод может повысить пропускную способность до 50 Гбит/с. Однако приборы для излучения, модулирования и регистрации солитоновых импульсов все еще разрабатываются в лабораториях. Только по этой причине солитоновые системы не найдут практического применения еще в течение некоторого времени.

Другой альтернативой для связи будущего являются когерентные системы. Когерентные методы позволяют использовать весь спектральный диапазон от 1,2 до 1,6 мкм и размещать каналы связи очень близко друг к другу (по спектру). Для того чтобы довести такие системы до практического применения, исследователи должны разработать «частотные» приборы, которые имели бы высокую частотную стабильность и позволяли бы точно управлять абсолютной частотой сигнала. Если в этой области будет достигнут прогресс, то ученым, возможно удастся найти способ, как исключить потребность в оптических усилителях в локальных сетях связи. Однако представляется несомненным, что оптические усилители будут необходимы для систем дальней связи. Кроме того, сейчас еще нельзя предсказать, когда частотные приборы можно будет использовать в практических системах.

ЛЕГИРОВАННЫЕ эрбием волоконные усилители уже сейчас оказывают огромное влияние на технику дальней связи. В ближайшее десятилетие волоконные усилители будут играть еще большую роль в области световодных сетей связи. В самом деле, такие сети предназначены для передачи огромных объемов данных за минимальное время наибольшему количеству пользователей с наименьшей вероятностью привнесения ошибки в передаваемые данные. Для такого типа сетей связи преимущество световодных кабелей над сверхвысокочастотными радиоканалами заключается в низких потерях и в возможности достичь более высокой скорости передачи данных на дальние расстояния.

Простейшим типом оптических сетей является так называемая вещательная сеть, в которой оптические

сигналы от центральной станции передаются множеству пользователей. Волоконный усилитель в таких системах может компенсировать потери мощности сигнала по мере многократного деления его по каналам различных пользователей. Другие волоконные усилители в ветвях сети могут компенсировать потери распространения на расстояниях от 10 до 25 км и благодаря этому увеличить радиус действия. С помощью таких сетей можно подвести оптические сигналы к огромному числу домов.

Фирма Compaq British Telecom недавно продемонстрировала телепередачу по 384 каналам примерно 40 млн потенциальных пользователей в зоне радиусом 25 км. Радиус зоны, обслуживаемой такими системами, можно увеличить за счет удлинения световодных кабелей и использования волоконных усилителей, компенсирующих потери в кабелях. Однако максимальное число пользователей таких систем все же ограничено, поскольку при прохождении сигнала через усилители он накапливает привносимый ими шум, и в конце концов сигнал становится слишком «шумным» для передачи данных.

Сети, в которых используются волоконные усилители, способны передавать данные с очень высокими скоростями, поскольку они могут одновременно обслуживать несколько каналов. Количество каналов не ограничивается дисперсией, так как на небольших расстояниях, характерных для локальных сетей, ею можно пренебречь. Однако количество каналов все же ограничивается следующими четырьмя факторами. Во-первых, если общая интенсивность света (суммарная по всем каналам) превысит некоторый уровень, то эрбиевый усилитель перестанет усиливать сигнал. Во-вторых, волоконный усилитель имеет ограниченный спектральный диапазон усиления (от 1,53 до 1,55 мкм).

Наука и общество

Экологичный автомобиль

ГЕРХАРД Рольфс никогда не делал легковых автомобилей. Никогда не изготавливал автомобилей ни один из 28 рабочих самого необычного из заводов фирмы Volkswagen (VW), расположенного в Леере, в северо-западной части Германии. Рольфс и его команда в течение последних двух лет раздирали на части, резали, крошили в порошок отработавшие свой срок и совсем новые «фольксвагены», доводя до слез агентов по продаже автомобилей.

В-третьих, длины волн сигналов, распространяемых по двум соседним оптическим каналам, должны заметно отличаться друг от друга, чтобы эти каналы не мешали друг другу и чтобы их сигналы не смешивались. И наконец, коэффициент усиления усилителя зависит от длины волны. Число доступных каналов также может быть уменьшено из-за ограниченной способности приемных устройств отделять оптические каналы друг от друга.

Несмотря на эти ограничения, световодные локальные сети связи, в которых используются волоконные усилители, могут по некоторым оценкам достичь скорости передачи от 2000 до 3000 Гбит/с. В настоящее время никакая другая технология не способна конкурировать с такими скоростями.

По мере того как усилители на основе легированного эрбием световода и другие световодные технологии в течение нынешнего десятилетия будут внедряться в системы дальней связи и в локальные сети связи, их пользователям будет предоставляться новый вид удобного сервиса. Системы световодной связи смогут объединить в себе функции телефонов, факсимильных аппаратов, компьютеров и телевидения. Кроме того, они также предоставят много новых услуг. Бизнесмены будут иметь доступ к огромным базам данных и смогут участвовать в диалоговых телеконференциях типа «телемост». Ученые смогут полностью воспользоваться ресурсами уникальных суперкомпьютеров, удаленных от них на тысячи километров. У людей появится возможность, не выходя из дома, выбирать по своему вкусу телепрограммы из видеобиблиотек. Вполне возможно, что так же, как телефон и телевизор изменили характер работы и отдыха людей в нашем веке, так и системы световодной связи окажут огромное влияние на общество в XXI в.

Завод в Леере, или «лаборатория», как его любят называть Рольфс, находится «на переднем крае» в вопросе взаимоотношений с окружающей средой. С этим вопросом вскоре столкнется вся мировая автомобильная промышленность, и смысл его в следующем: как вторично использовать компоненты легковых автомобилей. В рамках Европы именно Германии принадлежит первенство в попытках проведения политики, поощряющей вторичное использование, и выявление фирм, которые будут способны нести технологические затраты.

Законодательные органы США пристально следят за стратегической политикой Германии в сфере вторичного использования. По словам Гэри Итона, возглавляющего Комитет по пластмассам Общества автотракторных инженеров, автомобилестроительные фирмы начинают изучать различные возможности того, как сделать свою продукцию в большей степени «вторично используемой». В сентябре прошлого года Общество автотракторных инженеров и Общество представителей промышленности пластмасс выпустили стандарт, дающий классификацию различных пластмасс, применяемых в легковых автомобилях.

Эти мероприятия пока еще на одном этапе отстают от состояния дел в Германии. Под давлением широкой общественности, обеспокоенной загрязнением окружающей среды, германское правительство, как ожидалось, должно было в конце 1991 г. обнародовать правила, вынуждающие производителей изымать из эксплуатации свои устаревшие легковые автомобили и брать на себя ответственность за их уничтожение или вторичное использование их компонентов.

Эти новые правила могли «превратиться» для немецких производителей автомобилей в гору дорогостоящего хлама. В 1991 г. немцы пустили на слом около 2 млн легковых автомобилей. Несмотря на то что около 75% этого материала уже используется — или в качестве металлолома, или в качестве восстановленных запчастей, — оставшаяся «смесь» из пластмасс, резины, стекла и других подобных материалов за год составит 40 тыс. тонн мусора. Поскольку в Германии действуют строгие правила относительно сжигания отходов и наблюдается острая нехватка мест для свалок, уничтожение этих материалов будет недопустимо дорогостоящим, считает Гэри Стейси, старший экономист фирмы Battelle в Женеве (Швейцария).

В результате немецкие производители легковых автомобилей «столкнулись» друг с другом на проводившейся в прошлом году во Франкфурте автомобильной выставке в борьбе за то, чтобы доказать свою особую приверженность «зеленому движению» и соответственно с этим скорректировать выходящее правительство законодательство. Группа фирм-производителей, возглавляемая VW, объявила о своих намерениях изымать из эксплуатации новые модели после того, как они выработают свой ресурс. Поскольку большая часть этих обязательств относится к самым последним моделям, руководство фирм надеется, что пройдет еще



ЧИСЛО ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, ежегодно идущих на слом в Германии, превышает 2 млн. Автомобилестроительные фирмы надеются вторично использовать их компоненты. Фото фирмы Volkswagen

около 10 лет, прежде чем им придется выполнить свои обещания. И лишь несколько фирм в настоящее время непосредственно занимаются работами по вторичному использованию материалов и деталей автомобилей.

Деятельность завода в Леере (являющегося совместным предприятием, основанным VW, торговой корпорацией East Friesland, бюро труда в Леере и местным складом металлолома) показывает, насколько трудоемкими и тщательными должны быть работы по вторичному использованию, если в результате должно быть существенно снижено то 25%-ное количество материалов легкового автомобиля, которое обычно идет на выброс. «Даже в наиболее простых марках автомобилей используется более 600 различных материалов, — замечает Рольфс. — Я не думаю, что возможно 100%-ное вторичное использование». Обычно он выясняет, сколько деталей он и его команда могут извлечь и вторично использовать, причем так, чтобы VW смогла покрыть свои расходы. «Поверьте, проект вот-вот начнет приносить прибыль», — добавляет он.

Поэтому сотрудники завода в Леере ищут наиболее быстрые способы демонтажа легковых автомобилей и отделения тех деталей, которые должны будут отправляться для повторной обработки и вторичного использования. Пока что им необходимо 2 человеко-часа, чтобы разобрать обычный легковой автомобиль марки «фольксваген».

Они начинают с того, что сливают все жидкости: моторное и трансмиссионное масло, тормозную и охлаждающую жидкости и т. д., оставляя их на хранение для последующего вторичного использования или переработки. Потом снимаются крупные узлы, такие, как двигатель, аккумуляторная батарея, коробка передач и шины. Эти узлы затем или восстанавливаются для последующего применения в качестве «подержанных запчастей», или продаются «на материалы». (Платина и родий, содержащиеся в каталитических преобразователях, могут принести фирме, занимающейся вторичным использованием материалов, прибыль с каждого автомобиля от 50 до 200 немецких марок.) Затем рабочие «отдирают» от автомобиля крупные пластмассовые детали, такие, как бамперы, топливные баки и профилированные уплотнители.

VW достигла своих наивысших успехов именно в переработке бамперов. После того как пластмассовые бамперы освобождаются от всевозможных декоративных металлических деталей и отделочных элементов, они перемалываются в гранулы, которые затем смешиваются со свежей смолой с целью получения новых бамперов. «Мы хотим делать из старых бамперов новые бамперы, а не цветочные горшки», — заявил Йорг Барреншеев, главный технолог по вторичному использованию и переработке на заводе VW в Вольфсбурге. (Продолжение см. на с. 78)

ЖИВУЩИЕ ВМЕСТЕ

Джон Ренни



Паразиты и их хозяева в своей бесконечной игре «кто кого» изобрели множество своеобразных стратегий, может быть, даже образование полов. Однако иногда их отношения принимают вид «сотрудничества»

На голове улитки вдруг вспыхивает неоновая реклама, сообщающая: «Здесь еда». Ее нежные рожки превращаются в пульсирующие, ярко окрашенные колбаски, очень напоминающие гусениц. Птицы реагируют незамедлительно — они легко могут обнаружить таких улиток с воздуха и быстро добыть пищу.

Бросающийся в глаза «головной убор» улиток представляется неуместным в адаптивном отношении, но не следует рассматривать его как случайную ошибку эволюции. Виновник этого — паразитический червь *Leucochloridium paradoxum* (или его близкие родственники), который вызывает такие странные изменения у моллюсков рода *Succinea*, живущих в Северной Америке и Европе. *Leucochloridium* первую стадию своей жизни должен провести, созревая внутри моллюска, а затем для завершения цикла своего развития попасть в пищеварительный тракт птицы. Инвазируя рожки улиток в огромном количестве и принимая яркую окраску, паразиты превращают свой «детский дом» в пищу для птиц, тем самым решая проблему своей дальнейшей транспортировки.

Не следует поэтому удивляться, что, когда прошлым летом Пол Льюис из Летбриджского университета принес на ежегодное заседание Американского общества паразитологов (АОП) коробку с инвазированными улитками, члены общества были потрясены. «Каждый, кто смотрел на них, был действительно взволнован», — вспоминает он.

Паразитические черви, грибы, бактерии, клещи и другие организмы сейчас привлекают внимание многих биологов, и не только на встречах паразитологов. Все большее число исследователей, заинтересовавшихся сложностью взаимоотношений между паразитами и их хозяевами, сходятся во мнении, что паразитизм является важной и недооцененной движущей силой эволюции. «Я убежден, что воздействие паразитов на своих хозяев определяет многое из того, что мы теперь наблюдаем в окружающем мире, — говорит эколог-эволюционист Дуглас Гилл из Мэрилендского университета в Колледж-Парке. — Это область постоянно изменяющихся взаимоотношений, которую мы практически игнорировали».

Гилл и другие исследователи упрекают биологов в том, что они слишком часто рассматривали паразитов как своего рода хищников, отличающихся тем, что они пожирают свою добычу изнутри. Хозяин для паразита может значить гораздо больше, чем просто пища: он может быть укрытием, «детским садом» или инкубатором, перевозочным средством для попадания в другой организм и даже союз-

ИНВАЗИРОВАННЫЕ УЛИТКИ рода *Succinea* становятся очень привлекательной добычей для птиц. Паразиты *Leucochloridium* в период созревания внутри моллюска (а) образуют ярко окрашенные мешки, которые размещаются в рожках. В результате рожки становятся похожими на съедобных гусениц (в). Такие превращения позволяют паразитам попасть в пищеварительный тракт птиц (с), что необходимо им для завершения жизненного цикла.



В БЕГЕ за Черной королевой в сказке Льюиса Кэрролла участники бегут так быстро, как могут, для того чтобы остаться на месте. Паразиты и хозяева, видимо, находятся в аналогичной ситуации.

ником в борьбе с общим врагом. Добыча большинства хищников разнообразна, тогда как многие паразиты полностью зависят от одного вида хозяина. Хозяева также иногда зависят от своих паразитов. Термиты, например, погибли бы без бактерий, живущих в их пищеварительном тракте и превращающих древесные волокна в сахар.

Проводя полевые исследования и строя математические модели, ученые стараются понять, каким обра-

зом паразиты и их хозяева коэволюционировали в такие тесные сообщества. Они надеются выяснить также, почему в определенных парах организмов постоянно повышается «напряженность» взаимоотношений, в то время как в других наблюдается движение в сторону по крайней мере «кооперации». Некоторые предварительные заключения, например о том, что половые различия возникли как путь преодоления паразитизма, спорны. Вместе с тем резуль-

таты исследований не оставляют сомнений, что возникновение феномена паразитизма глубоко изменило жизнь.

С новой оценкой паразитов как факторов эволюционного развития возникла и тенденция к чрезмерной их переоценке. «Исторически паразиты рассматривались в качестве примитивных, дегенеративных и неинтересных организмов, — разъясняет бывший президент АОП Герхард Шад из Пенсильванского университета. — Вместо того чтобы считать их высоко специализированными организмами, хорошо приспособившимися к своему образу добывания средств существования, на них смотрели как на что-то неестественное».

Даниел Брукс, паразитолог из Торонтского университета, согласен с Шадом. «Ленточный червь устроился значительно проще, чем человеческий организм, — говорит он, отмечая, что в принципе этот червь представляет собой кишку с половыми клетками. — Но это не эволюционное, а экологическое сравнение. Сравнение в эволюционном плане должно быть проведено между ленточным червем и червем *Planaria*, который также является плоским червем, но не паразитическим. Паразитические организмы обычно крупнее, чем их свободноживущие родственники, и часто они имеют более сложное строение».

Хотя паразитологи в общем удовлетворены тем, что биологи-эволю-

ционисты стали серьезнее относиться к паразитам, отношения между представителями этих двух дисциплин непросты. Паразитологи утверждают, что математические модели, используемые экологами-эволюционистами для описания взаимоотношений между хозяином и паразитом, полностью игнорируют наблюдаемые биологические реальности. «Эти люди не распознают паразита, даже если он их укусит», — рассерженно замечает один из исследователей, пожелавший остаться неизвестным. В свою очередь экологи-эволюционисты считают, что многие паразитологи имеют наивное представление о естественном отборе.

Много возражений вызывает давнее убеждение паразитологов в том, что в ходе совместного развития и взаимной адаптации антагонизм хозяев и паразитов должен уменьшаться. Рациональный смысл этих взаимоотношений, суммирует Брукс, заключается в том, что, «если ты паразит и ты убиваешь своего хозяина, ты тоже мертв». Следовательно, естественный отбор будет способствовать выживанию менее вирулентных (менее опасных для хозяина) паразитов и более резистентных (устойчивых к паразитам) хозяев. Паразит может постепенно стать комменсалом, т. е. безопасным для хозяина, как, например, *Escherichia coli*, обычно безвредная бактерия, живущая в кишечнике человека. После достаточного периода времени паразит и его хозяин могут даже стать мутуалами — организмами, которые способствуют взаимному процветанию, такими как грибы и фотосинтезирующие бактерии, которые вместе образуют лишайники.

Такой взгляд на коэволюцию несет в себе познавательный смысл, однако для многих эволюционистов-теоретиков он представляется дезориентирующим. «Фактически ничто в нем не согласуется с глубоким, более строгим эволюционистским мышлением», — говорит Гилл и объясняет почему. Он приводит гипотетический пример с паразитирующими у белохвостого оленя двумя видами ленточного червя, один из которых более вирулентен, чем другой. (В примере очень много упрощающих предположений, предупреждает он.) Здравый смысл подсказывает, что менее вирулентный червь должен иметь преимущества в конкуренции. Поскольку его хозяин живет дольше, этот червь должен производить больше яиц в течение жизни своего хозяина, чем тот, который убивает хозяина быстрее.

Однако вирулентность паразита часто отражает и его способность к успешному размножению. Если агрессивный ленточный червь может дать больше яиц за меньший период времени, чем менее вирулентный, он всегда будет иметь преимущества. Даже если хозяин-олень умирает сразу, агрессивное потомство будет более многочисленным в следующем поколении. Следовательно, до тех пор, пока не погиб последний олень, агрессивность паразитов должна возрастать. В конце концов, говорит Гилл, олени и паразиты взаимно уничтожат друг друга, но «ни у одного живого организма, включая человека, совершенно не видно признаков разумного планирования будущего».

Причиной, почему паразиты не убили все живущее на планете, является то, что динамика их взаимоотношений с хозяином значительно более изменчива. Популяционные генетики Рой Андерсон и Роберт Мэй из Оксфордского университета показали, что исход взаимоотношений хозяина и паразита в высокой степени случаен. Иногда вирулентность паразитов повышается, иногда снижается до среднего уровня, иногда их отношения становятся мутуалистическими. Но, как считают экологи-эволюционисты, в большинстве случаев предрасположенности к мутуализму не наблюдается.

Метафорой, характеризующей взгляды большинства биологов на паразитизм, является «гонка вооружений» в процессе коэволюции. Паразитам приходится непрерывно приспосабливаться, чтобы получать у хозяина больше ресурсов для производства потомства. Хозяева должны быть «бдительны», чтобы не допустить этого. Если обе стороны равны по силам, результатом будет своего рода биологическая «разрядка», при которой ни паразиты, ни хозяева не могут позволить себе расслабиться, но ни тому ни другому не угрожает уничтожение. В 1973 г. эколог Лейг ван Вален из Чикагского университета назвал это «бегом Черной королевы», имея в виду персонаж из книги Льюиса Кэрролла «Алиса в Зазеркалье». «Теперь ты видишь, — говорит королева, — бежать необходимо так быстро, как можешь, для того, чтобы остаться на месте».

Ставка на выигрыш

В этой гонке паразиты, казалось бы, должны все время выигрывать. Период воспроизводства у паразитов короче, чем у их хозяев, а это означает, что естественный отбор

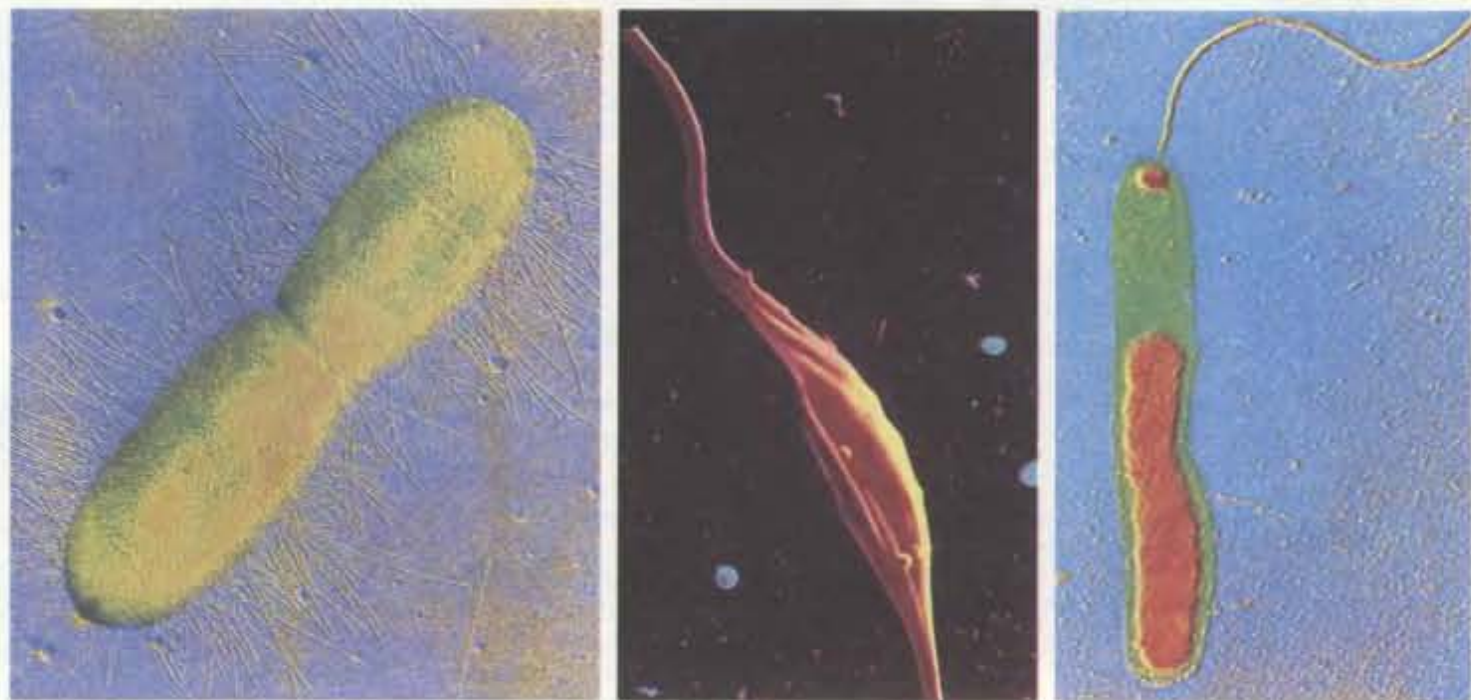
должен быстрее приводить к успешному приспособлению к хозяину. Однако долгоживущий хозяин часто обладает иммунной защитой. Например, популяции лимфоцитов и других клеток, составляющих иммунную систему млекопитающих, могут быстро отреагировать и распознать атаку новых паразитов. Иммунная система непрерывно видоизменяет клеточный и гуморальный «пейзаж», с которым паразиты встречаются в организме хозяина.

Паразиты, однако, способны на контратаки. Особенно искусная их стратегия была открыта Джорджем Кроссом в конце 70-х годов, в настоящее время работающим в Рокфеллеровском университете, и другими исследователями при изучении микроорганизмов, передаваемых насекомыми, — трипаносом — которые вызывают сонную болезнь (африканский трипаносомоз). Жертвы сонной болезни не могут изгнать трипаносом из своего организма, потому что паразиты с каждым поколением изменяют свои иммуногенные свойства и выработанный иммунитетный ответ хозяина на них не действует.

Кросс показал, что трипаносомы имеют «библиотеку» в тысячу генов для различных поверхностных белков, из которых какой-то один экспрессируется на поверхности тела паразита. Кросс также обнаружил, что, если клетка паразита повреждается, он «сбрасывает» этот поверхностный белок, что затрудняет определение «точки атаки» для иммунной системы хозяина.

Паразиты способны также эксплуатировать своих хозяев, не нанося прямого вреда их здоровью. Элен Александер из Канзасского университета обнаружила, что паразитический гриб *Ustilago violacea* изменяет в свою пользу стратегию размножения растения-сорняка мухоловки. Если сорняк мужского пола, гриб стерилизует его, превращая производящие пыльцу тычинки в органы, которые распространяют споры гриба. Если растение женского пола, грибы каким-то образом заставляют его производить бесплодные мужские цветы, а затем повторяют замену пыльцы на споры. Насекомые, привлекаемые зараженными цветами мухоловки, переносят их на другие мухоловки.

Некоторые паразиты способны даже манипулировать поведением своих хозяев в собственных интересах, используя их как средство перехода к следующему хозяину. Вильгельм Хоорст с сотрудниками, работая в фирме Hoechst A. G. во



ПАРАЗИТЫ ЧЕЛОВЕКА различаются по своей опасности для него. Бактерия *Escherichia coli* (слева), которая живет в кишечнике человека, обычно не опасна. Трипаносомы (в центре), относящиеся к простейшим, передаваемым

человеку укусами насекомых, вызывают сонную болезнь и болезнь Шагаса. Микроорганизм, вызывающий холеру (справа), приводит к обезвоживанию организма и иногда высоко вирулентен.

Франкфурте, обнаружил, что муравьи, зараженные двуусткой *Dicrocoelium dendriticum*, «приковывают» себя к стеблям травы собственными челюстями. Затем их вместе с травой поедают пасущиеся овцы — следующие хозяева в жизненном цикле двуустки. Исследования Джанис Мур из Университета шт. Колорадо показали, что мокрицы, зараженные червями акантоцефалами (колючеголовыми), ведут себя так, что они становятся доступной добычей для певчих птиц.

Встречаясь с такой маккиавеллиевой тактикой паразитов, хозяева в козволюционной гонке вооружений должны были бы изобрести свое секретное оружие. Некоторые биологи-эволюционисты подозревают, что таким оружием может быть феномен, который долгое время оставался им непонятным — существование полов.

С эволюционной точки зрения возникновение полов неудачно. «Бесполое размножение — значительно более эффективный процесс, — разъясняет Уильям Хамилтон из Оксфордского университета, один из ведущих теоретиков в области значения полов в эволюции. — Не нужно соединять самца и самку. Организм просто должен развиваться и размножаться».

Еще более существенный довод, отмечает Хамилтон, — двойная стоимость полового размножения. Этот довод основан на наблюдении, что мужские особи обычно не вкладывают в создание и выращивание



ЯРКОЕ ОПЕРЕНИЕ самца дикой красной курицы, предка домашних кур, возможно, служит признаком резистентности к паразитам для самок, ищущих партнера.

Менее опасные паразиты погибают последними...

Относительно безопасные паразиты часто не имеют преимуществ в конкурентной борьбе. Такие паразиты в хозяине-тритоне размножаются медленнее, чем вирулентные, и поэтому имеют меньше возможностей перейти к промежуточному хозяину — пиявке.



потомства столько, сколько вкладывают женские. «С этой точки зрения при половом размножении отбрасывается половина репродуктивных усилий, что не должно содействовать росту линии потомков, — рассуждает он. — Это должно было бы способствовать чрезвычайно сильному давлению отбора для избавления от половых различий. Загадка в том, почему этого не происходит».

В течение более десяти лет Хамилтон настаивает, что половые различия существуют потому, что они дают хозяевам уникальные преимущества в борьбе против паразитов. Согласно его утверждению, рекомбинация больших блоков генетической информации в результате полового размножения позволяет изменять признаки в потомстве быстрее и эффективнее, чем это происходит при мутациях. Поэтому потомки, появившиеся в результате полового размножения, могут быть более резистентными к паразитам, которые процветают у их родителей, в то время как особи, идентичные своим бесполом предкам, не получают такой защиты. (Вследствие краткости периода воспроизводства и исключительно быстрого хода эволюционных изменений паразиты, по-видимому, меньше нуждаются в наличии полов; большинство паразитов бесполое в течение всей или части своей жизни.)

Пол как стратегия

Хамилтон считает также, что пол позволяет популяции хозяина сохра-

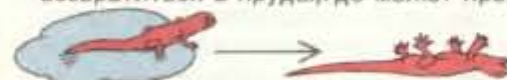
нять признаки устойчивости, временно утратившие эффективность, но могущие оказаться полезными в дальнейшем. С его точки зрения, популяция паразитов обычно приспособлена к наиболее распространенному типу хозяина. Как только эти хозяева становятся жертвами, численность менее распространенных типов хозяев увеличивается, а затем уменьшается аналогичным путем. «Этот вид соревнования между хозяином и паразитом несколько отличается от гонки вооружений в ее обычном понимании, — утверждает он, — поскольку в этом случае нет необходимости непрерывного роста резистентности хозяина к паразиту. Частота генотипа хозяина, наиболее распространенного 100 лет назад, может снова возрастать». Иначе говоря, Черная королева иногда бежит кругами.

Идея, объясняющая феномен пола как следствие паразитизма, разделяется не всеми. Были предложены и другие объяснения; среди них следует отметить исключение из популяции при половом размножении наиболее опасных мутаций. Тем не менее Хамилтон считает, что он устранил большинство возражений по поводу его идеи в статье, которая появилась в 1990 г. в журнале «Proceedings of the National Academy of Sciences». «Думаю, что кроме моей нет реалистичных моделей двойной стоимости полового размножения», — отметил он.

Некоторые полевые паразитологические исследования также подкрепляют эту идею. В 1990 г. Роберт

... но тем не менее иногда они выигрывают

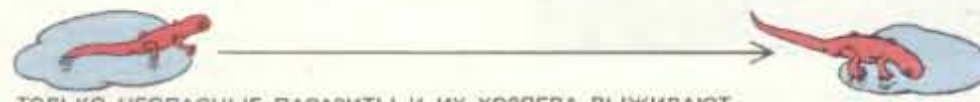
Шестилетний период, который молодые тритоны проводят вне прудов, создает давление естественного отбора против вирулентных паразитов. Только хозяева, несущие не вирулентных паразитов, живут достаточно долго, чтобы возвратиться в пруды, где может произойти заражение других хозяев.



ВЫСОКОВИРУЛЕНТНЫЕ ПАРАЗИТЫ БЫСТРЕЕ УБИВАЮТ СВОИХ ХОЗЯЕВ



МЕНЕЕ ВИРУЛЕНТНЫЕ ПАРАЗИТЫ МЕДЛЕННЕЕ УБИВАЮТ СВОИХ ХОЗЯЕВ



ТОЛЬКО НЕОПАСНЫЕ ПАРАЗИТЫ И ИХ ХОЗЯЕВА ВЫЖИВАЮТ И ВОЗВРАЩАЮТСЯ В ПРУДЫ

Врейенхук и Карл Краддок из Университета Ратгерса, а также Куртис Ливели из Индианского университета опубликовали результаты изучения имеющих и не имеющих пол рыб голопузок, по-видимому подтверждающие противопаразитарные преимущества пола. Они обнаружили, что бесполое рыб были инвазированы трематодами чаще, чем разнополые, исключая случаи, когда генетические различия имеющих пол рыб были чрезвычайно малы вследствие инбридинга. В потомстве, полученном при инбридинге, преимущества пола в резистентности к паразитам исчезали, поскольку даже те рыбы, которые обладали половыми признаками, были слишком одинаковыми. Но когда в инбридную популяцию входили рыбы с более выраженными половыми признаками, уровень пораженности трематодами быстро снижался.

Ливели также наблюдал аналогичную зависимость между полом и паразитизмом у некоторых новозеландских моллюсков. Женские особи со слабо выраженными половыми признаками оказались наиболее пораженными в мало интенсивном очаге трематодозов (инвазия плоскими червями); в интенсивных очагах и женские, и мужские особи оказались зараженными в равной степени.

В 1982 г. Хамилтон и его студентка Марлен Зак, в настоящее время работающая в Калифорнийском университете в Ирвине, развили дальше теорию, связывающую появление полов с паразитизмом, выдвинув положение о том, что «бег Черной

королевы» может воздействовать на выбор самкой своего партнера. У многих видов (павлины являются наиболее известным примером) самки выбирают себе партнера во время «соревнования в красоте», при котором важно выступающие самцы демонстрируют свое ярко окрашенное оперение и другие вторичные половые признаки. Многие исследователи предполагали, что эта демонстрация должна отражать определенные ценные качества, которыми обладает самец. Хамилтон и Зак считают, что одним из таких ка-

честв может быть резистентность к паразитам.

Их первая проверка этой идеи включала изучение некоторых североамериканских птиц с целью ответа на вопрос, являются ли виды, самцы которых окрашены ярче, более инвазированными, чем виды с неприметными признаками. Результаты свидетельствовали о правильности гипотезы, хотя другие исследования, проведенные на птицах, не подтвердили ее.

Зак обнаружила более убедительное подтверждение этой идеи, изучая связь между паразитизмом и выраженностью мужских признаков внутри одного вида птиц. Работая в Университете Нью-Мексико, она вместе с сотрудниками изучала дикую красную курицу, обитающую в Юго-Восточной Азии, которая является предком домашних кур. «Они очень похожи на ярко раскрашенных домашних кур», — заметила Зак. Исследователи обнаружили, что размеры тела и клюва у инвазированных диких красных кур нормальные, но оперение оказалось меньших размеров и менее яркого цвета.

«Нельзя сказать, что, если особь больна, ей трудно найти партнера, — подчеркивает она. — Скорее наличие паразитов отражается как раз на тех признаках, которыми самки руководствуются, выбирая партнера». Другие исследователи обнаружили дополнительные примеры, которые, по-видимому, можно считать подтверждением связи между паразитизмом, полом и брачным поведением птиц. Тем не менее критики



УИЛЬЯМ ХАМИЛТОН из Оксфордского университета предположил, что половые различия возникли как стратегическое средство в козволюционной «гонке вооружений» между хозяевами и паразитами.



ДУГЛАС ГИЛЛ из Мэрилендского университета в Колледж-Парке открыл причины безвредности паразитов у тритонов в результате изучения жизненного цикла развития этих организмов.

этой идеи приводят собственные данные противоположного характера, которые свидетельствуют в пользу альтернативных теорий.

Имея паразитов — путешествуй!

Эволюционная «гонка вооружений», даже если не соглашаться со значением феномена пола, представляет собой удачный образ для объяснения ситуаций, при которых паразиты и их хозяева усиливают борьбу между собой, например, когда болезни становятся более тяжелыми. Менее очевидно, однако, как эта метафора может объяснить тенденцию некоторых паразитов терять со временем агрессивность. Одним из исследователей, которые считают, что они нашли часть ответа на этот вопрос, является Дуглас Гилл.

Гилл, возможно, единственный в мире человек, который знает 9 тысяч тритонов «в лицо». Начиная с 1974 г. он вместе со своими студентами в течение 10 лет дважды в неделю вставал до рассвета и ехал из своей расположенной в шт. Мэриленд лаборатории в горы Шенандоа в Западной Виргинии, где обитала популяция краснопятнистых тритонов. Исследователи вылавливали новых тритонов, выпускали старых, проводили различные измерения и к ночи возвращались домой. Поскольку у тритонов рисунок пятен на спине индивидуален, Гилл в течение длительного эксперимента мог проследить историю жизни каждой особи.

В 1981 г. он и Беверли Мок, в то время его студентка, сосредоточили

свое внимание на воздействии трипаносом на жизнеспособность тритонов. «К нашему удивлению мы не обнаружили никакого влияния, — вспоминает Гилл. — Некоторые тритоны были способны переносить зараженность в миллион трипаносом на 1 мл крови; паразитов было почти столько же, сколько эритроцитов. Вы, должно быть, подумали, что все это резко ослабит организм хозяина? Но наши длительные измерения не показали ни каких-либо симптомов болезни, ни ранней смертности, ни признаков снижения репродуктивности».

Озадаченный безвредностью трипаносом, Гилл стал искать этому объяснение. В конце концов он пришел к заключению, что суть ответа заключается в жизненном цикле трипаносом и тритонов. Трипаносомы передавались от одного тритона к другому с укусами водяных пиявок. Следовательно, передача могла происходить только в прудах. Однако тритоны живут не только в воде. «В конце лета юные тритоны выходят из прудов, где плавают зрелые особи, уплывают в леса, где в течение шести лет растут и развиваются», — отмечает Гилл.

По его выводам, этот промежуток времени вводит воздействие естественного отбора на вирулентных трипаносом. Тритоны, зараженные даже умеренно вирулентными трипаносомами, по-видимому, погибают, не достигнув зрелости. Остальные возвращаются в пруды, где происходит передача инфекции. В результате размножаются только маловирулентные трипаносомы, поддержива-

ющие популяцию паразита.

Работая с математическими моделями, эколог-эволюционист Пол Юалд из Амхерст-Колледжа независимо от Гилла пришел к такому же широкому пониманию решающей роли способа передачи паразитов хозяину в их эволюции. Страдая от приступов кишечных расстройств 13 лет назад, он стал размышлять, не является ли такая ситуация, как диарея, для вызывающего ее паразита способом передачи другим хозяевам. «Я начал думать о том, какой путь передачи будет наиболее выгодным для вирулентных штаммов и какой — для маловирулентных», — вспоминает он. (Имеются в виду не штаммы, а виды. — Перев.)

Общая концепция Юалда заключалась в том, что, если паразит может передаваться от ослабленного хозяина к другому восприимчивому без промежуточного переносчика (например, через укус мухи или москита), паразит может интенсивно размножаться даже ценой убийства своего хозяина. Напротив, если перенос паразита от хозяина другому восприимчивому организму зависит от хозяина, естественный отбор будет поддерживать те виды паразита, которые позволяют хозяину существовать.

Согласно Юалду, этот принцип имеет значение для степени вирулентности у большинства возбудителей болезней человека. «Около половины возбудителей, передаваемых переносчиками, вызывают болезни, смертность от которых без лечения может составлять 1%, — говорит он. — Только около 10% болезней, не передаваемых переносчиками, достигают этого уровня».

Большинство биологов-эволюционистов, изучающих феномен паразитизма, охотно принимают идею Юалда относительно того, что способ передачи возбудителя определяет, будет ли его вирулентность постепенно возрастать или снижаться. «Я думаю, эти работы прекрасны и очень убедительны», — говорит Хамилтон. Однако ряд исследователей оставляет за собой право сомневаться. «Моя собственная точка зрения — такие широкие обобщения возможны, но они мало помогают в конкретных случаях, — предостерегает Роберт Мэй. Несомненно, направление, при котором эволюция примет симбиотическое развитие, зависит от особенностей истории развития жизни и определяется ими».

Прислушиваясь к предсказаниям математических моделей (о степени вирулентности паразитов, причинах

появления полов, значении иммунитета хозяина), можно легко поверить, что их разработчики полностью «ухватили» всю сущность взаимоотношений хозяина и паразита. Однако многие паразитологи считают, что «дорога еще длинна».

Наиболее откровенным критиком экологов-эволюционистов и их моделей естественного отбора является Линн Маргулис из Массачусетского университета в Амхерсте. «Они используют математические методы, не разбираясь в биологии, — настаивает Маргулис. — Они так далеко отошли от генетики, биохимии и физиологии организмов, что у их моделей практически нет основы». Она отмечает, что разработчики моделей обычно смешивают в одну кучу вирусы и паразитов, обладающих способностью (в отличие от вирусов) к самостоятельному метаболизму и воспроизводству. Как указывает Маргулис, вирулентность не является неотъемлемым свойством паразитов: изменение влажности, солнечного освещения в окружающей среде иногда делает паразитов более, иногда менее опасными.

Маргулис стала известной в течение последних десяти лет как «глашатай» гипотезы Гея, согласно которой жизнь на Земле, представляющая собой сеть взаимозависимых связей, заставляет планету действовать как саморегулирующуюся (она предпочитает термин «самопроизводящую») жизненную систему. В 60-х годах Маргулис предположила, что эукариотические клетки произошли в результате симбиотического союза простых прокариотических клеток, таких, как бактерии.

Она выдвинула предположение, что митохондрии (клеточные органеллы, которые производят энергию из кислорода и углеводов) произошли от аэробных бактерий; хлоропласты растений когда-то были фотосинтезирующими бактериями. В начале большинство биологов-эволюционистов отвергло ее идеи относительно эндосимбиотической природы эукариот, считая их, как говорит Маргулис, «смехотворными». Однако впоследствии многие ее положения получили подтверждение.

Тем не менее Маргулис отдает себе отчет в том, что принятие ее идеи — половинчатое. «Я думаю, что ее принимают, а затем упрощают, — говорит она. — Серьезные генетические последствия симбиоза вообще не рассматриваются. Исследователи продолжают строить те же самые популяционные модели и рисовать древа эволюции, которые являются только ветвями. Ветви до-



ПОЛ ЮАЛД из Амхерст-Колледжа считает, что способ передачи паразита новому хозяину существенно влияет на то, будет ли эволюция паразита идти в сторону вирулентности.

жны соединяться, для того чтобы представлять новые симбиотические союзы».

По мнению Маргулис, концентрация внимания на простом соревновании и кооперации во многих моделях естественного отбора оставляет в стороне более сложные симбиотические взаимоотношения. «Что в этих случаях означает соревнование? — спрашивает она. — Это термин, который абсолютно не подходит для эволюционного анализа».

Молчаливые партнеры

«Я полагаю, что сравнение значимости симбиоза со значимостью естественного отбора — это сравнение яблок с апельсинами, — возражает Хамилтон. — Проблема в том, чтобы попытаться понять, как происходит естественный отбор при наличии симбиотических отношений. В этом случае я бы согласился с тем, что симбиоз является одним из наиболее созидательных факторов эволюции».

В настоящее время Хамилтон изучает идею о том, что присутствие паразитов в организме хозяев может способствовать существенным макроэволюционным изменениям в нем. Он поясняет, что различия в резистентности к паразитам могут эффективно разделить популяцию хозяина на меньшие группы, отличающиеся по способности к размножению, так же, как это делают географические барьеры. Покойный биолог-эволюционист Сивол Райт в 1931 г. выдвинул предположение, что такие разделенные популяции

способны занимать новые экологические ниши более эффективно, чем однородные популяции.

Создатели моделей должны столкнуться с критикой другого рода, основанной на результатах полевых исследований паразитологов. «Ученые, занимающиеся моделированием паразитов в свете эволюционной экологии, не являются паразитологами и не сотрудничают с ними, — поясняет Брукс. — В результате они сделали целый ряд элементарных ошибок, которых не сделали бы паразитологи».

Он указывает, что представление разработчиков моделей о том, что паразиты всегда наносят вред своим хозяевам, несостоятельно: «В действительности число организмов, которых мы называем паразитами и у которых было продемонстрировано отрицательное воздействие на организм хозяина, существенно убывает». Некоторые паразиты действительно представляют серьезную проблему здравоохранения, признает Брукс, но их меньшинство; большинство паразитов — относительно «новички» для видов, которых они убивают. «Возьмите паразитов человека, наиболее близких аналогичным видам у больших обезьян, таких, как острицы, — говорит он. — Острицы распространены во всем мире. Они вызывают неприятный зуд и представляют реальную гигиеническую проблему, но не вызывают общей патологии».

Другим примером является *Leucochloridium*, паразит улиток, который нарушает благополучие хозяина значительно меньше, чем это

можно было бы ожидать. По данным Льюиса, паразиты могут занимать более половины всего пространства в раковине, не говоря уж о том, что они полностью разрушают рожки улиток. Однако зараженные улитки продолжают питаться, ползать и производить потомство без видимых осложнений. (Вместе с тем фактически неизвестен истинный уровень размножения или жизнеспособности этих улиток.)

«Есть два пути объяснения подобных ситуаций, — пишет Брукс. — Один заключается в том, что в прошлом оба организма достаточно долго сражались и теперь между ними установилось непростое переми-

рие или же они продолжают сражаться. Альтернативным является вариант, предполагающий меньше насилия: что-то, свидетельствующее о том, что противоборство само по себе ошибочно».

Независимо от того, какое объяснение они принимают, многие паразитологи и биологи-эволюционисты в настоящее время считают, что такие термины, как «паразитизм», «мутуализм» или «комменсализм», слишком субъективны и упрощены для выяснения взаимоотношений в тех ситуациях, которые квалифицируются этими терминами. По существу только термин «симбиоз» наиболее близок к реальности. Сте-

пень вреда или пользы, которые организмы приносят друг другу, часто зависит от того, что именно собирается определять экспериментатор. «Я бы сказал, что все эти термины можно было бы выбросить на помойку, и мы бы ничего не потеряли», — считает Брукс.

«Возможно, эволюция — это не только борьба организмов, вооруженных зубами и когтями, за существование, — рассуждает он. — Изучение коэволюции хозяев и паразитов поможет нам в понимании совместной эволюции всех организмов и скорее объяснит, как они уживаются, а не противостоят друг другу».

Малярия: пример изучения коэволюции

Более 100 млн человек в мире ежегодно заражаются малярией, около 1,5 млн из них умирают. Казалось бы, коэволюционная «гонка вооружений» между человеком-хозяином и паразитом должна оказать влияние на эволюцию обоих. В последние годы ученые обнаружили генетические доказательства того, что это в действительности и происходит.

В феврале 1991 г. на заседании Британского общества паразитологов Адриан Хилл из Института молекулярной медицины Оксфордского университета и международная группа исследователей объявили, что они обнаружили два гена, которые защищают человека от малярии. Оба гена кодируют белки главного комплекса гистосовместимости (ГКГС) — молекулы, которые иммунная система использует для распознавания инфекционных возбудителей и поврежденных клеток. После обследования более 2 тыс. больных малярией в Западной Африке группа Хилла обнаружила, что носители какого-либо одного из этих двух генов ГКГС

реже заболевают тяжелой формой малярии.

Эти два гена, по-видимому, наиболее распространены среди населения, постоянно подвергающегося заражению малярией. По данным исследователей, один из генов имеют 40% жителей Нигерии, где малярия высоко эндемична, в то же время он обнаружен только у 2% черного населения Южной Африки и менее чем у 1% белых и азиатов. Это открытие представляет собой убедительное доказательство того, что широкое разнообразие генов ГКГС, обнаруживаемое у населения Земли (у людей находят сотни различных комбинаций этих генов), может быть эволюционным ответом на естественный отбор, обусловленный паразитарными болезнями.

Помимо этих двух генов известен только один ген, который способствует резистентности к малярии, — это ген серповидноклеточной анемии. Лица, которые наследуют две копии этого гена (от обоих родителей) погибают, поскольку их эритроциты имеют дефектный гемоглобин.

У носителей одной копии этого гена анемия обычно не развивается, поскольку они имеют также нормальный ген гемоглобина. Серповидноклеточная анемия очень редко встречается в большинстве этнических групп, но распространена в популяциях африканцев и лиц африканского происхождения. В Гамбии, например, около 1/4 населения являются носителями гена серповидноклеточной анемии.

Распространение серповидноклеточной анемии в Африке было загадкой до 50-х годов нашего столетия, когда исследователи заметили, что носители этого гена исключительно резистентны к малярии. Поскольку преимущество резистентности к малярии превысило уровень смертности от серповидноклеточной анемии, естественный отбор сохранил этот ген у населения Африки, вместо того чтобы устранить его.

Защитное действие вновь открытых генов ГКГС, по-видимому, вдвое меньше, чем гена серповидноклеточной анемии. (В настоящее время стало известно, что ген серповиднокле-

точной анемии защищает от тропической малярии не непосредственно, а во взаимодействии с другими генетическими признаками. — Перев.) Но, поскольку гены ГКГС обнаружены у большей части населения, они могут защитить большее число людей. Хилл и его коллеги подсчитали, что, в то время как ген серповидноклеточной анемии может предупредить тяжелое течение малярии примерно у 12% больных, гены ГКГС предупреждают его у 15%.

Изучение малярийных паразитов также выявило причины того, почему *Plasmodium falciparum*, с которым связывают 95% смертей от малярии, существенно более опасен, чем другие виды возбудителей малярии. Молекулярно-биологическое исследование, проведенное в апреле прошлого года Томасом Маккатчаном с сотрудниками в Национальных институтах здоровья США, позволяет предположить, что *P. falciparum* родственно более близок возбудителям малярии птиц, чем возбудителям малярии человека. Согласно Маккатчану, человек мог получить *P. falciparum* от птиц не ранее 10 тыс. лет назад. *P. falciparum* более вирулентен, чем другие виды возбудителей малярии, потому что люди еще не выработали хорошую иммунную защиту против него.

Созидательность симбиоза

Линн Маргулис, биолог из Массачусетского университета в Амхерсте, не считает паразитизм единственной симбиотической ассоциацией в эволюции. Симбиотические ассоциации являются одними из наиболее созидательных сил в этом процессе. Маргулис считает, что путем симбиоза организмы накапливают свои генетические ресурсы в большей степени, чем это мог бы сделать каждый из партнеров в отдельности.

Эту идею мало кто из эволюционистов-теоретиков оспаривает в качестве общего принципа. Маргулис тем не менее утверждает, что строя математические модели, основанные на принципе соревнования между организмами, большинство ее коллег игнорирует другие биологические воздействия. «Они пытаются утверждать, что естественный отбор ответствен за все новое, что мы видим в эволюции, — говорит Маргулис. — Конечно, естественный отбор благоприятствует симбионтам скорее чем индивидуальным партнерам или животным с лучшим, чем у других, генотипом. Это неотъемлемая часть эволюционного процесса. Но естественный отбор является не «автором», а «редактором».

Пожалуй, наилучшей иллюстраци-

ей этой идеи является эндосимбиотическое происхождение клеток эукариот. Маргулис не первой предположила, что эукариотические клетки, имеющие внутренние органеллы, произошли от симбиотического союза более простых безъядерных клеток. Однако в 60-х годах она предложила путь проверки этой гипотезы.

Маргулис предсказывала, что такие органеллы, как митохондрии и хлоропласты, содержат иные гены, чем ядра клеток эукариот, но похожие на гены некоторых бактерий. Эволюционным значением этого открытия было то, что указанные эукариотические клетки не должны были изобретать дыхание и фотосинтез «методом проб и ошибок». Первые эукариоты просто заимствовали эти способности у неродственных бактерий, включив последние в клетку как эндосимбионтов (внутренних симбиотических партнеров).

Накапливающиеся факты свидетельствуют в пользу того, что феномен эндосимбиоза способствовал усложнению строения многих организмов. В марте прошлого года Сузан Дуглас из Океанологического института в Галифаксе вместе со своими сотрудниками обнаружила первое доказательство того, что симбиотическое соединение двух эукариот создало новый вид пресноводных водорослей, называемых криптомонадами.

Криптомонады содержат необычную мембранную структуру, называемую нуклеосомой, в которой исследователи, работавшие ранее, обнаружили и ДНК, и РНК, служащие матрицами жизни. Десять лет назад Салли Гиббс из Университета Макгилла предположила, что нуклеосома является остатками красной водоросли, которая паразитировала в прошлом у эукариотического организма-хозяина. Группа Дуглас подтвердила это предположение, показав, что ДНК в нуклеосоме более сходна с ДНК красной водоросли, чем с ДНК в ядре криптонады. По-видимому, предки криптонады стали способными к фотосинтезу, включив в свой состав красную водоросль, содержащую хлоропласты.

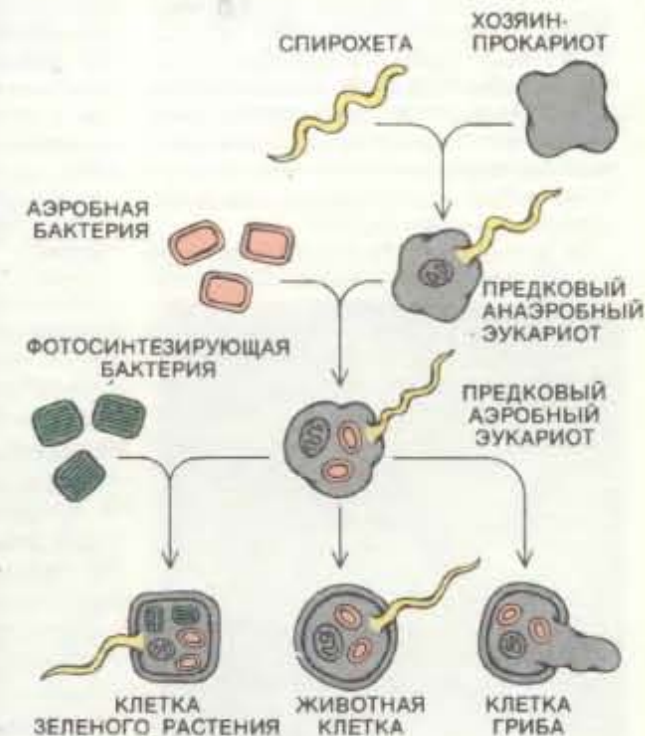
Единственное, что, по-видимому, раздражает Маргулис, — это принятие биологами-эволюционистами симбиотической природы возникновения только ранних эукариотических клеток и их сомнение относительно роли этого процесса в создании более близких человеку форм жизни. «Они принимают симбиоз всерьез у лишайников, — говорит Маргулис, — так как лишайники, безусловно, являются результатом

симбиоза гриба и фотосинтезирующих бактерий или водорослей, — но затем они отбрасывают лишайники как что-то несущественное. Они не воспринимают этот процесс серьезно по отношению к дорогим им организмам — семенным растениям и животным».

Симбиоз является образом жизни большинства организмов. Ботаники обычно признают, что 90% всех наземных растений существуют совместно с грибами, поскольку грибы, связанные с корнями растений, необходимы последним для получения питательных веществ из почвы. Большинство травоядных животных зависят от микроорганизмов, живущих в их кишечнике для переваривания клетчатки, которую едят эти животные. «Как вы можете говорить об эволюции коровы без обсуждения роли переваривающих клетчатку микробов?» — спрашивает Маргулис.

Питер Прайс из Университета Северной Аризоны, который, как считают многие паразитологи, в последние годы привлек внимание других биологов к обсуждаемой проблеме, очертив эволюционную схему, показывающую, каким образом травоядные животные могли развиваться из симбиоза животных и микроскопических паразитов растений. Паразит, говорит он, уже обрел способность производить ферменты для переваривания веществ, имеющихся в организме его хозяина-растения.

Если животное вступило в симбиоз с паразитом, значит, оно смогло делиться с паразитом питательными веществами из растительной массы. Это «травоядное партнерство» могло затем распространиться на все тер-



СЛОЖНЫЕ ОРГАНИЗМЫ, возможно, развились в результате серий симбиозов более простых организмов.



МАЛЯРИЯ передается укусами комаров, со слюной которых в кровь попадает одна из форм паразита. Позднее паразиты проникают в эритроциты

ритории, где росли растения-хозяева. Успех в освоении новых пищевых ресурсов способствовал естественному отбору животных, более способных к образованию подобных симбиозов.

Раздражающий вопрос к этой схеме — почему животное оказалось способным вступить в симбиоз с паразитом растений. Прайс подозревает, что паразиты «преадаптированы к существованию в близкой ассоциации с хозяевами» и что эти приспособления предрасполагают паразитов к установлению новых мутуалистических ассоциаций. Природа этой преадаптации остается, однако, неясной.

«Отбор будет всегда способствовать паразиту, оказывающему благоприятное воздействие на хозяина», — отмечает Прайс. — Эволюционисты, разрабатывающие модели, обычно приходят к диаметрально противоположным заключениям, но они воспринимают мутуализм как соединение двух независимых организмов. Как только получается тесная связь между паразитом и его хозяином, модель становится неинтересной, поскольку два вида начнут развиваться, как один. Создатели моделей стараются избежать этого». До тех пор пока механизмы, которые предрасполагают организмы к симбиозу, не будут описаны количественно, ситуация вряд ли изменится.

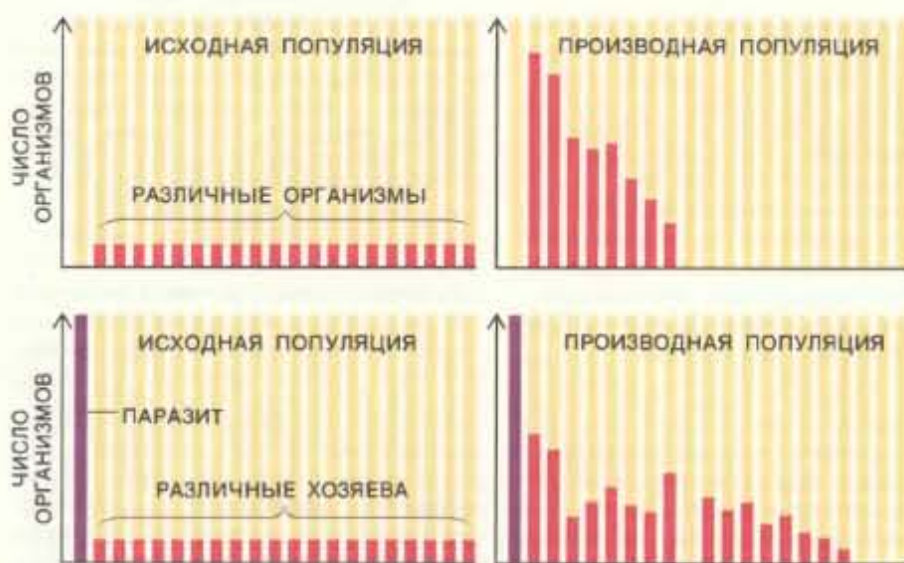
Кибернетические паразиты

Во время полевых исследований в Коста-Рике Томас Рей был окружен паразитическими растениями, насекомыми и микроорганизмами. Однако те паразиты, которые больше всего интересуют экологов в настоящее время, живут в терминале компьютера в его лаборатории в Делавэрском университете.

В течение последних двух лет Рей изучал мир искусственно созданной жизни — компьютерные модели простых организмов, борющихся за выживание в киберпространстве. Продукт его мозга — «Тьерра», которая считается наиболее «изысканной» из когда-либо создававшихся программ искусственной жизни, независимо подтвердила то, что паразитологи знали всегда: паразиты являются неизбежной, обязательной частью каждой экосистемы.

С помощью «Тьерры» Рей мог создавать внутри своего компьютера воображаемую экосистему. Организмы в виде коротких программ боролись за машинное время и плодили копии самих себя, которые иногда разрушались. Соперничество и мутации вызывали дальнейшую эволюцию в системе.

К удивлению Рея, паразиты разви-



ИСКУССТВЕННЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ насчитывают больше число видов, если в них присутствуют паразиты. При моделировании экосистем с помощью программы «Тьерра» выжило только 8 из 20 незараженных паразитами видов (вверху). В два раза больше видов осталось в экосистеме с одним типом паразита (внизу).

вались спонтанно в течение первых пяти минут после запуска модели. «Обычно в результате мутаций вы получаете потерю большей части кода, что нарушает репликацию существа», — поясняет Рей. После этого они заимствовали необходимый код у своих ближайших соседей, хотя Рей не программировал этого, и таким образом становились паразитами. Программы-хозяева в свою очередь эволюционировали и блокировали вторжения этих паразитов, но последние также продолжали изменяться.

В результате появился прекрасный пример коэволюционной «гонки вооружений». После того как все паразиты были ликвидированы особенно удачливыми хозяевами, в популяции последних развились новые типы паразитов. «Все, что удачно, привлекает паразитов», — говорит Рей, — Они находят пути использования этого».

Некоторые наблюдения Рея показывают, что паразиты могут способствовать большему разнообразию экосистемы. Он провел эксперимент с помощью «Тьерры» по созданию

экологического сообщества с двадцатью образцами организмов, ни один из которых не являлся паразитом. (Он сознательно исключил возможность мутаций, чтобы предупредить возникновение паразитов.) В конце эксперимента осталось только 8 образцов. Когда он повторил эксперимент с двадцатью образцами хозяев и одной паразитической формой, осталось 16 образцов хозяев. Очевидно, паразиты препятствуют тому, чтобы какой-то один из видов хозяина приводил другие виды к исчезновению.

Рэй говорит, что более всего он был удивлен открытием его создателями феномена пола. Даже в тех случаях, когда он предупреждал мутации, его создания начинали обмениваться частицами своего генетического кода. «Я даже не предполагал, что такое возможно», — клянется он. — Я бы не стал заходить так далеко, чтобы утверждать, что борьба с паразитами является фактором естественного отбора, поддерживающим в системе половые различия, но преимущества пола очевидны».

Наука и общество

(Начало статьи см. на с. 66)

К несчастью для фирм, занимающихся вторичной переработкой, не все бамперы выполнены из одинаковых материалов. Однако сейчас все чаще и чаще немецкие производители легковых автомобилей штампуют детали из пластмасс, ставя на них код, идентифицирующий данный материал согласно государственному стандарту. VW, кроме того, начинает совершенствовать конструкции своих деталей с целью использования меньшего

количества материалов. Пластмассовый топливный бак для фольксвагенской модели «Golf», которая была запущена в производство прошлым летом, имеет в своем составе на 11 частей меньше, чем бак старой конструкции. «Требования по защите окружающей среды настолько высоки, что все инженеры теперь охвачены желанием разрабатывать конструкции в расчете на вторичное использование», — заявляет Баренсцен.

При всем том, однако, пластмассы

все еще остаются источником многих хлопот для фирм, занимающихся их переработкой с целью вторичного использования. Усилия VW в этом плане охватывают лишь 30-40% от 100-килограммовой массы термопластов, входящих в состав ее автомобилей. Другие виды деталей легковых машин продолжают «сопротивляться» усилиям специалистов по переработке и вторичному использованию. Например, служащие завода в Леере пока еще не нашли какого-либо применения окнам из слоеного стекла и стеклу, в которое впаяны обогревающие элементы. По словам Рольфа, приборные щитки и рулевые колеса представляют собой настолько сложные комбинации материалов, что разделение их на составные части было бы слишком дорогостоящим. А поскольку служащие VW привыкли иметь дело в основном с обычными «фольксвагенами» и «ауди», то они пока даже не пытались выяснить, что им делать с электронными компонентами, входящими в более сложные модели автомобилей.

Еще более трудным, чем разделение материалов легковых автомобилей, окажется вопрос о том, кто в конечном счете будет брать на себя осуществление проектов по вторичному использованию и переработке, сколько различных марок и моделей автомобилей можно будет задействовать и кто будет нести издержки. Однако наблюдатели, такие, например, как Стейси, оптимистично оценивают ситуацию, считая, что вторичное использование и переработка компонентов автомобилей вскоре перерастут в быстро развивающийся бизнес. «Производители легковых машин думают, что не знают, как делать деньги на «разборке» автомобилей», — говорит Стейси. — Но если они доведут операции, выполняемые на заводе в Леере, до уровня автоматизированного массового производства, то увидят, что экономические рычаги вторичного использования заработали».

Элизабет Коркоран (Леер, Германия)

Все дело в упаковке

КАКИМ образом «употреблять внутрь» запеченный лосось, мясо на ребрышках или тexasский окорок? При нормальном желудке проблемы здесь нет. Другое дело — такие клинически важные белки, как инсулин, факторы роста или стимуляторы кроветворения. В процессе пищеварения эти вещества быстро разлагаются на бесполезные с медицинской точки зрения фрагменты. Следовательно, если больному требуются подобные лекарства, он вынужден смириться с неудобствами и болезненностью

внутривенных, внутримышечных или подкожных инъекций.

И все же способ введения биологически активных белков перорально, т. е. «через рот», в конце концов может быть найден. Небольшая биотехнологическая фирма Clinical Technologies Associates (СТА) в Элмфорде (шт. Нью-Йорк) разработала технологию изоляции белков и других не подлежащих пероральному введению соединений от воздействия пищеварительного тракта, при котором они освобождаются из оболочки только после того, как в целостности и сохранности поступят в кровоток.

Ключ к проблеме — капсулы из аминокислот (основного строительного материала белков), раскрывающиеся при изменении кислотности среды. Исследователи из СТА нашли способ получать так называемые протениноиды — состоящие из аминокислот полимеры необычной разветвленной конфигурации, которая позволяет им соединяться друг с другом, избегая в результате разложения. Президент СТА М. Голдберг поясняет: «Такие сферы защищают лекарство от агрессивной среды кишечника, но достаточно малы, чтобы проникать через его слизистую оболочку».

Для инкапсулирования лекарства протениноиды растворяют в воде и смешивают этот раствор с нужным белком при низком pH (т. е. в кислой среде, которой обычно служит раствор лимонной или уксусной кислоты). Резкое повышение кислотности приводит к агрегации протениноидов в полые сферы величиной с эритроцит, захватывающие в себя и некоторое количество растворенного лекарства. Эти капсулы не разрушаются в кислой среде желудка, но как только они попадают в кровоток, повышение pH вызывает диссоциацию протениноидной оболочки и высвобождение содержимого.

В СТА были изготовлены микросферы различного размера и с разной чувствительностью к pH. По словам Голдберга, удалось успешно инкапсулировать более 10 различных медицинских агентов в широком диапазоне молекулярной массы — от нейромедиатора дофамина (150 дальтон) до инсулина (6000 дальтон) и даже патентованной вакцины (2,5 млн. дальтон).

Механизм переноса протениноидами лекарств через стенку кишечника в кровь пока неизвестен, но Голдберга это не беспокоит. «Главное то, что наш прием оказался эффективен у пяти различных млекопитающих», — считает он. — У человека результат должен быть не хуже, если не лучше».

Несколько фармацевтических фирм, похоже, не прочь поверить в

правоту Голдберга. Результаты, полученные в СТА для ряда белков, включая инсулин и гепарин, действительно вполне убедительны — таково мнение Дж. Дейниалза, директора компании Upjohn в Каламазу (шт. Мичиган). Однако пока Дейниалз предпочитает не вдаваться в подробности относительно участия своей фирмы в работе над неким инкапсулированным продуктом, который, говорят, не что иное, как инсулин. Другие сотрудничающие с СТА компании, включая Genetics Institute, Inc., Sandoz и Tredegar Industries, также не раскрывают карты. Сама СТА планирует начать клинические испытания инкапсулированного гепарина уже в этом году.

В лекарствах, требующих инкапсулирования, нет недостатка. Для 16 белковых препаратов, утвержденных Управлением по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA), шприц остается пока единственным средством введения в организм; такое же ограничение касается еще 120 лекарств, ожидающих официального утверждения. «Благодаря» хроническим болезням, для лечения которых нужны регулярные инъекции или вливания тех или иных белков (например, при диабете — это инсулин, при анемии, вызванной почечным диализом, — эритропоэтин), возможны многомиллиардные доходы от лекарств, вводимых перорально.

Голдберг надеется, что, если данные СТА подтвердятся, небольшое семейство протениноидных препаратов сможет обеспечить пероральный прием почти любого полезного белка. Не иссякает биотехнологический поток медицински важных веществ, участвующих в воспалительных процессах, восстанавливающих кости и стимулирующих клетки. Возможно, скоро СТА сумеет «упаковать» все эти лекарства.

Дебора Эрикссон



МИКРОСФЕРЫ инкапсулируют и высвобождают лекарства в ответ на изменение кислотности среды.

Генерирование хаоса в домашних условиях



ДУГЛАС СМИТ

БОЛЬШИНСТВО людей пытаются избежать беспорядка. Действительно, кому бы, например, хотелось из-за сильных снегопадов застрять в аэропорту накануне Рождества? Однако я считаю, что беспорядок, или, выражаясь научным языком, хаос дает возможность отвлечься от повседневных забот, особенно тогда, когда вы можете наблюдать его со стороны и управлять им. Хаос — часть красоты природы. Его можно наблюдать и в текущей реке, и в качании маятника, и в плавном движении облака (см. статью М. Гутциллера «Квантовый хаос» на с. 14).

Хаос может быть объектом эксперимента. Для этого подойдет электрическая схема, показанная на рисун-

ке внизу. Если к этой схеме подвести электрический ток определенного напряжения, она создаст хаотический сигнал.

В 1981 г. П. Линсей из Массачусетского технологического института впервые с научной строгостью исследовал поведение такой схемы. С тех пор многие физики пытаются объяснить, как она генерирует хаос.

Когда я узнал об экспериментах Линсея, меня поразило, что такая простая схема может демонстрировать столь сложное и необычное поведение. Раньше я видел компьютерные модели поведения хаотических систем, но в данном случае представлялась возможность самому исследовать свойственную природе хаотиче-

скую динамику. Выступая в данном случае в роли ученого-любителя, я решил лично увидеть хаос, а поэкспериментировав, обнаружил, что его можно даже услышать.

Для того чтобы собрать схему, вам потребуется всего лишь несколько основных элементов — резистор, катушка индуктивности и диод. Для начала рекомендую взять резистор на 200 Ом, катушку индуктивности на 100 мкГн и любой диод — 1N 4001, 1N 4004, 1N 4005 или 1N 4007. Чтобы купить все эти элементы, требуется не так уж много денег.

Схему можно собрать на листе пластмассы, предварительно просверлив в нем несколько рядов отверстий для крепления элементов. Для подачи сигнала на вход схемы потребуется генератор функций. Для измерения выходного сигнала и его наблюдения лучше всего использовать осциллограф. Если у вас нет ни генератора функций, ни осциллографа, вы можете взять их напрокат или одолжить у знакомых.

Мне хотелось иметь собственный осциллограф, чтобы экспериментировать дома, но я не мог позволить себе купить новый прибор за 1000 долларов. В надежде купить подержанный осциллограф я поместил объявление в газете. Через неделю мне позвонили. Продавец пригласил меня заодно посмотреть его мастерскую. Она была завалена электронной аппаратурой: деталями от компьютеров, старыми антеннами, узлами радиоприемников, аккумуляторами и батарейками. Я понял, что попал, куда нужно. Хозяин продал мне проработавший 15 лет осциллограф за 100 долларов.

Когда вы достанете все необходимое, на сборку схемы у вас уйдет немного времени. Собрать ее нужно в следующей последовательности: сначала к входу генератора функций подсоединяется резистор, к резистору — катушка индуктивности, а к ней — диод. Будьте внимательны: при подсоединении диода важно соблюдать правильную полярность. У диода два вывода — один от анода, другой от катода. На диодах всегда указывается полярность. Любой диод пропускает ток только в одном направлении — от катода к аноду.

В схеме для генерирования хаоса катодный вывод диода рекомендую подсоединить к катушке индуктивности, а его анодный вывод к «земле» (корпусу). Но если вы подключите диод наоборот, ничего страшного, схема все равно будет работать.

Для регистрации сигнала на выходе схемы подсоедините пробник осциллографа между резистором и катушкой индуктивности. Если у вашего осциллографа два пробника, используйте

те второй пробник для измерения входного сигнала. Проверьте все соединения и убедитесь, что элементы схемы прочно установлены на плате.

Теперь все готово для исследования хаоса. Установите генератор функций в режим, при котором он вырабатывает синусоидальный сигнал частотой около 2 МГц (2 млн периодов в секунду) и напряжением в диапазоне от 0,1 до -0,1 В. Выходной сигнал должен иметь меньшую амплитуду, чем входной сигнал, а частоту ту же самую. Постепенно увеличивайте амплитуду входного сигнала. При некоторой его величине между 1 и 2 В схема неожиданно начнет генерировать на выходе сигнал с двумя пиками различной высоты. Этот сигнал в действительности состоит из двух составляющих, каждая из которых имеет свою частоту. Точка, при которой появляются новые составляющие, называется точкой бифуркации.

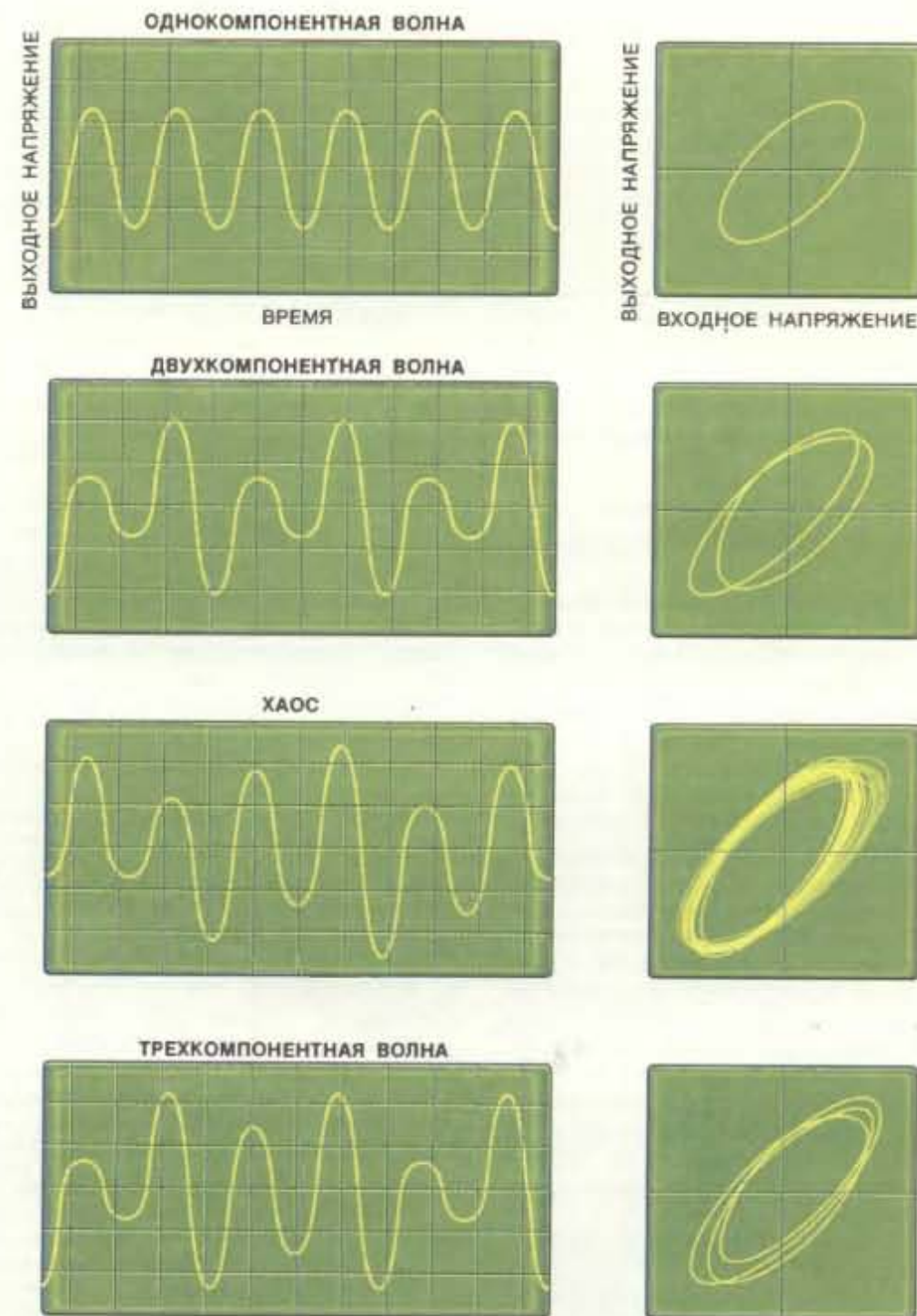
Если вы будете и дальше увеличивать амплитуду на входе, давая ей небольшие приращения, в выходном сигнале будут появляться все новые и новые пары составляющих. Регистрируйте значения амплитуд, при которых возникает новая бифуркация, и вы заметите, что изменение амплитуды между бифуркациями уменьшается в геометрической прогрессии. При определенном значении амплитуды система войдет в режим с бесконечным числом бифуркаций, т. е. будет генерировать хаос. Сигнал на выходе при этом не случайный, а представляет собой сложную «смесь» различных составляющих.

Увеличивая амплитуду, после того как установится хаос, вы сможете получить на выходе сигнал с тремя и даже пятью составляющими различной частоты. Это явление типично для поведения всех хаотических систем.

Если окажется, что ваша схема не генерирует хаос, настройте генератор функций на другую частоту. В том случае, если вам опять не удастся получить нужный эффект, и вы уверены, что все элементы схемы исправны, попробуйте взять другой тип диода. По своему опыту я знаю, что лучше всего работают диоды, имеющие большую емкость. Какова емкость диода, вы можете узнать из прилагаемого к нему технического паспорта или позвонив на завод-изготовитель.

Возможно, затруднения возникнут при работе на частотах несколько мегагерц в связи с ограниченными возможностями вашего генератора функций или осциллографа. Заменяя основные элементы схемы, вы сможете работать при более низких частотах. Если вы установите диод типа 1N 2858, резистор 25 Ом и катушку индуктивности 0,1 Гн, то режим гене-

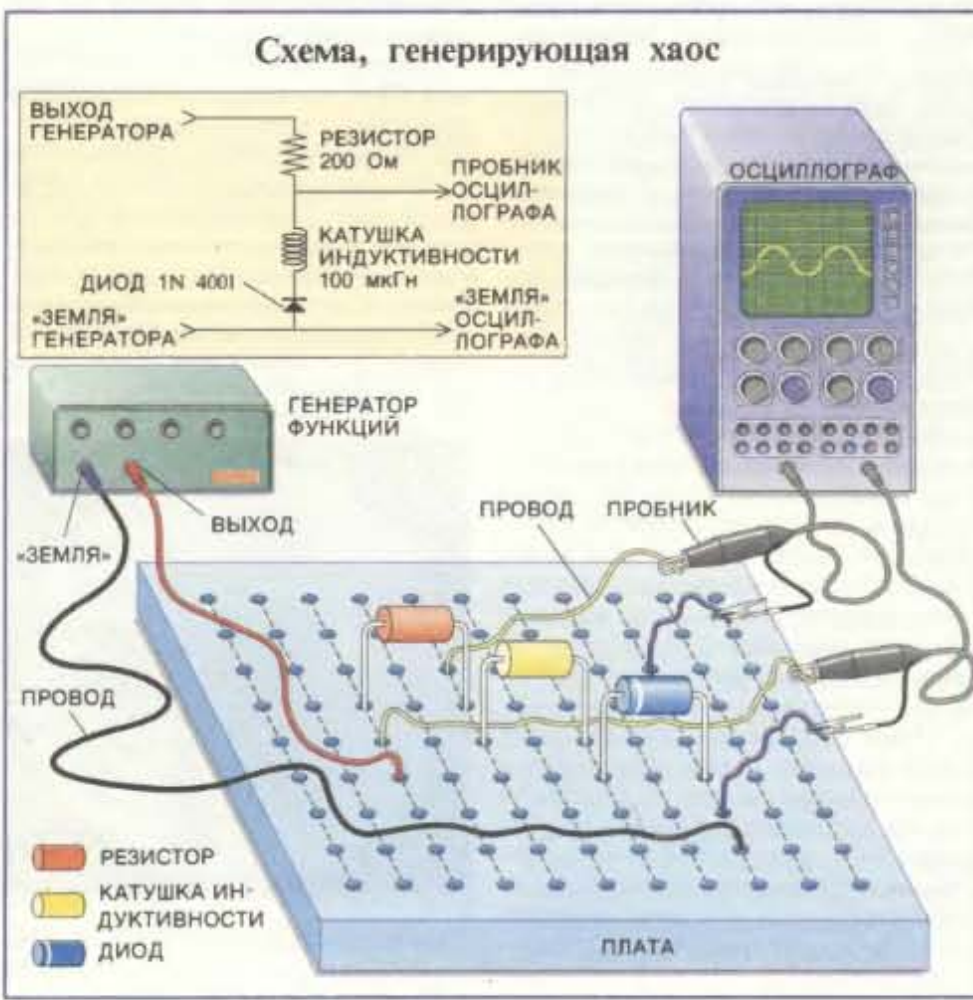
Выходные характеристики



рирования хаоса наступит на частоте около 75 кГц. В радиолюбительской практике катушки с индуктивностью 0,1 Гн используются крайне редко, поэтому вам, возможно, придется изготовить ее самому.

Источником хаотического поведения в схеме является диод. В идеальном случае любой диод проводит ток только в одном направлении. Ток через диод будет течь только при условии, если напряжение на его катоде ниже, чем на аноде. В нашей схеме анод подсоединен к «земле» (нулевой точке), следовательно, если на катоде отрицательное напряжение относительно «земли», диод будет проводить электрический ток.

Реальные диоды отличаются от идеальных. Если, например, на катоде положительное напряжение, то диод ведет себя примерно так же, как конденсатор (напряжение на конденсаторе пропорционально скорости изменения тока). Он будет продолжать вести себя таким образом до тех пор, пока напряжение на катоде не уменьшится до -0,5 В. Затем он начнет свободно проводить электрический ток, но все же будет еще оказывать некоторое сопротивление току, поддерживая напряжение на уровне около -0,5 В. Если напряжение на катоде возрастет до нуля, он не выключится тут же. В течение какого-то короткого времени диод будет пропускать ток





Диод пропускает электрический ток, когда напряжение на катоде ниже, чем на аноде. Здесь приведена вольт-амперная характеристика типичного диода.

и затем вновь начнет вести себя как конденсатор.

Схемы с диодами обычно конструируются таким образом, что свойства, которые отличают диоды от идеальных, нейтрализуются. Однако в нашей экспериментальной схеме проявляются все особенности диода.

Вначале рассмотрим, что произойдет, если на вход схемы поступает синусоидальный сигнал, меняющийся от 0,1 до -0,1 В. При этих условиях напряжение на катоде не опускается ниже -0,5 В, и поэтому диод ведет себя как конденсатор. В этом случае поведение схемы предсказуемо. Когда на вход подается низкочастотный синусоидальный сигнал, конденсатор и катушка индуктивности будут вести себя подобно резистору с большим сопротивлением, препятствующим протеканию через них электрического тока. Амплитуда входного сигнала будет, таким образом, равна амплитуде выходного сигнала.

Когда частота входного сигнала увеличивается и достигает определенной критической величины, сопротивление катушки индуктивности и диода падает, и ток течет через них на «землю». Выходное напряжение при этом становится равным нулю. Когда частота становится больше или меньше критической, амплитуда выходного сигнала увеличивается, пока не достигнет амплитуды сигнала на входе.

Значение критической частоты зависит от емкости диода и индуктивности катушки и определяется по формуле:

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \text{ где}$$

L — индуктивность катушки в генри и C — емкость диода в фарадах. Если индуктивность равна 100 мкГн, а емкость 50 пФ, то критическая частота примерно равна 2,3 МГц.

Теперь, если амплитуда меняется в пределах от +2 до -2 В, диод может либо пропускать электрический ток, либо вести себя как конденсатор. Это зависит от напряжения на его катоде и от того, как долго это напряжение удерживается на входе. В свою очередь напряжение, приложенное к катушке, определяется реакцией катушки индуктивности на входное напряжение. В то же время реакция катушки индуктивности также зависит от того, накапливается ли заряд на диоде как на конденсаторе или на нем поддерживается напряжение -0,5 В.

Не прибегая к сложным объяснениям, можно сказать, что катушка индуктивности получает один набор «инструкций» от входного сигнала и другой — от диода. Если последовательность этих инструкций и время их поступления «правильны», схема может продолжить генерирование периодического сигнала. Однако, если естественный ритм инструкций нарушается, схема начинает генерировать хаос. В течение последнего десятилетия Р. Родлинз и Е. Хант из Университета шт. Огайо пытаются разработать компьютерную модель, которая могла бы точно описать поведение схемы.

После того как вы хорошо усвоите принцип работы элементов схемы, советую вам поэкспериментировать с нею. Можно, например, вставлять в нее различные диоды и наблюдать, как изменяется хаотическое поведение. Или же можно попытаться изменить частоту, форму или постоянное смещение входного сигнала.

Для вас также будет небезынтересно попробовать различные способы визуализации выходного сигнала. Вы можете «зарисовать» зависимость выходного сигнала от входного с помощью осциллографа, подав сигналы на его горизонтальные и вертикальные отклоняющие пластины. (Один

пробник осциллографа нужно подключить к входу, а другой к выходу.) На экране осциллографа вы сможете увидеть одну или несколько петель. В этом режиме количество петель увеличивается с ростом числа спектральных составляющих.

Читателям, любящим эффекты, и тем, у кого нет осциллографа, я рекомендую проделать эксперимент другого вида. Если подключить схему к стереопроигрывателю, можно услышать «музыку» хаоса. Но прежде чем сделать это, вы должны убедиться, что выходной сигнал схемы соответствует допустимому уровню входного сигнала вашего проигрывателя. Если ток или напряжение на выходе схемы превышает допустимые значения, то подключать схему к стереопроигрывателю не следует.

Прежде всего вы должны удостовериться, что генератор функций вырабатывает нужное вам напряжение. Если на вход схемы подается напряжение 5 В, а сопротивление резистора равно 200 Ом, максимальный ток должен быть 25 мА. (Ток по закону Ома равен отношению напряжения и сопротивления.) Обратившись к описанию вашей стереосистемы, вы должны выяснить, можно ли к ее входу подключать источник на 5 В и 25 мА. Если нельзя, то тогда вам нужно будет увеличить сопротивление схемы.

Для подключения схемы к стереоустановке используйте кусок коаксиального кабеля со штекерами на одном конце. Если вы обрежете кабель с другого его конца и зачистите его, вы увидите внутри провод и либо металлическую экранирующую оплетку вокруг него, либо второй провод. Подсоедините центральный провод к выходу схемы, а оплетку (или второй провод) к «земле» схемы. Стереопроигрыватель в это время должен быть выключен. Затем подключите штекеры кабеля к входу стереоустановки.

Вначале установите генератор функций на режим генерирования синусоидального сигнала амплитудой 1 В и частотой около 1 кГц. Регулятор громкости на стереоустановке поставьте в положение тихого звучания и затем включите стереоустановку. Вы должны услышать звук на две октавы выше среднего «до». По мере увеличения частоты входного сигнала тон звучания будет становиться все выше. Но когда частота приблизится к 20 кГц, тон выйдет за пределы человеческого восприятия звука. Теперь доведите частоту до 2 МГц. Никакого звука вы не услышите. Чтобы привести схему в состояние генерирования хаоса, постепенно увеличивайте амплитуду входного сигнала. Не подавайте напряжение более 5 В, поскольку на входе стереоустановки сигнал не

должен быть выше 25 мА.

По мере увеличения амплитуды схема начнет вырабатывать сигнал с двумя частотными составляющими, затем с четырьмя, восемью и т. д. Пока вы еще не будете слышать никакого звука. Однако, когда амплитуда превысит значение, при котором возникает хаос, в стереоустановке раздастся громкий свист. Когда схема ведет себя хаотически, она генерирует сиг-

нал с большим числом частотных составляющих, включая и те, которые слышит человек.

Так можно «услышать» хаос. В общем случае, чем больше амплитуда входного сигнала, тем больше частотных составляющих вы будете слышать. При некоторых значениях амплитуды, однако, схема будет генерировать сигнал, имеющий всего 3 или 5 частотных составляющих, и

звук в стереоустановке прекратится.

Я не думаю, что схема, генерирующая хаос, имеет какое-либо будущее в смысле использования ее в качестве музыкального инструмента. Однако, кто знает? Сочиняют же композиторы музыкальные произведения, используя электронные синтезаторы. Почему бы не сочинить концерт для хаотической схемы до мажор?

Наука и общество

Просьба чаевых не давать

В марте 1991 г. многочисленные ряды обслуживающего персонала корпорации Marriott пополнились первыми «железными воротничками». Избегая столкновений со стенами и объезжая препятствия, эти роботы-уборщики, или «сервис-роботы», моют полы в коридорах двух чикагских больниц. Таким способом корпорация с оборотом 7,5 млрд. долл. пытается выяснить, можно ли заменить некоторые ручные операции машинным трудом.

Корпорация Marriott — одна из первых сервисных фирм, дополнивших состав своей рабочей силы роботами. Подобные роботы в настоящее время проходят испытания в Почтовой службе США, а во Франции даже используются для уборки полов в залах Лувра.

На этот эксперимент корпорацию Marriott вдохновили исследования, проведенные ею в 1990 г. при консультации Джозефа Энгелбергера, одного из пионеров в области робототехники. В результате исследований было сделано заключение, что корпорация только за один год сможет автоматизировать 8000 операций, сразу же получив экономию в зарплате на сумму в 200 млн. долл. В течение каждого года из последующих 10 будет обеспечиваться дополнительная экономия. Эти перспективы с восторгом были восприняты высшим руководством фирмы, включая президента Уилларда Мариотта-младшего и вице-президента Ричарда Мариотта.

Однако, когда фирма была вынуждена урезать свой ежегодный 1,3-миллиардный бюджет капиталовложений на 650 млн. долл., первоначальные честолюбивые замыслы несколько померкли. К настоящему времени корпорация поставила лишь одного «хорошо смазанного» робота-уборщика в Северо-западную мемориальную больницу в центре Чикаго и еще одного в Пресвитерианский медицинский центр Св. Луки, что в нескольких милях от этой больницы. Хотя первые экземпляры стоят дорожно, Marriott предполагает в конечном счете закупать роботы по цене 20 тыс. долл., что приблизительно в 4 раза превышает стоимость уборочной машины с ручным управлением.

Роботы выглядят так же, как и любые другие машины для уборки полов, которыми все еще продолжают управлять рабочие, толкая их перед собой по коридорам больниц. Единственное, что отличает роботов от этих машин, — это отсутствие человека-оператора. «Обучение» роботов начинается с того, что их вручную продвигают по маршруту их следования. Во время нескольких первых «рейсов» роботы производства компании Kent, являющейся отделением шведской фирмы Electrolux AB, запоминают внутреннюю «карту» планировки пола. Впоследствии они курсируют самостоятельно. Роботы к тому же снабжены ультразвуковыми датчиками. Если на их пути появляется человек или какой-нибудь предмет (больничный персонал часто развлекается, проверяя реакцию роботов), они останавливаются и выжидают несколько мгновений, чтобы уяснить, движется ли данный объект. Если не движется, онигибают препятствие.

Имели место и несколько комичных эпизодов. Скотт Нелл, возглавляющий группу изучения перспективных технологий в штаб-квартире Marriott в Бетесде (шт. Мэриленд), сообщил в октябре собравшимся на конференцию Ассоциации роботизированных отраслей промышленности о том, что один из работников фирмы вдруг бросился догонять робота, так как ему показалось, что это «убегает» машина для уборки полов. Но так

или иначе служащие корпорации Marriott приняли своих механических коллег. Один из двух членов каждой «уборочной команды» назначается на свою новую работу в больнице; другой, именуемый теперь «напарником робота» сопровождает своих механических коллег (один из роботов получил имя «Мило»). Чтобы помочь роботу забраться в угол помещения, члену команды надо всего лишь переключить его на ручное управление.

Если роботы успешно пройдут испытания, некоторые рабочие места, занимаемые людьми, будут ликвидированы. Руководители фирмы Marriott надеются, что оставшиеся в штате «напарники роботов» будут гордиться тем, что осуществляют контроль за машинами, которым они будут помогать справляться со всевозможными сложностями при выполнении этих низкооплачиваемых и неквалифицированных операций.

Основываясь на своем предыдущем опыте взаимодействия с «механическими рабочими», фирма Marriott заказала еще десять роботов. Роботы можно было бы даже применять на таких операциях, как подрезка травы на площадках для игры в гольф или раскладка столового серебра на сервировочные подносы.

Руководство фирмы считает, что им пока не нужны роботы, непосредственно контактирующие с постояльцами отелей. «Мы вовсе не собираемся автоматизировать сервис настолько, чтобы нас обслуживал передвигающийся робот-автомат с микроволновой печью в животе», — шутит Нелл. Однако при всем том механический разносчик газет, доставляющий почту к дверям гостиничных номеров и затем молча укатывающий на своих бесшумных колесах, скоро станет реальной возможностью. И чаевые будут строго запрещены. Гэри Стикс



СЕРВИС-РОБОТ «МИЛО» производит уборку полов в Северо-западной мемориальной больнице в Чикаго. Фото Нейла Макдональда.

Мир фракталов; история промышленной энергетики США



ФИЛИП МОРРИСОН

Ганс Ловерье. ФРАКТАЛЫ: БЕСКОНЕЧНО ПОВТОРЯЮЩИЕСЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ФИГУРЫ.

FRACTALS: ENDLESSLY REPEATED GEOMETRICAL FIGURES, by Hans Lauwerier. Princeton University Press, 1991 (\$ 49.50; paperbound, \$ 14.95).

Майкл Магуайр. ВЗГЛЯД НА ФРАКТАЛЫ: ГРАФИЧЕСКИЙ И ФОТОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК.

AN EYE FOR FRACTALS: A GRAPHIC AND PHOTOGRAPHIC ESSAY, by Michael McGuire. Addison — Wesley Publishing Company, 1991 (\$ 29.75)

ФОРМЫ ФРАКТАЛОВ. Под редакцией *Этьена Гуйона и Юджина Стэнли.* FRACTAL FORMS, edited by Etienne Guyon and H. Eugene Stanley. Elsevier/North-Holland, 1991 (paperbound, ДП. 200 per packet of 10 copies).

ЭТИ превосходные книги о фракталах будут интересны как специалистам, так и начинающим. Автор первой из них — датский математик, обладающий даром делать понятными сложные вещи. Подзаголовок этой книги можно дополнить: фракталы — это действительно фигуры с бесконечно повторяющимся «мотивом», но эти повторения происходят в постоянно изменяющемся масштабе. Читатели, увлекающиеся компьютерами, могут начинать с последних глав книги, а затем вернуться и прочитать ее сначала, чтобы больше узнать о фракталах. Другим же читателям книга будет, несомненно, интересной в целом.

В первых главах автор постепенно вводит читателя в мир фракталов, начиная с идеи числа и фрактала, построенного из буквы Н, и кончая очертаниями береговых линий и изумительными кривыми, напоминающими дракона. Затем следует фундаментальный анализ размерности. Ближе к концу книги читатель собирается на «фрактальные пики»: горы Пуанкаре и Мандельброта. В последней главе приводится список примерно 50 компьютерных программ для всех, кто пользуется компилированным языком BASIC.

Майкл Магуайр — автор второй книги — поместил в своей работе более 100 черно-белых фотографий (некоторые из них сделаны им самим) объектов природы, главным образом корней деревьев и водопадов, сопроводив их кратким пояснительным текстом. «Эта книга» — говорит он, «о том, как видеть». Предисловие к ней написал сам профессор Мандельброт, который замечает, что для него фракталы — это не просто раздел математики, а способ «по-иному взглянуть на наш старый мир». Немаловажным достоинством книги является то, что она уменьшает боязнь математики.

В третьей книге содержатся фотографии изумительных фракталов-экспонатов, представленных на одной из выставок в Париже. В книге всего одна страница текста (не считая пояснительных подписей к фотографиям) — выдержка из работы Мандельброта. Всего в этой брошюре около 50 цветных фотографий компьютерных и природных фракталов. На одной из фотографий мы видим широко известную мозаичную карту галактик.

Каждая из этих книг предназначена для своего круга читателей, в зависимости от их подготовки и интересов.

Луис К. Хантер и Линвуд Брайент. ИСТОРИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ США, 1780—1930. ТОМ 3: ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ
A HISTORY OF INDUSTRIAL POWER IN THE UNITED STATES, 1780—1930, VOL. 3: THE TRANSMISSION OF POWER, by Louis C. Hunter and Lynwood Bryant. The MIT Press, 1991 (\$ 50).

В 1860 г. в США почти половина всех промышленных товаров производилась в небольших цехах, в которых трудилось не более 10 человек, чья общая мощность не превышала 1 кВт. Мускульная сила людей, приложенная к ручным приводам, колесам и рычагам, приводила в движение механизмы, выполнявшие необходимые операции — шлифование, прес-

совку, резку и т. п. В этих небольших цехах еще не было источников энергии мощностью в несколько сот ватт (например, огромные швейные машины приводились в движение с помощью ножной педали). Главной же «движущей силой» была мускульная сила женщин мощностью, не достигавшей и 100 Вт на одну машину.

В 1875 г. журнал "Scientific American", выступавший за более широкое применение паровых машин в малом производстве, отмечал, что машин такого типа, дешевых и пригодных для небольших мастерских, на рынке попросту нет. Правда, в некоторых городах существовали «энергетические здания», где можно было арендовать рабочий участок, который обеспечивался энергией с помощью системы приводных ремней, подобно тому, как на крупных мельницах или фабриках водяное колесо или главный двигатель приводили во вращение тысячи шпинделей. О том, как выглядели механизмы передачи энергии в то время, можно судить по сделанному в 1878 г. снимку машинного зала Томаса Эдисона — такое впечатление, будто перед вами фантастический лес с густой кроной из шкивов, ремней и канатов. Потери энергии в таких конструкциях были слишком велики, а сами они — дорогостоящи и небезопасны. Использование же пара не было достаточно эффективным на том и другом конце «энергетического спектра» — ни на крупнейших предприятиях, размещавшихся на огромных площадях, ни в многочисленных мелких мастерских.

Но вот стали появляться новые «движущие механизмы». В 1876 г. немецкий конструктор Николаус Отто сконструировал 4-тактный газовый двигатель, топливом для которого служил газ, получаемый из угля. Хотя этот двигатель и получил довольно широкое распространение, он имел весьма существенные недостатки: с трудом заводился и медленно «набирал обороты». К 1890 г. нефть и газ обеспечивали в США лишь одну тысячную мощности для стационарных производств. Ветряные мельницы появились в стране хотя и с опозданием, но в большом количестве. Особенно много их было на Великих равнинах, где металлическая башня и ветряное колесо стали символом тех мест. Мощность ветряной мельницы составляла примерно 1 л. с. и они чаще всего использовались фермерами для качания воды.

Идея продажи энергии как товара высказывалась еще до появления технологии, которая позволила бы эту идею осуществить. Средства переда-

чи электроэнергии пока имели ограниченные возможности, хотя и были весьма многообещающими, поскольку использовали передающую среду, несравненно легче и быстрее приводимой ремней. В 1802 г. английский инженер Джозеф Брама планировал создать гидравлические линии высокого давления для выполнения «всех подъемных работ в лондонском мокром доке». Централизованные гидравлические силовые линии не достигли другого берега Атлантики, хотя в Великобритании они использовались в некоторых портах вплоть до 1920-х годов. Значительным успехом было изобретение пневматических силовых линий и пневматического инструмента, в частности отбойного молотка, существенно облегчившего труд шахтеров (хотя на открытых выработках конкурентом ему был паровой отбойный молоток, изобретенный Джоном Генри). В 1881 г. в Париже была введена в действие централизованная станция, обеспечивающая подачу сжатого воздуха, которая с успехом эксплуатировалась несколько десятилетий.

В 1882 г. Эдисон открыл в Нью-Йорке электростанцию постоянного тока, на которой шесть динамомашин мощностью 200 л. с., приводившиеся в действие паровыми двигателями, вырабатывали электроэнергию напряжением 110 в. Эта энергия превращалась затем в энергию световую в электрических лампах накаливания, созданных также Эдисоном. Эти лампы были более безопасными и удобными по сравнению с дуговыми лампами и газовыми фонарями. За два года Эдисон зажег 10 000 таких ламп в финансовом районе Манхэттена. Вырабатываемая станцией электроэнергия пока использовалась только для освещения.

Вскоре этот вид энергии нашел новое применение. В 1888 г. в Ричмонде (шт. Виргиния) был пущен первый трамвай, а через некоторое время сеть трамвайных дорог стала расширяться столь же быстро, как и сеть электроосветительная. Это была «быстрая революция... в городском транспорте». В 1893 г. трамваи ходили уже в 55 из 58 крупнейших городов США. В том же году толпы посетителей на всемирной выставке в Чикаго восхищались движущимися тротуарами, электрическими пусковыми устройствами и «мирадами электрических лампочек... чьи переливчатые лучи падали на сапфировые воды лагуны», как восторженно писал один из репортеров. К 1900 г. на Ниагаре уже работала гидроэлектростанция, а в Денфорд-Стейшн — крупная теплоэлектростанция на угле. На обеих

станциях использовались турбины переменного тока, ставшие основными элементами современных электростанций.

Однако колеса американской промышленности пока вращала не электроэнергия. В 1890-х годах появились электрические вентиляторы — первые бытовые электроприборы. Паровые двигатели, приводившие в действие промышленные машины с помощью ремней и шкивов, медленно сходили со сцены. Этому процессу содействовали не столько электрокомпании, сколько инженеры и производители электрооборудования. Поначалу на промышленных предприятиях вместо паровых двигателей стали применяться местные электросиловые установки. И лишь к 1919 г. общая мощность электромоторов (главным образом переменного тока), использовавшихся в американской промышленности, превысила мощность всех других видов двигателей.

Современная сеть гигантских энергопредприятий появилась к началу осуществления «нового курса». Эта сеть связывает огромное множество потребителей с менее многочисленной, но весьма разнообразной системой экономически координируемых источников электроэнергии; потребитель вряд ли знает, вырабатывается

следующий киловатт-час электроэнергии паром, водой или горячей газовой струей. Все это время происходило развитие технологии и эффективности энергетических систем. Сейчас уже нет необходимости создавать более крупные электрокомпании при столь высоком уровне их централизации.

Децентрализуют ли нас фотоэлектрические источники энергии? Вряд ли, если не будут созданы экономически эффективные местные накопители энергии. «Великая сеть» энергопредприятий будет по-прежнему доминировать, хотя ее возможности «выходят на плато».

Пять лет прошло с тех пор, как в этой рубрике была помещена рецензия на первые два больших тома Хантера, посвященных стационарным энергосистемам, использующим энергию воды (1 том) и пара (2 том). Жизнь автора оборвалась прежде, чем он успел завершить свою работу над 3 томом. «Следует надеяться, что эта замечательная работа найдет своего продолжателя.» Эта надежда сбылась. Третий том был завершен историком науки Линвудом Брайентом из Массачусетского технологического института, которому удалось сохранить замечательный стиль Хантера.

Наука и общество

Дейвид Балтимор:
Драматическое возвращение

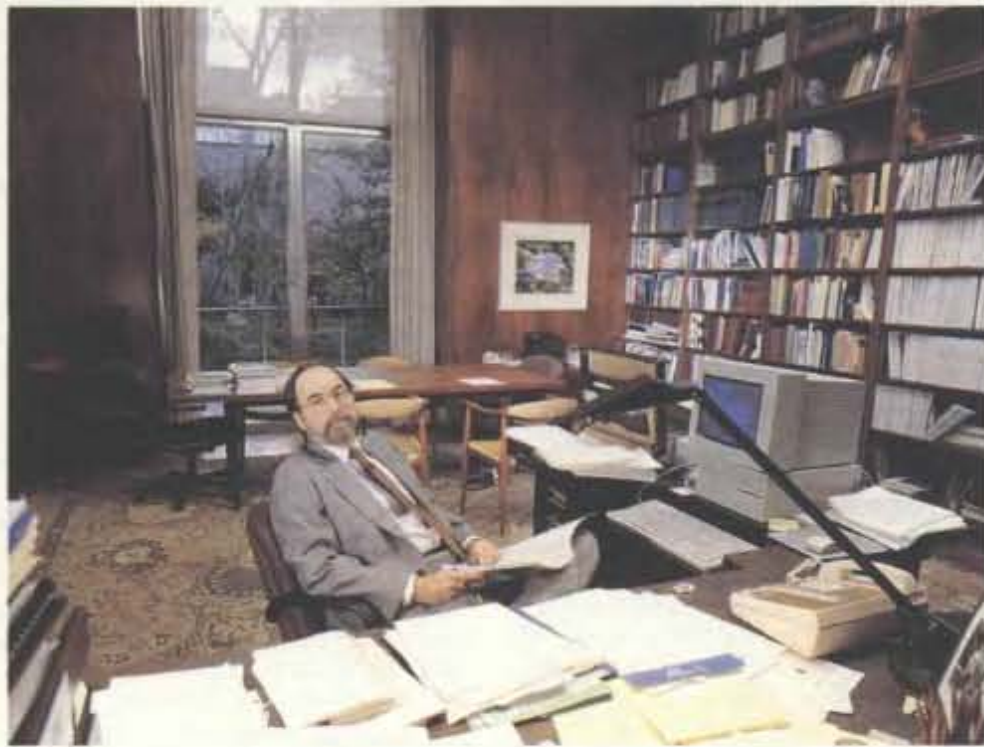
В 1990 г. Дейвид Балтимор занял пост президента Рокфеллеровского университета, что было для него в известной мере возвращением к родным пенатам. Его кабинетом стало то самое просторное помещение с высоким потолком, деревянными панелями и башнями книжных шкафов, перемежающихся 4,5-метровыми окнами, где в 1961 г. он, уже имея степень доктора философии, экзаменовался при поступлении в университет на стажировку. Но возвращение, которое могло бы быть триумфальным, окрасилось горечью конфликта. Упорные дебаты вокруг пренебрежительной ситуации с нарушением научной этики бросили тень на все, и, пробыв во главе университета год с небольшим, Балтимор в начале декабря 1991 г. подал в отставку.

В интервью, данном им в октябре незадолго до принятия решения об отставке, Балтимор сказал, что боролся с «запутанными проблемами». Расположившись в объемистом крес-

ле у огромного каменного камня, Балтимор чувствует себя неловко в роли одиночной фигуры в этом в высшей степени пристойном научном учреждении, где весьма сильны традиции коллегиальности.

Пространство кабинета с его современной интерпретацией готического стиля многое рассказывает о том, каким видел это место в мечтах Джон Д. Рокфеллер, когда в 1901 г. организовал уникальное «гнездо» для начинающих исследователей с высшим образованием. Рокфеллеровский университет предназначался для новейших медико-биологических исследований, и тот факт, что 19 его сотрудников удостоились Нобелевской премии, доказывает успешность такого элитарного подхода. Как и другие организации, Рокфеллеровский университет переживал и трудные времена, но, словно в семействе старинного рода, здесь держат такие перипетии за высокой оградой, окружающей его засаженную деревьями тенистую территорию.

Неловкость, испытываемая Балтимором, отражала непростое отноше-



ДЕЙВИД БАЛТИМОР. Его пребывание на посту президента Рокфеллеровского университета было отягощено упорным конфликтом из-за нарушения научной этики. (Фотография: Quesada/Burke.)

ние к нему со стороны сотрудников. Из них в 1990 г. две трети были против его назначения президентом. В октябре прошлого года лауреат Нобелевской премии нейрофизиолог Т. Визел, являющийся председателем ученого совета Рокфеллеровского университета, доложил совету попечителей, что оппозиция Балтимору возросла до 85%. Причиной решения последнего уйти в сторону было то, что, по его словам, оказалось невозможным достичь единства целей в университетском коллективе. В результате он почувствовал себя неспособным выполнить поставленные перед ним задачи. После ухода Балтимора временно исполняющим обязанности президента был немедленно назначен Визел.

Когда в 1989 г. попечители Рокфеллеровского университета впервые обратились к Балтимору, они надеялись, что в его лице на посту президента окажется «звезда» научного мира, человек, способный оживить учреждение, привлекая талантливую молодежь. И Балтимор, которому в ту пору был 51 год, представлялся, несомненно, идеальным кандидатом на такую роль. В возрасте 37 лет он получил Нобелевскую премию за открытие фермента, называемого обратной транскриптазой. Кроме того, ему принадлежит ряд крупных достижений в вирусологии и молекулярной иммунологии. Балтимор был директором Уайтхедовского института медико-биологических исследований

в Кембридже (шт. Массачусетс), и под его началом это учреждение в 1980-е годы завоевало международное признание. Но чего не предвидели попечители и особенно профессорский состав университета — так это того, что Балтимор не выберется из дискредитирующих дебатов по своему адресу, возникших по поводу научной статьи, опубликованной им в 1986 г. в журнале «Cell» вместе с коллегами, в том числе Д. Уивером из Медицинской школы Гарвардского университета и Т. Иманиши-Кари, которая в настоящее время работает в Университете Тафта. Согласно краткому сообщению о расследовании, проведенном Национальными институтами здоровья (НИЗ) и появившем в прессе в марте 1991 г., эта статья основывалась на фальсифицированных данных из лаборатории Иманиши-Кари в Массачусетском технологическом институте (МТИ).

До того, как обнаружилось доказательство, Балтимор отчаянно защищал свою коллегу. Он также протестовал против предпринятого конгрессменом от шт. Мичиган Дж. Дингеллом слушания дела на конгрессе, называя это провозвестником угрозы научным связям и свободе.

Однако события вынудили дать обратный ход. Когда были обнародованы доказательства против Иманиши-Кари, Балтимор официально снял свое имя со статьи и заявил, что защита — это ее личное дело. В открытом письме, опубликованном в жур-

нале «Nature», он сокрушенно признавал обязанность правительства осуществлять надзор за федерально субсидируемыми научными исследованиями. Балтимор также принес извинения М. О'Тулу, которая сыграла роль разоблачителя.

Однако на протяжении года напряженность усиливалась дальнейшими горячими публикациями в «Nature». В одном из своих выступлений, которое многими рассматривается как «просьба о прощении», Балтимор отверг обвинения О'Тула, которая утверждает, что начиная с 1986 г. он якобы знал о том, что статья базируется на несуществующих результатах неосуществленных экспериментов. Тогда почетный профессор Гарвардского университета биохимик П. Доти напал на Балтимора за вопиющие отступления от правил проведения научных исследований и публикации их результатов. Возмущенный, Балтимор в ответ писал, что «эти данные надежнее, чем в большинстве статей». Сотрудники Рокфеллеровского университета просто измучились от еженедельных публичных «кровавых» битв. Многие из тех, кто не был в оппозиции к Балтимору, откачнулись от него под впечатлением его неправильного поведения в сложившейся ситуации.

Дебаты раскололи биологов, но не уменьшили их уважения к Балтимору как к исследователю и учителю. «Он обладает почти сверхъестественной способностью правильно выбирать проблему», — говорит О. Уитт из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, работавший с Балтимором в конце 1970-х годов. Н. Розенберг (в настоящее время — сотрудник Университета Тафта) убежден, что в лаборатории Балтимора он получил великолепнейшую практику.

Увлечение Балтимора экспериментальной биологией обнаружилось рано — в 1955 г., когда он еще учился в школе. Его мать, психолог-экспериментатор, привила сыну интерес к физиологии. Юность его закончилась летним курсом биологических дисциплин в Джексонской лаборатории в Бар-Харборе (шт. Мэн). После этого, по словам Балтимора, дело пошло без оглядки. В Свартмор-колледже под влиянием преподавателей он заинтересовался молекулярной биологией и, следуя плану своей студенческой научной работы, осуществлявшейся под эгидой Национального научного фонда, принял участие в исследовательской программе в Колд-Спринг-Харборской лаборатории на Лонг-Айленде.

В конце 1950-х годов Колд-Спринг-

Харбор был меккой исследователей, занимавшихся бактериофагами (вирусами бактерий). Заканчивая МТИ, Балтимор в соответствии с программой должным образом экспериментировал с бактериофагами, но у него была одна «забавная» идея. Коль скоро с помощью бактериофагов удалось многое узнать в молекулярной биологии бактерий, то, быть может, вирусы животных сыграют такую же роль в изучении животных клеток? С целью овладеть знаниями о вирусах животных и методами их исследования Балтимор вернулся в Колд-Спринг-Харбор, где встретил вирусолога Р. Франклина из Рокфеллеровского университета, который изучал, каким образом вирусы заставляют клетки синтезировать вирусные РНК вместо клеточных. «Тут все и заладилось», — вспоминает Балтимор. Балтимор перешел в Рокфеллеровский университет и начал изучать мышечный вирус под названием менго. Вскоре ему удалось показать, что этот вирус подавляет клеточный фермент РНК-полимеразу, синтезирующий РНК.

Завершив работу над докторской диссертацией, Балтимор перешел в Солжковский институт в Ла-Хойя (шт. Калифорния), где взялся за изучение вируса полиомиелита. Работавший под его началом М. Джекобсон сделал поразительное открытие: оказалось, что в клетке, зараженной этим вирусом, образуется одна длинная молекула вирусного белка, которая позже «разрезается» на более мелкие. «Впоследствии эти факты вошли в мои представления о генетических системах», — отмечает Балтимор.

В 1968 г. Балтимор вернулся в МТИ со своей будущей женой А. Хуанг. Вместе они попытались выяснить, действует ли принцип, обнаруженный у вируса полиомиелита, у вируса везикулярного стоматита (VSV). Оказалось, что нет — у VSV генетическим материалом служила «минус»-цепь РНК, т. е. комплементарная нуклеотидной последовательности, кодирующей вирусные белки. «Я предположил, что вирус привносит в клетку полимеразы, синтезирующие комплементарную копию «минус»-цепи», — рассказывает Балтимор. Он подтвердил это свое предположение и задался вопросом, нет ли таких полимераз у других вирусов.

В поисках ответа Балтимор изучал вирусы, вызывающие опухоли у животных. Ему удалось доказать, что эти вирусы содержат фермент, способный синтезировать ДНК, используя в качестве матрицы РНК. Тем самым, казалось, опровергалась центральная «догма» молекулярной био-

логии, а именно, что поток информации направлен в одну сторону ДНК → РНК → белок. Обнаруженный Балтимором фермент осуществлял обратную транскрипцию. Это привнесло Балтимору в 1975 г. Нобелевскую премию, которую он разделил с Г. Темингом из Висконсинского университета, сделавшим то же открытие независимо. Обратная транскриптаза теперь считается характерной чертой ретровирусов, включая вирус иммунодефицита человека, вызывающий СПИД.

После этого деятельность Балтимора разветвилась в несколько других областей; в то же время он продолжал активно интересоваться вирусом полиомиелита и выяснять механизм обратной транскрипции.

Присущий Балтимору дар управления исследованиями нашел признание, когда промышленник Э. Уайтхед пригласил его принять участие в организации и стать директором нового института медико-биологических исследований, ныне носящего имя Уайтхеда. Балтимор, не желая ограничивать свое поле деятельности административной работой, продолжал руководить исследованиями в ряде областей. Он считает тот период одним из самых плодотворных в своей жизни.

Так, важным прорывом была идентификация белка, обозначаемого NF-κB, который связывается с ДНК и инициирует ее транскрипцию — образование матричной РНК. А в последние два года Балтимор и Д. Шатц, сейчас работающий в Йельском университете, выделили гены RAG-1 и RAG-2, которые, по видимому, ответственны за перестройку сегментов генов, кодирующих антитела.

В Рокфеллеровском университете деятельность Балтимора с самого начала оказалась переполнена президентскими обязанностями, вынудившими ограничить себя в исследовательской работе. Это его не устраивало. Балтимор решительно набрал новый административный персонал, реформировал университетские финансы и придал неполномочному профессорскому составу большее право голоса в решении университетских дел. Более того, позиции Балтимора укрепились в октябре прошлого года, когда Д. Рокфеллер дал университету 20 млн долл., заявив, что это отражает его абсолютное доверие руководству Балтимора. Дар Рокфеллера — первая ласточка в кампании, которая должна принести университету к концу десятилетия 250 млн долл.

Профессора и попечители надеялись, что Балтимор сумеет удержать

приток финансовых средств на уровне 20 млн долл. в год, а также омолодить стареющий коллектив. Дело не в нехватке места: половина штатных должностей занята людьми старше 60 лет и постройка нового лабораторного здания почти завершена. Президент Балтимор рассчитывал сделать как минимум десять новых должностных назначений в ближайшие два года.

Однако поговаривали, что эти намерения Балтимора скомпенсируются «отступничеством». В прошлом году два выдающихся сотрудника, Э. Серами и Дж. Эдельман, объявили о своем намерении уйти из университета. Еще некоторые университетские звезды тоже ведут переговоры с другими учреждениями. Но Балтимор не считает нужным волноваться на сей счет, подчеркивая, что некоторая текучесть кадров — явление нормальное. Что касается Серами и Эдельмана, то они получили необычайно привлекательные предложения.

Даже обсуждая свои планы о будущем Рокфеллеровского университета, Балтимор в октябре 1991 г. казался менее уверенным в себе, чем был три года назад, когда стал мишенью расследования, устроенного Дингеллом. Когда Балтимор говорит о пресловутой статье в «Cell», его голос делается едва слышимым. Он признает, что главным было отсутствие четких лабораторных записей. Год назад, принося извинения О'Тулу, он публично поручился защищать и «разоблачителей», и исследователей, обвиненных в неправильных действиях. В Рокфеллеровском университете он предпринял шаги с целью вести «справедливый и открыто признанный» механизм рассмотрения жалоб. Сейчас обсуждается предложение назначить правительство лицо для анализа заявлений о неправильном ведении научных исследований.

«Думаю, у меня начали развиваться более тесные отношения с профессорским составом», — говорил Балтимор; тщательно подбирая слова, за несколько недель до отставки. — Я верю, что со временем отношения с большинством сотрудников станут более приемлемыми. Его принятое в декабре решение о том, что для достижения этой цели лучше сложить с себя президентские полномочия, скорее всего благосклонно — хотя, может быть, и с сожалением — будет принято в университете. «Немалое беспокойство у многих вызывает то, что конфликт Дейвида с организованной Дингеллом комиссией, по всей видимости, далеко не исчерпан», — замечает один из руководящих со-

трудников университета, пожелавший остаться неназванным.

Отказ от президентства, хотя и кажется для Балтимора шагом назад, освободит его исследовательские таланты. Балтимор останется членом университетского коллектива. Теперь он намерен возобновить изучение вируса иммунодефицита человека, которое вынужден был отложить, находясь на посту президента. Наверное, и для университета в целом неприятный период мучительного конфликта пришел к своему концу.

Тим Бердсли

Сильнее с каждым днем

«СЕЙЧАС в биологии происходит переворот», — так в начале 80-х годов, когда происходил биотехнологический бум возвестил П. Фарли, основатель и затем президент компании Cetus Corporation. Ученые в белых халатах совершали прорыв за прорывом, капитал стремительно потек в новые предприятия, и общественные фонды буквально проглатывались предприимчивыми инвесторами. Основатель новой фирмы

Genentech Р. Свенсон, которому в ту пору было едва за тридцать, для многих стал образцом. Он поклялся к 1990 г. создать компанию-миллиардер.

Однако эта фирма, на счету которой получение первого лекарственного препарата на основе клонирования соответствующего гена — человеческого инсулина (с этим продуктом Genentech вышла на рынок), а также тканевого активатора плазминогена (ТРА), растворяющего тромбы в сердечно-сосудистой системе, ознаменовала начало нового десятилетия тем, что продала контрольный пакет акций компании Hoffman-La Roche. А фирме Cetus, разработавшей технологию получения больших количеств ДНК из коротких одноцепочечных фрагментов, так и не удалось пробиться на рынок США с каким-нибудь продуктом. Этого «кита» летом 1991 г. проглотила ничем не выделявшаяся фирма Chiron, которая образовалась на 10 лет позже.

Корпорация Genetics Institute, Inc., многими уважаемая за разработку лучшей продукции в своей области, проиграла патентную борьбу конку-

рентам и осенью 1991 г. полностью сдалась на милость победителя — фирмы American Home Products. Список баталий продолжает расти, но биотехнология не сдает свои позиции. ТРА, производимый Genentech, за 1990 г. принес 210 млн. долл. прибыли. И хотя объем его продажи упал вследствие появления других препаратов — более дешевых, но почти столь же эффективных, — ТРА вызвал целый каскад исследований вокруг проблемы свертывания крови.

Фирма Cetus, возможно, и не извлекла всей возможной прибыли из полимеразной цепной реакции, но метод на ее основе революционизировал как диагностику, так и фундаментальные исследования. С 1982 г., когда рекомбинантный человеческий инсулин получил официальное одобрение, Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) одобрило более 15 «биотехнологических» фармацевтических продуктов и еще 120 ждут своей очереди на рассмотрение. По всей стране ведутся более 800 клинических испытаний лекарственных препаратов, полученных путем биотехнологии.

При всех провалах и колебаниях в первом поколении новых фирм, взявших на вооружение биотехнологию, несомненно, будут достигнуты выдающиеся успехи. Например, корпорация Amgen, капитал которой оценивается в 7,7 млн. долл., стала уже крупнее старой фармацевтической компании Schering-Plough. По данным анализа финансового состояния фирм ожидается, что в 1991 г. эта компания войдет в число 500 наиболее успешных, главным образом за счет доходов от продажи эритропоэтина (ЕРО), усиливающего образование эритроцитов, и колониестимулирующего фактора гранулоцитов под коммерческим названием Neupogen.

Amgen посвятила себя разработке ЕРО, в то время как другие биотехнологические компании сосредоточили свои усилия на получении путем генетической инженерии гормонов, эффективных для лечения той или иной болезни (например, гормона роста). В 1989 г. ЕРО был одобрен FDA в качестве средства для лечения анемии, возникающей в результате диализа почек (до того единственным выходом было переливание крови); с тех пор он принес Amgen более 660 млн. долл. «Нужно стремиться получить что-то новое иначе, чем другие, — подчеркивает почетный председатель Amgen (один из ее прежних руководителей) Дж. Ратманн. — Быть первым окупается».

Ратманн последовал собственному

совету «отделяйся и новаторствуй» и в сентябре 1989 г. принял участие в создании корпорации ICOS. Повторив ключевую тактику корпорации Amgen — уже на ранних этапах деятельности добыть как можно больше финансовых средств, — ICOS собрала 33 млн. долл. от состоятельных индивидуальных вкладчиков еще до того, как была сформирована вся рабочая «команда», что произошло годом позже. В июне 1991 г. общественные пожертвования принесли еще 36 млн. долл. Благодаря этим финансовым операциям — и человеческим генам, участвующим в передаче клеточных сигналов, — корпорация укрепила свои позиции в торговле с потенциальными партнерами. Фирма Glaxo присоединилась к ICOS в разработке лекарств от таких заболеваний, как артрит, астма и рассеянный склероз. Эти две компании выступают на рынке со своим совместно разработанным продуктом.

Корпорация ICOS — лишь один из примеров биотехнологических фирм нового поколения, намеренных создавать лекарственные препараты по тем медицинским показаниям, когда недействительны или неприменимы традиционные методы лечения. В прошлом году начальные общественные пожертвования на деятельность примерно 35 компаний, причисленных экспертами к так называемой «Группе 91», были собраны в сумме более миллиарда долларов, вложенных инвесторами. Это был удачный год в финансировании биотехнологии, ознаменовавший прекращение недостатка капиталовложений, наблюдавшегося в конце 80-х годов, как с восторгом отметил Дж. Каслин, занимающийся анализом финансового положения промышленных фирм для компании Orpenheimer & Co. в Нью-Йорке. Он подчеркивает, что компании «Группы 91» начинают «вращаться в обществе» с гораздо лучшим финансовым обеспечением, чем их предшественники.

Новые фирмы планируют разрабатывать высокоспецифичные терапевтические средства для раковых, вирусных, сердечно-сосудистых и аутоиммунных заболеваний, а также аллергических состояний и дегенеративных неврологических расстройств. Эти изыскания не ограничены белками — используются пептиды, углеводы, липиды, ферменты и, кроме того, препараты, полученные обычными методами фармацевтической химии, но улучшенные с помощью молекулярно-биологических подходов. Некоторые компании надеются использовать для борьбы с болезнями блокирование генной экспрессии ан-

Новые цели для новых фирм

Метод антисмысловых ДНК/РНК

Антисмысловые олигонуклеотиды, связываясь с ДНК или матричными РНК, блокируют экспрессию генов, обуславливающих раковые, а также инфекционные, воспалительные и сердечно-сосудистые заболевания. Их первоначальной мишенью были вирусы, такие, как герпес.

Разработчики: Isis, Gilead Sciences, Genetic Medicine, Triplex

Аутоиммунные расстройства

Вместо подавления всей иммунной системы возможна инактивация определенных групп клеток или блокирование событий, вызывающих в организме аутоиммунный ответ. Этот подход может привести к разработке методов лечения таких заболеваний, как ревматоидный артрит, рассеянный склероз, СПИД, а также некоторых аллергических состояний.

Разработчики: Anergen, IDEC, ImmuLogic, Vertex

Молекулы клеточной адгезии

К их числу относятся лиганды рецепторов клеточной поверхности, играющие ключевую роль в инициации ряда биологических процессов, в том числе воспаления. Лекарственные препараты, блокирующие эти ворота молекулярных путей, могут лечить артрит, сердечно-сосудистые заболевания, псориаз и сепсис.

Разработчики: ICOS, COR, Cytel, Glycomed

Расстройства центральной нервной системы

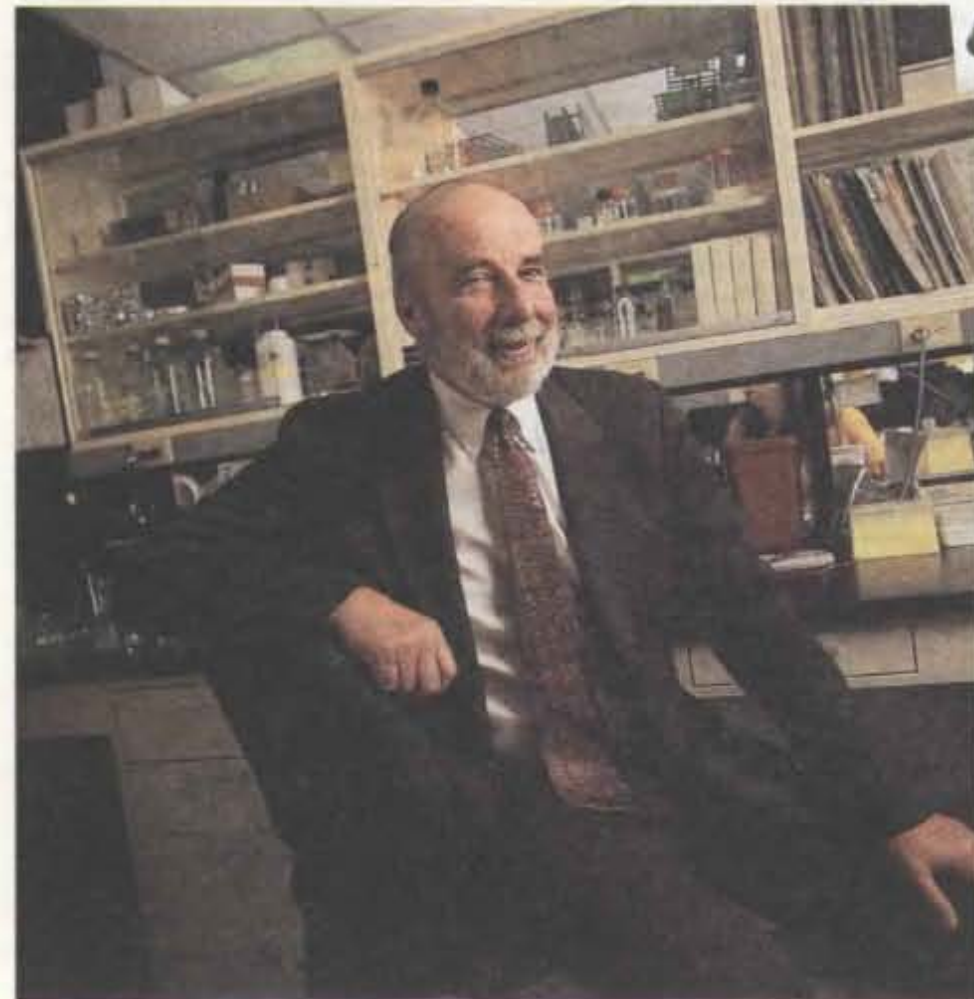
Разрабатываются защитные соединения и факторы роста в формах, способных проникать через гемато-энцефалический барьер. Эти препараты могут быть эффективны при травмах головного и спинного мозга, инсульте и дегенеративных процессах, таких как болезнь Альцгеймера.

Разработчики: Alkermes, Cambridge NeuroScience, Cephalon, Regeneron

Терапия ex vivo

Клетки крови или спинного мозга пациента отбираются при помощи специального оборудования, генетически модифицируются или стимулируются и затем вводятся обратно в организм. Этот подход позволяет лечить некоторые раковые заболевания, ферментную недостаточность и ряд наследственных нарушений.

Разработчики: Applied Immune Sciences, CellPro, Genetic Therapy



ДЖОРДЖ РАТМАНН принес успех корпорации Amgen, разрабатывая стимуляторы клеток крови, и намерен так же «осчастливить» корпорацию ICOS противовоспалительными препаратами. (Фотография Р. Жандро.)

тисмысловыми ДНК или РНК.

Судя по тому, какая продукция стоит на очереди, остался позади этап, который Дж. Винсент из фирмы Biogen назвал фазой «сбора вишен», когда плоды зреют на дереве до тех пор, пока их не соберут. Теперь, по его словам, фаза «сбора бананов», когда плоды собирают зелеными, т.е. необходимо «застолбить» лекарство задолго до его готовности.

Молодые фирмы по сравнению с компаниями первой волны, похоже, отличаются большей сообразительностью, когда доходит до отбора перспективных продуктов, — таково мнение исполнительного вице-президента и директора по исследовательской деятельности фирмы Vector Securities П. Дрейка, который был одним из первых экспертов по финансовым вопросам, рекомендовавших вкладывать деньги в биотехнологию. Сейчас компании делают выбор на

основе информации об оценке производственных затрат и экономии масштаба, а также о потенциальных способах введения лекарства в организм человека; кроме того, рассматриваются проблема патентования производственного процесса и вопрос об оптимальности терапевтической активности препарата. Но, как отмечает Дрейк, ни один из этих аспектов, вообще говоря, не влияет на решение судьбы первых продуктов.

Необходимость ориентироваться на стратегию корпорации в целом означает, разумеется, что некоторые проекты в рамках одной компании придется положить «в долгий ящик», если, конечно, какой-нибудь отчаявшийся ученый не решит опубликовать и не начнет разрабатывать идею где-нибудь еще. «Так всегда бывает в индустрии здоровья», — поясняет С. Дьюзан из корпорации Immunex в Сизтле. Например, он был

свидетелем того, что один из основателей этой компании, К. Хенни, ушел оттуда, чтобы по соседству, в Ботелле (шт. Вашингтон), участвовать в создании корпорации ICOS. В таких ситуациях, как говорит Дьюзан, никто не имеет намерения вынести идею «из избы», чтобы стать непосредственным конкурентом. Просто человеку нравится то, что он придумал, и ему хочется попытаться осуществить свою идею, а где — не так уж важно.

Молодым компаниям свойственней, чем прежде, стиль управления, за которым пристально наблюдают эксперты. Появилось новое поколение ведущих специалистов — в их числе, например, Дж. Кранцлер из фирмы Cytel, М. Риордан из Gilead Sciences, Р. Попс из Alkermes и М. Голдберг из Clinical Technologies Associates, — всем им лет по 30—35, — которые гордятся тем, что имеют опыт нескольких лет работы в банковском деле или финансовых службах. В отличие от многих ранее образовавшихся компаний, основателями которых были люди из среды ученых, вовсе не имевшие опыта в предпринимательстве, или бывшие руководители фармацевтических компаний, главные сотрудники фирм нового поколения не чувствуют себя обязанными развивать традиционные организационные отношения. Но они также не могут опереться на личный опыт коммерциализации научных достижений, которого у них просто нет. Как предостерегают критики, FDA — это не Комиссия по ценным бумагам и биржам.

Критерии одобрения лекарственного препарата в FDA тоже меняются. «Из-за общественного давления в сторону реформ здравоохранения официальное одобрение новых лекарств все меньше определяется вопросами безопасности и эффективности, а все больше — экономическими факторами», — отмечает один из директоров фирмы Ernst & Young, ответственный за производственные процессы и технологии. Для решения FDA важно также, каким способом лекарство вводится в организм, окупается ли его применение, какое качество жизни оно обеспечивает. Выгода ожидает те компании, которые могут доказать, что их препараты экономичны, поскольку сокращают период госпитализации больного или возвращают ему годы продуктивной жизни.

Часто с тяжелым вздохом говорят о том, что несовершенство и запутанная система патентования и в дальнейшем будет мешать промышленности. Ранее спорили, является ли белок с заменой одной аминокислоты новым продуктом; эти споры дол-

жны идти на убыль по мере того, как будут создаваться более мелкие и специфичные молекулы. Однако столкновение прав, обещанных патентами, выданными в разных странах, наверняка вызовут скверную дорогостоящую борьбу в международном масштабе.

Патентование приобретает все большее значение по мере того, как белковая инженерия и другие передовые технологии становятся все более обычными. В ситуации, когда информация может быть передана конкурентам через весь земной шар за несколько секунд, коммерческие секреты становятся весьма иллюзорными. «Надо, чтобы изобретатели вознаграждались, — заявляет Дж. Ратманн, — так чтобы склонные ждать, пока кто-нибудь еще что-то сделает, начали думать в ином направлении. Путем копирования нельзя создать ничего хорошего. Ничто не должно удерживать от новаторства».

Дебора Эриксон

Оправдано ли сближение науки и производства?

«Человек, ставший сторонником новой парадигмы на раннем этапе ее развития, должен... верить в успех этой парадигмы...»

Что-то должно заставить хотя бы нескольких ученых почувствовать, что та или иная новая идея принесет успех, и иногда только какие-то личные и не совсем осознанные эстетические соображения могут породить такие чувства».

Томас С. Кун,

«Структура научных революций»

ЛЕТНИМ вечером, когда в AT&T Bell Laboratories в Муррей-Хилле (шт. Нью-Джерси) большинство помещений уже опустело, Генрик Темкин провожает посетителя по длинному бетонному коридору, по которому годами вышагивали выдающиеся американские ученые, в лабораторию, сплошь заставленную приборами. Здесь работает установка для нанесения на полупроводниковый кристалл металлоорганических покрытий методом осаждения из газовой фазы. Она напыляет на кристалл слои других полупроводников, каждый толщиной лишь в несколько атомов.

Благодаря созданию экзотических структур на таких установках Темкин завоевал завидную репутацию среди научной элиты. Однако с ноября 1990 г. он связал свою научную деятельность с более скромной, хотя и более прагматичной целью: усовер-

шенствование технологии изготовления определенного типа полупроводниковых лазеров. Темкин не публикует статей и не выступает с лекциями по этой работе. Тем не менее одна из групп разработчиков фирмы AT&T уже применяет его идеи в условиях производства.

Хотя этот проект еще не закончен, он уже вызвал удовлетворение одних и разочарование других коллег Темкина по причинам, которые вообще не касаются качества выполненной им работы. Этот проект лежит в основе предполагаемых изменений, о которых постоянно говорят в главном подразделении Bell Laboratories — так называемой исследовательской группе зоны II, в которой появились на свет транзистор, лазер и другие изобретения, уровня Нобелевской премии. Сейчас в Bell Laboratories меняется сама цель проведения исследований.

Задача реорганизации и изменения концепции исследований легла в основном на плечи Арно А. Пенциаз, вице-президента исследовательского центра, который получил Нобелевскую премию за участие в открытии фонового космического излучения. Более года назад Пенциаз предпринял коренную реорганизацию исследовательских отделов в Bell Laboratories. Ближайшей целью этой реорганизации было уменьшение дублирующих друг друга научных исследований, кроме того, ставилась задача более тесно связать ученых, таких, как Темкин, с инженерами и разработчиками фирмы AT&T, работающими в производственных подразделениях.

Более важным обстоятельством, однако, была необходимость в отказе в Bell Laboratories, этом центре американских научно-технических исследований, от той парадигмы исследований, которая устойчиво культивировалась на протяжении последних десятилетий. В период после второй мировой войны ученые Bell Laboratories и производственный персонал фирмы AT&T с большим комфортом существовали раздельно друг от друга. Фирма AT&T испытывала родительскую гордость за свой исследовательский центр, хвастаясь его научным потенциалом в своей рекламе и в ежегодных отчетах. Исследователи в свою очередь верили в то, что их задача заключается в расширении границ научного познания — возможно, для преуспевания фирмы, но в основном просто для развития науки.

Такая модель глубоко исследовательской лаборатории, существующей внутри огромной процветающей фирмы, по-видимому, больше не будет работать. Причины этого столь же унылы, как и передовницы любой

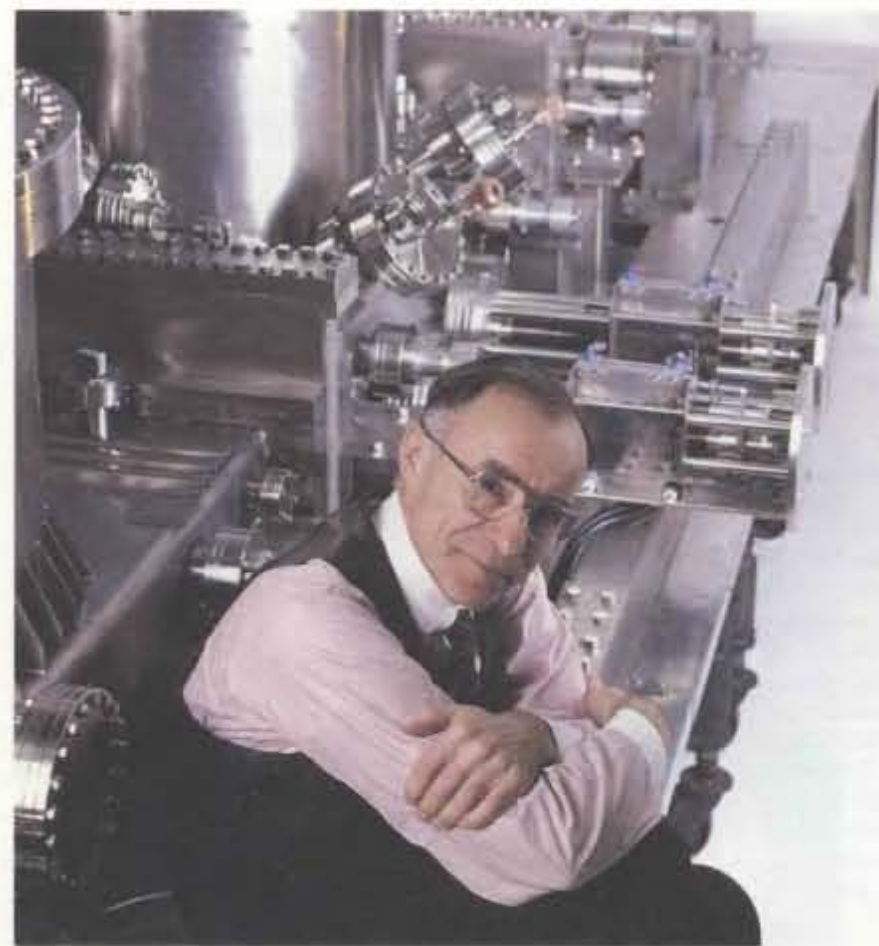
газеты. Американские технологические компании — от таких гигантов, как IBM и AT&T, до более скромных фирм — находятся в состоянии кризиса. Их рыночные акции падают под нажимом иностранных конкурентов. Цены на все — начиная от основного оборудования и кончая медицинской страховкой для сотрудников — быстро поднимаются. Изделия слишком медленно продвигаются из лабораторий в производственные цеха. В результате, как заявляет Пенциаз, перемены в Bell Laboratories сильно запаздали. Он говорит, что в следующие пять лет «вопрос будет состоять не в том, будет ли у нас хорошая наука или нет, а в том, собирается ли компания сохранить свою жизнеспособность или нет?»

Поиск новой парадигмы, или новых методов структурной организации исследований и способов их проведения, все еще находится в начальной стадии. По этой причине Пенциаз и другие руководители фирмы сейчас ломают голову над вопросами, которые поставили в тупик десятки американских производственно-исследовательских групп за последнее десятилетие:

Что является целью научных исследований в производственной компании? Почему корпорация должна финансировать фундаментальные научные исследования, которые не приносят ей сиюминутных выгод? Могут ли работы исследователей служить развитию науки и одновременно содействовать процветанию финансирующей их корпорации?

«Я не знаю, как это сделать наилучшим образом, и я не знаю никого, кто бы знал, как это лучше всего сделать, — откровенно признается Пенциаз. — Если бы мне было известно где это знают, я бы отправился туда и попытался бы получить нужную мне информацию». Тем не менее Пенциаз уже наметил определенный курс. Проекты, подобные работе Темкина, могут помочь ему в ориентации на этот курс и даже оказаться своеобразным доказательством целесообразности новой модели или ее бесплодности.

Тем временем курс на перемены уже психологически давит на многих исследователей фирмы, которые пока не верят в новые направления. Многие интересуются, будет ли создающаяся структура и впредь подкармливать фундаментальные исследования, например в области физики твердого тела и в области материаловедения. И где, как не в Bell Laboratories, спрашивают они, могут проводиться такие исследования? «Я чувствую себя как вымирающий вид», — сокрушается Алан Хуайг, ветеран исследовательского центра с десятилетним ста-



АРНО А. ПЕНЦИАЗ, вице-президент, ответственный за исследования в научном центре Bell Laboratories, должен сохранить высокий уровень научных работ и одновременно сделать так, чтобы эти работы были самоокупаемыми. Фотография Л. Сихойса, фирма Matrix.

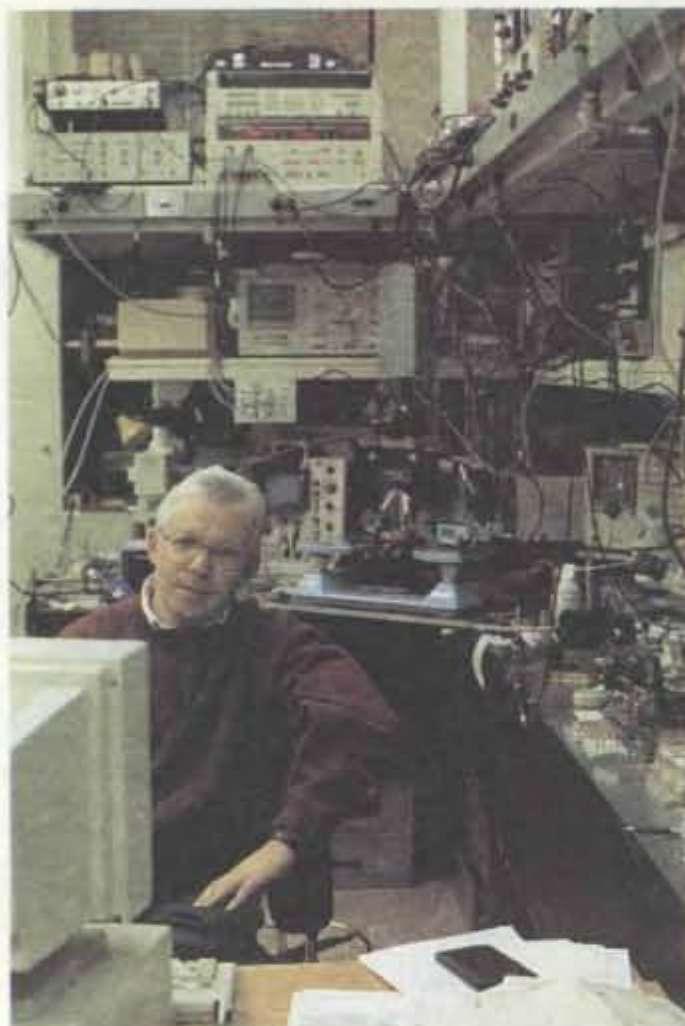
жем и признанный лидер в области оптической связи. «Как владелец акций AT&T я могу понять, почему проводятся все эти изменения. Но как американский налогоплательщик, я не могу понять, зачем они нужны, — говорит он. — Это происходит не только в AT&T. США подошли близко еще к одной интеллектуальной «пропасти», еще к одному мрачному периоду развития науки».

«Наш мир уже перестал быть таким комфортным, каким он был раньше, — говорит Пенциаз и, указывая на расположенный рядом магнитофон, добавляет: — Основная проблема состоит в том, что он не был сделан в Кливленде. В этом приборе воплощены результаты исследований, выполненных за пределами США. Кто виноват в этом? Вы можете сказать, что частично это и моя вина, поскольку я был руководителем исследований и сам занимался ими в течение тридцати последних лет».

Пенциаз видит проблему в том, чтобы найти способ ускорить внедрение результатов научных разработок в производство и в то же время сохранить ту атмосферу, которая обеспечила многие выдающиеся успехи в фун-

даментальных исследованиях, включая то, за которое он сам был удостоен Нобелевской премии. Проведенные им структурные изменения были относительно просты: он устранил дублирование научных работ, объединив их в 15 лабораториях, составляющих четыре отдела. В последний год он начал смещать чашу весов финансирования с дорогостоящих работ, дающих относительно незначительные результаты, например в области фундаментальной физики и материаловедения, на более прибыльные работы по программированию и обработке информации.

Наконец, что весьма важно, Пенциаз примерно половину из своих 1200 сотрудников подвел к мысли о необходимости поддержать проекты по созданию предпринимательских подразделений. Фирма AT&T создала такие подразделения примерно два года назад, собрав в них вместе инженеров и коммерческих работников по определенным прикладным направлениям, таким, как системы передачи информации и услуги связи, предоставляемые потребителям. Пенциаз в свою очередь назначил каждого из 19 директоров лабораторий руководите-



УЧЕНЫЙ ГЕНРИК ТЕМКИН в настоящее время работает над усовершенствованием процесса изготовления специальных лазеров. Фотография Дж. Голтса.

лем одного предпринимательского подразделения.

Эти директора исследовательских лабораторий должны всячески содействовать совместной работе ученых Bell Laboratories и сотрудников предпринимательских подразделений. «В прошлые годы я нанимал сюда людей, давал им лабораторию и бланки для заказов и говорил — делайте, что хотите, — говорит Пенциаз. — Сейчас мы используем ту же традицию свободы, но по-иному. Мы доверяем нашим исследователям и даем им возможность устанавливать связи с организациями-разработчиками». К настоящему времени уже родилось от 100 до 200 совместных проектов.

Такой тип взаимоотношений означает радикальное изменение по сравнению с теми временами, когда исследования и практические разработки проводились независимо друг от друга. Поль А. Флеури, руководитель лаборатории физических исследований, говорит, что воспоминания о прошлом — это синдром «страны грез»; тогда жила вера, что если наука сделала какое-то открытие, то оно не-

применно будет воплощено на практике. «Мы считали свою работу законченной после того, как публиковали статью о ней», — замечает он.

Однако гораздо более сложным по сравнению с реорганизацией структуры было формирование нового сознания в умах тех, кто работал в Bell Laboratories, — произвести переоценку ценностей, ввести иную шкалу приоритетов и систему поощрений. В наиболее тяжелом положении в период адаптации оказались ученые, которые не смогли установить связь с каким-нибудь предпринимательским подразделением. Они (и их руководители) должны выделить из своих научных направлений те, которые с полным правом можно заложить в «базу знаний» и когда-нибудь они понадобятся AT&T, и те, что не отвечают этому условию. Для многих из этой группы ученых попытки провести границу между теми и другими исследованиями напоминают игру в прятки на минном поле.

Так, на протяжении примерно последних шести лет Хуанг упорно и энергично работал над одной пробле-

мой. Он намеревался построить полностью оптический компьютер, в котором по проводам передавались бы не электроны, а фотоны. Его идеи встречали откровенное восхищение одних и полное неприятие со стороны других специалистов в электрооптике, большинство из которых считают, что более разумный подход заключается в создании гибридного компьютера, использующего оптические и электронные цепи.

В своем стремлении создать оптический компьютер Хуанг и возглавляемая им группа из шести ученых все же добились некоторых заметных успехов. Они сыграли важную роль в изобретении матрицы микролазеров, так называемых поверхностно-излучающих лазеров (см. статью: Джемелл Дж., Харбисон Дж. и Шерер А. Микролазеры, «В мире науки», 1992, № 1). Они помогли использовать технологию изготовления интегральных схем для производства крошечных матриц оптических линз и создали первые полностью оптические логические вентили. «Так что, хотя мы работали над созданием оптического компьютера, нам все же удалось сделать такие вещи, которые сами по себе имеют самостоятельную значимость», — заявил Хуанг.

Однако реорганизация в Bell Laboratories охладила интерес к исследованиям Хуанга. «Хуанг с его идеями — это прекрасно, — считает В. Бринкман, ответственный директор отдела физических исследований. Однако не следует уделять им слишком много внимания, поскольку бизнес сейчас — это самое главное».

Раньше Хуангу достаточно было только попытаться начать исследования в новом направлении, каким является оптическая обработка информации, и он получал поддержку и деньги в Bell Laboratories; сейчас вопрос ставится иначе: может ли его группа принести какой-то доход фирме. «Указания весьма расплывчаты, — говорит Кристина Габриэль, одна из сотрудниц в группе Хуанга. — Если компания хочет руководить нами, то мы будем двигаться в определенном направлении. Но мы слышим только: «Продолжайте работу — но с меньшими расходами». А может быть, нас вообще прикроют».

Неопределенность и напряженность новой атмосферы чувствуются даже в такой показательной работе центра по объединению ученых с разработчиками, какой является работа группы Темкина, занимающейся улучшением технологии производства специальных лазеров. Этот проект начал формироваться, когда микроэлектронному заводу фирмы AT&T

в Ридинге (шт. Пенсильвания) понадобилась помощь в разработке технологии изготовления полупроводниковых лазеров, которые могли бы работать при очень высоких температурах.

После многочисленных переговоров Темкин и его коллеги разработали двухэтапный подход к этой проблеме. В одной из комнат в Bell Laboratories Темкин и Ральф Логан на оборудовании, которым они пользуются уже многие годы, изготавливают партии миниатюрных лазерных кристаллов, проверяя десятки комбинаций различных условий проведения технологического процесса. Напротив по коридору установлено новое оборудование, полностью идентичное тому, которое используется на заводе в Пенсильвании для производства гораздо больших по размерам промышленных лазерных кристаллов.

Когда Темкин и Логан, работая на экспериментальном оборудовании, приходят к определенным выводам, они пересекают коридор и проверяют свои идеи на большой промышленной установке. В случае успеха эти процессы затем внедряются на заводе в Пенсильвании.

Темкин, как ни странно, пришел к выводу, что прогресс во взаимосвязи на уровне руководства научно-исследовательских отделов происходит с гораздо большими трудностями, чем обсуждение различных деталей с коллегами из производственных служб. «У нас такая структура, в которой инженерная работа (в смысле как противоположность научной) вообще не понимается, и в то же время считается, что она составляет важнейшую часть моей деятельности!» — восклицает он. Однажды управляющий спросил его: «Ты все еще занимаешься этой чепуховой работенкой?» Но в конце концов, как говорит Темкин, «он все же понял, что иногда нужно делать и такую чепуху».

Темкин также интересуется, как он и его коллеги из научно-исследовательских отделов будут поощряться за проявленные усилия. В научных отделах, указывает он, почти не принято как-то торжественно отмечать коммерческое освоение результатов проведенных исследований. «В прошлом наши сотрудники считали, что прикладные работы не поощряются достаточно хорошо», — говорит Темкин. Вместо этого премии и высокие оклады, а также моральные поощрения, способствующие повышению репутации, были связаны с такими показателями, как количество статей, опубликованных в престижных уважаемых журналах, и количество приглашений выступить с докла-

дом на научной конференции. «Так что проблема заключается в том, как поступать с тем сотрудником, который занимается прикладной задачей и годами ничего не публикует», — указывает он.

Таковыми вопросами лишь начинается длинный перечень проблем, с которыми сейчас столкнулось руководство Bell Laboratories и к которым оно оказалось практически неподготовленным. Двадцать лет назад, вспоминает Флеури, основным критерием для выдвижения на руководящую должность была просто научная эрудиция. «Подготовка руководителей заканчивалась в прослушивании в течение нескольких дней курса по административному управлению и обучению работе с людьми», — вспоминает он.

Сейчас для работы руководителем требуется обладать чем-то вроде прибора ночного видения. По словам Пенциаза, работа руководителя среднего уровня — это сплошной кошмар. «Мир, с которым взаимодействует руководитель, изменился достаточно сильно. Все законы стали другими», — говорит он. Перед началом перестройки в AT&T над каждым молодым руководителем отдела стояла пятиуровневая иерархическая структура, и каждый руководитель был научным лидером в своей области. «Сейчас руководители отделов работают на бизнесменов», — заявляет Пенциаз.

Теперь руководители обнаружили, что им постоянно следует «сматривать во все стороны», подыскивая возможные связи с производством, где бы они могли реализовать результаты своих научных работ. Было время, когда кто-то вдруг проявлял к вашим результатам интерес, и вы передавали ему свою работу. Сегодня люди буквально насаждают на вас», — говорит Пенциаз.

Управляющие Bell Laboratories также по горло заняты сейчас еще одной очень деликатной проблемой — изменением взаимоотношений между ведущими учеными («звездами») и рядовыми сотрудниками. На протяжении десятилетий, как указывает Поль Генри, директор исследовательской лаборатории по системам связи, в Bell Laboratories всячески потворствовали звездам. На работу принимались самые способные молодые ученые, и таким образом здесь образовалась каста непримиримо соперничающих друг с другом научных браминов. Их научное самознание часто выражалось в неударном стремлении получить выдающиеся результаты — и это приводило к классическим достижениям научного центра.

Но для продвижения научной идеи в

производственную область требуется совсем иной склад характера, для этого «нужно понимать, что мир не ограничивается одним тобой», — как говорит Генри. Проблема заключается в формировании групп из различных типов людей. «В каждой лаборатории должна быть одна или две звезды, — утверждает Генри. — Но я полагаю, что главный вопрос в том, захотят ли эти люди сотрудничать с Bell Laboratories и чем я смогу прельстить на переход в нашу организацию».

Сейчас научный персонал ожидает, когда руководство одобрит программу, в которой будут сбалансированы области прикладных работ и свободный научный поиск. «Будешь ли ты наказан (работой над прикладной задачей) или тебе разрешат вернуться к исследованию?» — спрашивает Темкин.

Такие неясности разрушают хрупкий мост доверия между учеными и их руководителями. В прошлые годы отношения между исследователями и руководством были весьма спокойными, как указывает Флеури. Ученые-творцы были защищены от тревог, руководители отделов сами передавали результаты их работ на более высокий уровень иерархии. «В некоторой степени это имеет место и сейчас, — добавляет Флеури, — но я не думаю, что люди доверяют руководству, представляющему их работу».

Ключевую роль в восстановлении атмосферы доверия будет играть убеждение ученых не только в том, что исследования важны для корпорации AT&T, но и в том, что передовая наука останется отличительным признаком Bell Laboratories. «Мы останемся до конца верными идее о необходимости фундаментальных исследований, а также исследований в тех областях, которые потенциально могут принести пользу человечеству», — заявил Джон Мэйо, директор центра, назначенный летом прошлого года.

«Ученые сейчас озабочены больше, чем следовало бы, — замечает Флеури. — Руководители лабораторий говорят: «Это не такая уж большая проблема, вы должны доверять нам. Мы верим, что будет достигнуто долгосрочное согласие». Но я не верю, что в существующей иерархической структуре такое заявление одобряется всеми. Для подтверждения этого заявления нужны не только слова. Флеури надеется, что после нескольких циклов финансирования центра доверие ученых к руководству должно возрасти».

По словам Пенциаза, структурные изменения в Bell Laboratories уже завершены. Он убежден, что «по мере рассеяния тумана» ученые начнут доверять новому подходу. «Сказать,

что мы все будем счастливы, что я смогу вернуть пятидесятые годы увы, к сожалению не могу», — говорит Пенциаз. Но и он, и Мэйо утверждают, что переориентация исследователей на более тесную связь с потребителями поможет расширить фронт таких работ, которые в свое время привели к открытию транзистора и лазера. Нам остается посмотреть, насколько Пенциаз предан новой вере и сможет ли он обратить в нее всех сотрудников Bell Laboratories.

Элизабет Коркоран

Толковый советник — залог успеха

КОГДА три года назад Д. Эллан Бромли прибыл в Вашингтон в качестве научного советника президента Буша, его заверения проявлять проищательность в вопросах развития науки и техники и давать достоверную информацию президентской администрации вызывали вежливые одобрительные кивки и понимающие улыбки. Вспомним, что в период правления администрации Рейгана Управление научно-технической политики (OSTP) перестало играть сколько-нибудь заметную роль. Начальник аппарата Белого дома Дж. Сунуну, который имеет свободный доступ к президенту, часто откровенно выражал не совпадающую с мнением других точку зрения на такие вопросы, как глобальное потепление. И некоторые известные сторонники свободной рыночной конкуренции в администрации, в частности М. Боскин, председатель Совета экономических консультантов, и Р. Дарман, директор Административно-бюджетного управления (OMB), настойчиво противостояли мерам, которые, по их мнению, за счет поощрения использования определенных технологий сковывали бы инициативу в промышленности.

«Проблема Бромли в том, что он работает на президента-республиканца», — язвительно замечает Л. Корб, один из руководителей Института Брукинса. Дости ли Бромли того внимания со стороны президента, на которое он рассчитывал, или нет, ему удалось сделать невероятный прогресс в деле улучшения федерального планирования исследовательских работ.

И администрация, и кон-

гресс медленно и осторожно сближаются в оценке мер, направленных на повышение прибыли от финансируемых правительством исследований и разработок, бюджетные расходы, на которые составляют 75 млрд долл. Тем временем администрация, озабоченная непомерными расходами на исследовательские работы, оказывает давление на другие преуспевающие в развитии науки и техники страны, настаивая на том, чтобы они увеличили масштаб фундаментальных исследований.

Самого явного успеха Бромли добился в 1990 г., когда он, преодолев достаточно мощные политические барьеры, составил официальный документ, в котором изложил свои взгляды на то, какой должна быть научно-техническая политика США. Федеральные власти, по его мнению, должны финансировать исследования, потенциально способные привести к созданию конкурентоспособной технологии. Он также оживил деятельность ряда комиссий, которые должны анализировать эффективность расходов на исследовательские работы, и организовал исследовательскую программу по проблемам глобального изменения окружающей среды. Он добился ассигнований на новые программы подготовки преподавателей для начальных школ, повышения уровня грамотности и профессиональной подготовки



СОВЕТНИК президента по науке Д. Эллан Бромли меняет политику в области науки и техники, ставя ее, как он говорит, «с головы на ноги».

кадров. «Мы забыли о среднем образовании», — утверждал Бромли.

При инициативе Бромли OSTP согласилось выделить средства на реализацию решения президента о разработке высокопроизводительных компьютеров. Сейчас ожидают одобрения со стороны OMB две новые межотраслевые инициативы по разработке технологий: одна — в области материаловедения, вторая — в области биотехнологии. В стадии подготовки находится предложение о разработке передовой промышленной технологии.

Бромли уверен, что все эти программы получат свое развитие. В настоящее время стимулирование разработки коммерческих технологий в основном регулируется слабо финансируемой программой создания передовой технологии, осуществляемой Национальным институтом науки и техники (NIST). «Я предвижу, что она [эта программа] будет значительно расширена», — говорит Бромли.

В то же время он не прогнозирует принципиальных изменений роли Агентства перспективных научно-исследовательских проектов в области обороны (DARPA), которое завоевало всеобщее признание благодаря успехам, достигнутым в развитии военной техники. Предложение о преобразовании DARPA в гражданскую организацию было одной из основных рекомендаций, содержащихся в составленном в 1991 г. докладе Комитета Карнеги по научно-технической политике правительственной администрации. Тем не менее Бромли не видит никакой необходимости для принятия специальных мер по переориентации оборонных исследований на гражданские цели, как предлагают некоторые законодатели. «Этот механизм эволюционирует сам по себе», — утверждает Бромли.

Тем не менее складывается впечатление, что администрация и конгресс сближаются в своих взглядах на некоторые проблемы, касающиеся развития науки и техники, которые были и пока остаются предметом разногласий. Бромли решительно поддержал идею о создании Института важнейших научно-технических направлений, который осуществлял бы строгий надзор за ходом исследований и разработок в ключевых областях, после того как эта идея впервые была сформулирована конгрессом в 1990 г. Некоторые

управления, включая OSTP, за это время составили перечни технологий, которые следует считать важнейшими с точки зрения обеспечения будущего благополучия страны как в экономическом, так и в оборонном отношении, и расхождения в этих перечнях незначительны.

Бромли было приказано «похоронить» этот проект, когда Дарману сообщили, что он противоречит решению администрации налагать запрет на экономическую политику, обеспечивающую привилегированное развитие каких-то определенных технологий. Однако когда сенатор от шт. Нью-Мексико Дж. Бингеман, возглавляющий подкомитет по оборонной промышленности и выступивший с законодательной инициативой о создании такого института, встретился с Дарманом, чтобы обсудить его возражения, то, как заявил секретарь Бингема, «они обнаружили, что у них больше взаимного согласия, чем они предполагали».

В результате Белый дом согласился поддержать этот план при условии, что штат нового института будет укомплектовываться по согласованию с администрацией. Национальный научный фонд (NSF) сформирует этот институт, но в основном он будет самостоятельным, обладая примерно таким же статусом, как Институт анализа состояния обороны, свои предложения этот институт будет выдавать непосредственно президенту.

Несколько других мер по развитию науки и техники, которые Бингеман представил в проекте закона 1992 г. о полномочиях оборонных ведомств, были приняты в состоявшемся в ноябре 1991 г. совместном заседании палаты представителей и сената. Среди этих предложений есть одно, предусматривающее, чтобы DARPA совместно с промышленными фирмами продолжила работу (но уже в рамках новой программы) по созданию ключевых технологий, ориентированных на использование в гражданских и военных отраслях промышленности. Администрация предложила отказаться от этой программы, но конгресс выделил на нее 60 млн долл. Конгресс также в ответ на просьбу администрации о выделении 97 млн долл. министерству обороны на разработку промышленной технологии решил дополнительно выделить 183 млн долл. «Министерство обороны заинтересовано в благополучном положении фирм, использующих передовые технологии», — заявил Бингеман.

Хотя на законопроект о полномочиях министерства обороны, который является приводным ремнем инициатив Бингема, президент

может наложить вето, сотрудники Бингема полагают, что администрация готова поддержать многие из его предложений. «Они уже поняли всю бессмысленность междоусобной борьбы с конгрессом», — сказал один из его помощников. — Они осознали, что огромные затраты на исследования и разработки не дают желаемой отдачи».

Понимая, что конкуренция в промышленности является довольно действенным фактором, Бромли включился в проведение «тихой» международной дипломатии, чтобы при всех преобразованиях обеспечить стабильное развитие фундаментальной науки. При поддержке Комитета Карнеги Бромли организовал две «весьма приватные» встречи во время уикэнда в Маунт-Киско (шт. Нью-Йорк) с представителями ряда европейских государств, Канады, Японии и бывшего Советского Союза. Хотя Бромли не раскроет нам содержания своих бесед, имеются сведения о том, что во время этой встречи он пытался склонить ее участников к организации международного сотрудничества в области научных исследований.

Первым в списке Бромли на финансовую поддержку значится сооружение Сверхпроводящего суперколлайдера (SSC), ускорителя элементарных частиц, который строится в Техасе и стоимостью которого составит несколько миллиардов долларов. Администрация взяла на себя обязательство обеспечить финансирование третьей части стоимости SSC, но не из федеральных источников. После того, как власти Техаса на строительство коллайдера выделили 1 млрд долл., выяснилось, что для завершения всех запланированных работ не хватает еще 1,8 млрд долл.

Бромли оказывает немалое давление на Японию, которая, несмотря на ее доминирующее положение в области разработки технологий по производству товаров ширпотреба, относительно слабо развивает фундаментальные исследования. Во время недавнего визита в Японию Бромли положил начало новому дипломатическому взаимодействию, предложив японскому правительству создать фонд для финансирования исследований, проводимых в университетах, и принять «на равных» участие в строительстве SSC. По словам Бромли, Ученый совет Японии проголосовал за одобрение его предложений, хотя пока неизвестно, как к этому отнесется кабинет министров Японии. Бромли также предложил Японии программу проведения совместных исследований в области оптоэлектроники, а американская администрация в свою очередь рассматривает сейчас

предложение Японии на участие в совместной разработке ряда промышленных технологий.

Рассматривается также возможность углубления сотрудничества с европейскими странами в ряде областей, в том числе в биотехнологии. «Масштабы нашего взаимообмена с европейцами сокращаются», — указывает Бромли. В будущем Национальный научный фонд рассмотрит предложения, поступившие от партнеров США и иностранных ученых о выделении стипендий исследователям из других стран, а те, в свою очередь, должны будут оплачивать труд работающих в их странах американских ученых. «Я пытаюсь все поставить с головы на ноги и объединить работающих врозь ученых», — заявил Бромли. Даже если ему удастся сделать только это, то его вклад уже следует считать весьма значительным.

Тим Бердсли

Экономика и математика

ЭКОНОМИКА гордится, а возможно, и сетует на свои давние, тесные и не всегда плодотворные отношения с математикой. Для описания своих теорий экономисты используют различные математические инструменты: от простых алгебраических уравнений до малопонятной дифференциальной топологии. (В одном из своих трудов, написанных в XVIII в., итальянец Чезаре Беккарна доказывал с помощью алгебры, какой вред и выгоду приносит контрабанда.)

Вместе с тем в последние несколько лет некоторые экономисты выражают все большую озабоченность тем, что исследователи сейчас уделяют больше внимания математике, чем фундаментальной экономической науке. «Существует мнение, что великие социальные уравнения можно решить на доске, а не в библиотеке или в лаборатории», — замечает Дональд Н. Маккоски, экономист из Университета шт. Айова. Ведущие экономисты относятся ко всему этому более спокойно, полагая, что увлечение математикой достигло пика. Пришло время, говорят они, спуститься на землю и заняться более прозаическими экономическими проблемами.

Интерес к математической экономике резко возрос после второй мировой войны. И это не случайно. Математика дает ученым-гуманитариям два преимущества: во-первых, она позволяет более точно описывать теории и, во-вторых, математические инструменты служат аналитическим эквивалентом кирки и лопаты для «раскопок» массивов данных с целью

извлечения ценной информации.

Кеннет Дж. Эрроу, получивший в 1972 г. Нобелевскую премию в основном за математическое описание теории экономического равновесия, вспоминает, что, когда он работал экономистом в экономическом совете при президенте в 60-х годах, даже простой математический анализ экономических проблем проводился лишь время от времени. «Работа, которой я там занимался, была связана с математикой лишь постольку поскольку».

Как специалист в области микроэкономики, Эрроу считал, что его знания не вполне соответствуют тому, чем ему приходилось заниматься в экономическом совете — решении общих вопросов экономической политики. Поэтому он решил заняться анализом проблемы «издержки — прибыль» и попытаться пробудить интерес к ней у других экономистов. Одна из первых задач, к решению которой приступил Эрроу, была связана с проектом Управления гражданской авиацией (позднее преобразованного в Федеральное управление авиацией) по созданию сверхзвуковой транспортной авиации. «Документ насчитывал несколько сот страниц и в нем то и дело повторялось, что человек попросту прирожден летать с такой скоростью, — вспоминает Эрроу. — Там не было ни единого слова, которое имело бы смысл для экономиста».

Проект был настолько дорогостоящим, что «нельзя было и предположить, что он когда-либо окупится», говорит Эрроу. Хотя его анализ был невероятно сложным, Эрроу в течение двух лет засыпал официальных лиц вопросами относительно вероятных расходов и доходов. В тот же период стала усиливаться оппозиция проекту из-за предполагаемых вредных воздействий сверхзвуковой транспортной авиации на окружающую среду, и в конце концов, проект был закрыт. «Мне приятно сознавать, что я сэкономил стране около 4 млрд. долл.», — говорит Эрроу с удовлетворением. — Это было весьма примитивным занятием. Приходилось лишь задавать вопросы, которые попросту необходимо было задавать».

С тех пор применение математики с целью «постановки правильных вопросов» позволило создать модели, демонстрирующие математическую виртуозность, но вместе с тем недостаточно ориентированные на решение собственно экономических проблем. «Некритический энтузиазм в отношении математической формулировки, — отмечал еще в 1970 г. Василий Леонтьев, лауреат Нобелевской премии, — часто маскирует сущность

самого аргумента, скрывающуюся за нагромождениями алгебраических символов». А по мнению Эрроу, «математика начинает жить сама по себе, поскольку имеет тенденцию преследовать собственные интересы, а не экономические».

Эта проблема наиболее четко выражена в критической статье, опубликованной в сентябре прошлого года в журнале *Journal of Economic Literature* и посвященной вопросам обучения аспирантов-экономистов. Это исследование, проводившееся в течение двух лет Комиссией по вопросам преподавания экономики в аспирантурах, обнаружило «изрядную долю апатии в отношении экономики среди аспирантов и преподавателей», как замечает Дэниел Г. Ньюлон, руководитель программ в области экономики в Национальном научном фонде. И действительно, часто можно слышать, что программы экономического образования отводят слишком много места формальным инструментам и на удивление мало уделяют внимания практическим вопросам.

Однако, как считает Энн О. Крюгер, экономист из Университета Дьюка и председатель вышеназванной комиссии, проблема заключается не в чрезмерном использовании сложной математики. На самом деле она состоит в применении неадекватных математических методов и формулировок к решению реальных задач.

Несмотря на то что все большее число специалистов согласны с тем, что существует дисбаланс между математическим формализмом и экономическими концепциями, никто из них не рекомендует аспирантурам следовать рекомендациям, изложенным в докладе комиссии. «Нельзя говорить кому-то, как следует поступать», — замечает Крюгер. Ньюлон надеется, что экономические факультеты попробуют использовать различные подходы к преподаванию экономики. Вместе с тем он считает, что отчет комиссии скорее отражает происходящие дебаты среди экономистов, чем служит призывом к действию. «Маятник определенно качнулся в сторону, противоположную представлению, что математике уделяется слишком большое внимание», — говорит Ньюлон.

Приметой времени, по мнению многих экономистов, является награждение Джона Кларка и талантливого экономиста Пола Р. Крюгмана из Массачусетского технологического института недавно учрежденной медалью. Сам Крюгман не является математиком, однако он получил известность благодаря своей работе по экономической теории международной торговли. Два претендента на ме-

даль — Лоуренс Саммер и Джефри Д. Сакс из Гарвардского университета — занимаются еще более прикладными проблемами. Саммер в настоящее время работает старшим экономистом в Международном банке реконструкции и развития, а Сакс большую часть времени пытается помочь странам, в частности Польше, встать на путь капитализма.

Когда Эрроу спросили, в какой области экономики он предпочел бы работать, если бы ему пришлось начинать свою карьеру заново, он ответил: «Я думаю, меня более всего интересовала бы роль знания в экономике и то, как люди приобретают его».

«Что означает «знать что-то»? Я понимаю, этот вопрос выглядит слишком отвлеченным, — говорит Эрроу, как бы оправдываясь. Однако большинство экономических теорий основаны на представлении, что потребители знают или не знают о чем-то».

Элизабет Коркоран и Пол Уоллич

Лучший среди красных

ЕДВА стало реальным проверять запасы донорской крови на гепатит, как обнаружился вирус СПИДа. Только удалось разработать и внедрить методы его выявления, как из Персидского залива вернулись 100 солдат с «багдадскими нарывами» — паразитической инфекцией, которая, как опасаются врачи, может передаваться через кровь.

Опасность распространения инфекций — лишь одна из причин поисков кровезаменителей. Переливания крови требуют сложной ее типизации и перекрестных тестов. Жертвы несчастных случаев, солдаты и другие люди с редкими группами крови могут умереть, не дождавшись, пока найдется совместимый донор. Кроме того, цельную кровь надо держать охлажденной, но даже в этом случае ее срок хранения не превышает 42 суток.

Поиски безопасного метода повышения способности крови переносить кислород оказались долгими и нелегкими. Две фирмы, проводившие клинические испытания животного гемоглобина, были вынуждены прекратить их из-за побочных эффектов. Однако в соревнование включился такой претендент на успех, как компания Somatogen в Боулдере (шт. Колорадо), которая решила использовать несколько модифицированных методами генной инженерии человеческий гемоглобин. Эта его форма считается сейчас самым перспективным кровезаменителем.

Somatogen вела разработку в сотрудничестве с К. Наган из Совета медицинских исследований Велико-

британии в Кембридже. Наган работает в лаборатории структурной биологии, возглавляемой М. Перуцем, получившим в 1962 г. Нобелевскую премию за определение структуры гемоглобина. Группа Перуца первой в мире применила рентгеновскую кристаллографию для исследования белка. Этот метод дает трехмерное изображение, демонстрирующее точное расположение атомов в молекуле. Изменяя пространственную конформацию белка, можно влиять на его функционирование.

Молекулярные изображения помогли решить проблемы, мешавшие получить гемоглобин, способный заменить эритроциты. Одна из трудностей состоит в том, что, когда гемоглобин находится вне клетки, он прочнее связывается с кислородом и высвобождает его всего 3—5% вместо 20. Кроме того, «голый» гемоглобин распадается на фрагменты, которые быстро удаляются из кровотока и закупоривают почечные клубочки.

Были попытки преодолеть эти трудности путем поперечного химического сшивания или полимеризации молекул гемоглобина. А исследователи из Somatogen шли к той же цели путем генетических изменений. «Мы провели тщательно спланированные исчерпывающие эксперименты», — вспоминает вице-президент компании по исследованиям и разработкам Г. Стетлер; помогла и интуиция.

Вначале были найдены мутантные формы гемоглобина, высвобождающие больше кислорода, чем нормальный белок. Для этого изменяли кодирующие его гены, а затем проверяли влияние внесенных изменений на структуру продукта. Из 20 полученных форм одна обладала всеми требуемыми свойствами. По словам Стетлера, она отличалась от нормального гемоглобина всего лишь двумя аминокислотами.

Первая аминокислотная замена основывалась на информации, которую дали кристаллографические исследования. Наган, Стетлер и их сотрудники обнаружили, что встраивание в молекулу гемоглобина всего одного нового аминокислотного остатка приводит к сцеплению двух составляющих ее полипептидных цепей, которые иначе разъединяются. Вторая замена была более интуитивной и базировалась на наблюдениях за естественной изменчивостью человеческого гемоглобина. Благодаря пониженному родству к кислороду его модифицированная форма может высвободить треть присоединенного количества O₂.

Модифицированный гемоглобин получают при помощи бактерии *Escherichia coli* (используемой в ка-



РЕКОМБИНАНТНЫЙ ГЕМОГЛОБИН, разработанный в фирме Somatogen, получают при помощи бактерий *Escherichia coli*.

честве молекулярной фабрики для производства многих генноинженерных продуктов), в клетках которой он образуется в полностью собранном виде. За сутки содержимое баков с бактериями становится кроваво-красным, и можно собирать готовый белок. Клетки *E. coli* разрушают, а продукт пропускают через колонку, очищающую гемоглобин от примесей, в том числе от синтезируемого бактериями эндотоксина.

Однако именно присутствие в препарате эндотоксина послужило конкурентам поводом критиковать Somatogen. Особенно активной здесь была фирма DNX в Принстоне (шт. Нью-Джерси), работающая над получением другого варианта рекомбинантного гемоглобина человека при помощи трансгенных свиней. Ведущий специалист и президент Somatogen Ч. Скоггин отстаивает свой простой метод очистки, утверждая, что содержание бактериального токсина в конечном продукте гораздо ниже уровня, допускаемого Управлением по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) в препаратах сыровороточного альбумина человека. Как он сказал, «свинью невозможно стерилизовать паром».

Неудачи других компаний, разрабатывающих гемоглобиновый заменитель крови, продолжают ставить вопросы, ответить на которые можно только путем испытаний на людях. Somatogen должна была начать их в

январе и получить первые клинические данные к середине текущего года. Есть подозрение, что побочные эффекты, наблюдавшиеся ранее, обусловлены загрязнениями, неизбежными при переходе от лабораторных экспериментов к широкомасштабному производству. Однако вопрос о том, не токсичен ли сам по себе гемоглобин, циркулирующий в крови вне эритроцитов остается открытым.

Если рекомбинантный гемоглобин в конечном счете будет обладать ожидаемыми свойствами, его рынок вполне может превысить 7,7 млн. единиц эритроцитов, ежегодно используемых в США для переливаний. «Сейчас мы очень осторожны относительно клеток крови, — отмечает Х. Клейн, заведующий отделением переливания крови в клиническом центре Национальных институтов здоровья. — Мы всегда стремимся определить минимальное число эритроцитов, позволяющее пациенту благополучно перенести операцию или травму».

По мнению Клейна, наличие кровезаменителя коренным образом изменит картину. «Не нужно будет, скажем, определять минимальное количество пенициллина, необходимое для лечения пневмонии. Думаю, он бы применялся гораздо больше, если бы имела безопасная и эффективная альтернатива эритроцитам. Я бы лично им обязательно пользовался — надоело рисковать».

Дебора Эрикссон

Маркс был не так уж неправ



НАТАН РОЗЕНБЕРГ

ВОЗМОЖНО, нам следует задуматься, прежде чем отправлять Маркса на свалку истории. Последние события в Советском Союзе рассматриваются как свидетельство краха марксизма, но так ли это на самом деле? Что действительно абсолютно очевидно, так это то, что централизованно управляемая экономика оказалась неспособной обеспечить высокий уровень материального благосостояния для членов социалистического общества.

По сути дела в трудах Маркса анализируются исторические процессы, в ходе которых растет и преобразуется капиталистическое общество. С Маркса необходимо снять вину за опасное экспериментирование с социализмом в XX в., поскольку в его понимании истории социализм вырастет лишь из развитого капиталистического общества. Социализм возникает после того, как капиталистическое общество терпит крушение под влиянием его «внутренних противоречий». Социалистическое общество, по Марксу, предназначено судьбой не только разрешить внутренние противоречия капитализма, но и наследовать громадный производственный аппарат, который зрелый капитализм не в состоянии использовать. Когда социализм, наконец, появляется на мировой сцене, он сразу же вступает во владение высокопродуктивной промышленной технологией и распоряжается этой технологией гораздо более умело, чем та социальная система, которая эту технологию создала.

Таким образом, по крайней мере в одном существенном отношении крушение экономики социалистических стран служит доказательством того, что Маркс был прав. Маркс никогда не утверждал, что социализм, какую бы конкретную форму он ни принял, обеспечит создание общественных институтов и мотивов, необходимых для быстрых технологических изменений. Строго говоря, его точка зрения заключалась в том, что, когда социализм возникает в предсказанной им исторической последовательно-

сти, эти институты и мотивы перестают быть необходимыми. Социализм должен иметь успех как форма экономической организации именно потому, что проблема бедности общества оказывается решенной предшествующим капиталистическим обществом.

Маркс был также прав в своем анализе капитализма как уникальной системы, которая обеспечивает мощные импульсы для инициирования технологических изменений. Глядя назад, легко увидеть очевидный факт, а именно: насколько трудно создать эффективную замену той динамичности в сфере технологии, которая порождается капиталистическими институтами. Это не Маркс, а марксисты XX в. выдвинули оппортунистическую идею о том, что можно миновать капиталистическую стадию и развить социалистическое общество, обладающее достаточной производительной мощностью, чтобы обеспечить высокий уровень материального благосостояния для угнетенного пролетариата. В этом аспекте горбачевская программа перестройки есть явное признание ошибочности таких в высшей степени ревизионистских взглядов. (В Советском Союзе рассказывают мрачный анекдот: «Что такое коммунизм? Это наиболее мучительный из всех способов перехода от капитализму к капитализму.»)

Для Маркса историческое достижение капитализма вытекает из его уникальной способности порождать и использовать технологические изменения. В «Манифесте коммунистической партии» Маркс и Энгельс писали: «Буржуазия... впервые показала, чего может достигнуть человеческая деятельность. Она создала чудеса искусства, но совсем иного рода, чем египетские пирамиды, римские водопроводы и готические соборы... Буржуазия не может существовать, не вызывая постоянно переворотов в орудиях производства...»

КОНКУРЕНЦИЯ приводит также к высоким темпам вложений капитала, что ведет к быстрому распро-

странению новых технологий. Маркс ясно понимал, что рост производительности достигается не благодаря простой мотивации, а под давлением обстоятельств, заставляющих поддерживать высокие темпы вложений и тем самым способствовать быстрому распространению технологий. Тем самым компании, равно как и экономические системы, способные к технологическим инновациям, но неспособные достигнуть высокого уровня вложений, обречены на крах.

Разумеется, Маркс утверждает, что капиталистическая конкуренция неизбежно ведет к преобладанию крупного производства и постепенно к монополизму. Возможно, он недооценивал, до какой степени поиск новых технологий оказывается под воздействием мощных случайных факторов, которые играют важную роль в определении специфических форм развития общественных институтов в развитии капиталистическом обществе.

Маркс отмечает эти случайные факторы, причем очень скупо, лишь в третьем томе «Капитала», опубликованном после его смерти, намного позднее первого тома, оказавшего такое сильное воздействие на общественную мысль.

Маркс явно осознавал исключительную уязвимость капиталистов в их социальной роли как носителей технологических инноваций — главного источника динамики капитализма. Если бы он уделил больше внимания этой уязвимости в своих ранних исследованиях, портрет капиталистов пришлось бы нарисовать в совершенно иной манере. Пришлось бы также честнее говорить о том мучительном соотношении приобретений и потерь, с которым должно считаться всякое общество при выборе между большим равенством и большей эффективностью. Но такое исследование подчеркнуло бы слабость капиталистов, тогда как Маркс имел намерение показать их социальное могущество и их способность эксплуатировать других. Можно сказать, что Маркс пошел на ухищрение в анализе проблемы «равенство против эффективности», оставив за капитализмом роль общества, обеспечивающего эффективность производства, а за социализмом — роль общества, дающего равенство.

Серьезного внимания заслуживает и другой мощный компонент его анализа. Маркс утверждал, что сама наука представляет собой деятельность, обусловленную требованиями производственного процесса. Если до Маркса и после него экономисты были склонны считать науку деятельностью, имеющей важные последствия

для экономики, но не зависящей от экономических факторов в явном виде, точка зрения Маркса была совершенно иной. Он видел современную науку как нечто, рожденное стимулирующей организацией капитализма. И что еще более важно, именно стимулы, определяемые капиталистическим рынком, обеспечивают широкомасштабное применение научных достижений в промышленности. Последним обстоятельством и пренебрегали, заплатив за это очень высокую цену, социалистические общества

в XX в. Например, советские ученые добились превосходных результатов во многих областях науки, однако Советский Союз оказался поразительно неспособным использовать эти достижения для нужд промышленности и прежде всего сельского хозяйства.

Многое из того, что Маркс писал о роли науки и техники, можно и в наше время перечитать с пользой и даже выгодой. Можно лишь сожалеть, если «детище Маркса» будет выплеснуто вместе с водой из социалистической ванны.

Библиография

ЖИЗНЬ РАСТЕНИЙ ПРИ ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

DIRECT EFFECTS OF INCREASING CARBON DIOXIDE ON VEGETATION. Edited by B. R. Strain and J. D. Cure. U.S. Department of Energy, 1985.

THE GREENHOUSE EFFECT AND NATURE RESERVES. R. L. Peters and J. D. S. Darling in *Bioscience*, Vol. 35, No. 11, pages 707—717; December 1985.

GLOBAL CLIMATIC CHANGE. Richard A. Houghton and George M. Woodwell in *Scientific American*, Vol. 260, No. 4, pages 36—44; April 1989.

THE CHANGING CLIMATE. Stephen H. Schneider in *Scientific American*, Vol. 261, No. 3, pages 70—79; September 1989.

CLIMATE CHANGE: THE IPCC SCIENTIFIC ASSESSMENT. Edited by J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums. Cambridge University Press, 1990.

THE RESPONSE OF NATURAL ECOSYSTEMS TO THE RISING GLOBAL CO₂ LEVEL. F. A. Bazzaz in *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 21, pages 167—196; 1990

КВАНТОВЫЙ ХАОС

DYNAMICAL CHAOS. Edited by M. V. Berry, I. C. Percival and N. O. Weiss in *Proceedings of the Royal Society of London*, Vol. A413, No. 1844, pages 1—199; September 8, 1987.

THE HYDROGEN ATOM IN A UNIFORM MAGNETIC FIELD: AN EXAMPLE OF CHAOS. Harald Friedrich and Dieter Wintgen in *Physics Reports*, Vol. 183, No. 2, pages 37—79; November 1989.

CHAOS IN CLASSICAL AND QUANTUM MECHANICS. Martin C. Gutzwiller. Springer-Verlag, 1990.

CELESTIAL MECHANICS ON A MICROSCOPIC SCALE. T. Uzer, David Farrelly, John A. Milligen, Paul E. Raikes and Joel P. Skelton in *Science*, Vol. 253, pages 42—48; July 5, 1991.

CHAOS AND QUANTUM PHYSICS. Edited by A. Voros, M.-J. Gliannoni, and J. Zinnjustin. Elsevier Science Publishers (in press).

КАК КЛЕТКИ ПОГЛОЩАЮТ ГЛЮКОЗУ

SEQUENCE AND STRUCTURE OF A HUMAN GLUCOSE TRANSPORTER. M. Mueckler et al. in *Science*, Vol. 229, pages 941—945; September 6, 1985.

KINETICS OF THE PURIFIED GLUCOSE TRANSPORTER: DIRECT MEASUREMENT OF THE RATES OF INTERCONVERSION OF TRANSPORTER CONFORMERS. J. R. Appleman and G. E. Lienhard in *Biochemistry*, Vol. 28, No. 20, pages 8221—8227; October 3, 1989.

FACILITATIVE GLUCOSE TRANSPORTERS: AN EXPANDING FAMILY. G. W. Gould and G. I. Bell in *Trends in Biochemical Sciences*, Vol. 15, No. 1, pages 18—23; January 1990.

FAMILY OF GLUCOSE-TRANSPORTER GENES: IMPLICATIONS FOR GLUCOSE HOMEOSTASIS AND DIABETES. M. Mueckler in *Diabetes*, Vol. 39, No. 1, pages 6—11; January 1990.

IMMUNO-LOCALIZATION OF THE INSULIN REGULATABLE GLUCOSE TRANSPORTER IN BROWN ADIPOSE TISSUE OF THE RAT. J. W. Slot et al. in *Journal of Cell Biology*, Vol. 113, No. 1, pages 123—135; April 1991.

АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

ACCRETION POWER IN ASTROPHYSICS. J. Frank, A. R. King and D. J. Raine. Cambridge University Press, 1985.

ON THE OUTBURST RECURRENCE TIME FOR THE ACCRETION DISK LIMIT CYCLE MECHANISM IN DWARF NOVAE. John K. Cannizzo, Allen W. Shafter and J. Craig Wheeler in *Astrophysical Journal*, Vol. 333, No. 1, pages 227—235; October 1, 1988.

VISCOUS EVOLUTION OF ACCRETION DISCS IN THE QUIESCENCE OF DWARF NOVAE. Shin Mineshige and Janet H. Wood in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 241, No. 2, pages 259—280; November 15, 1989.

SPECTROSCOPY OF THE DWARF NOVA TW VIRGINIS CAUGHT ON THE RISE TO OUTBURST. Cathy S. Mansperger and Ronald H. Kaitchuck in *Astrophysical Journal*, Vol. 358, pages 268—273; July 20, 1990.

КАК ОРИЕНТИРУЮТСЯ МОРСКИЕ ЧЕРЕПАХИ

SO EXCELLENT A FISHE: A NATURAL HISTORY OF SEA TURTLES. Revised edition. A Carr. Charles Scribner's Sons, 1984.

RIPS, FADS, AND LITTLE LOGGERHEADS. Archie Carr in *Bioscience*, Vol. 36, pages 92—100; February 1986.

MAGNETIC ORIENTATION BY HATCHLING LOGGERHEAD SEA TURTLES. K. J. Lohmann in *Journal of Experimental Biology*, Vol. 155, pages 37—49; January 1991.

ПЛЕМЕННЫЕ ВОЙНЫ

MILITARIZATION AND INDIGENOUS PEOPLES. Parts I and II. *Cultural Survival Quarterly*, Vol. 11, Nos. 3 and 4; 1987.

LORDS OF THE TIGER SPIRIT: A HISTORY OF THE CARIBS IN COLONIAL VENEZUELA AND GUYANA, 1498—1820. Neil L. Whitehead. Leiden, Holland, Royal Institute of Linguistics and Anthropology, 1988.

THE ANTHROPOLOGY OF WAR. Edited by Johathan Haas. Cambridge University Press, 1990.

BLOOD OF THE LEVIATHAN: WESTERN CONTACT AND WARFARE IN AMAZONIA. R. Brian Ferguson in *American Ethnologist*, Vol. 17, No. 2, pages 237—257; May 1990.

WAR IN THE TRIBAL ZONE: EXPANDING STATES AND INDIGENOUS WARFARE. Edited By R. Brian Ferguson and

Вниманию
читателей!

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА
МАГАЗИНОВ —
ОПОРНЫХ ПУНКТОВ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

141908 Дубна,
ул. Векслера, 11,
головной магазин

375019 Ереван,
ул. Барекамутян, 24-а,
магазин № 29

250001 Киев,
ул. Крещатик, 44,
магазин № 12

660036 Красноярск,
Академгородок,
магазин № 101

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

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

440605 Пенза,
просп. Победы, 4,
магазин № 1

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

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

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

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



Neil L. Whitehead. Santa Fe, N.M.,
School of American Research Press,
1992.

СВЕТОВОДНАЯ СВЯЗЬ: ПЯТОЕ ПОКОЛЕНИЕ

BIBLIOGRAPHY ON ERBIUM-DOPED
FIBER AMPLIFIERS; 1987 TO 1990. Harish
R. D. Sunak. P. O. Box 1668, Kingston,
R. I. 02881-1668, EDFA Consultants,
1991.

FUNDAMENTALS OF PHOTONICS.
Bahaa E. A. Saleh and Malvin Carl
Teich. John Wiley and Sons, 1991.

MULTIGIGABIT SOLITON TRANSMIS-
SION TRAVERSE ULTRALONG DISTANCES.
L. F. Mollenauer, J. P. Gordon and
S. G. Evangelides in *Laser Focus World*,
Vol. 27, No. 11, pages 159—170;
November 1991.

RARE EARTH DOPED FIBERS AND
DEVICES. Edited by M. J. Digonnet.
Marcel Dekker (in press).

ЖИВУЩИЕ ВМЕСТЕ

PARASITES THAT CHANGE THE
BEHAVIOR OF THEIR HOST. Janice Moore
in *Scientific American*, Vol. 250, No. 5,
pages 108—115; May 1984.

TRANSMISSION MODES AND EVOLU-
TION OF THE PARASITISM-MUTUALISM
CONTINUUM. Paul W. Ewald in *Annals
of the New York Academy of Sciences*,
Vol. 503: *Endocytobiology III*, pages
295—306; 1987.

SEXUAL REPRODUCTION AS AN ADAP-
TATION TO RESIST PARASITES: A RE-
VIEW. William D. Hamilton, Robert
Axelrod and Reiko Tanese in *Pro-
ceedings of the National Academy of
Sciences*, Vol. 87, pages 3566—3573;
May 1990.

PARASITE-HOST ASSOCIATIONS: CO-
EXISTENCE OR CONFLICT? Edited by
Catherine A. Toft, André Aeschlimann
and Liana Bolis. Oxford University
Press, 1991.

SYMBIOSIS AS A SOURCE OF EVOLU-
TIONARY INNOVATION: SPECIATION AND
MORPHOGENESIS. Edited by Lynn
Margulis and René Fester. The MIT
Press, 1991.

НАУКА ВОКРУГ НАС

PERIOD DOUBLING AND CHAOTIC
BEHAVIOR IN A DRIVEN ANHARMONIC
OSCILLATOR. Paul A. Linsay in *Physical
Review Letters*, Vol. 47, No. 19, pages
1349—1352; November 9, 1981.

CHAOS: MAKING A NEW SCIENCE.
James Gleick. Viking Penguin, 1987.

THE ART OF ELECTRONICS. Paul
Horowitz and Winfield Hill. Cambridge
University Press, 1989.

В МИРЕ НАУКИ

Учредитель:
ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

Издание
зарегистрировано
в Госкомпечати СССР,
рег. № 1342

Подписано в печать 14.04.92.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90%.

Гарнитуры таймс, гелнос.
Офсетная печать.

Объем 6,25 бум. л.
Бумага офсетная № 1.

Усл.-печ. л. 12,50.

Уч.-изд. л. 16,14.

Усл. кр.-отт. 52,00.

Изд. № 25/9056. Заказ № 96.

Тираж 9460 экз. Цена 33

Издательство «Мир»

Министерства информации и печати
Российской Федерации
129820, ГСП, Москва, И-110,
1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Фотонаборном центре
издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»
Министерства информации и печати
Российской Федерации
127576, Москва, Илимская, 7



МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Управление по информации
и связям с общественностью

ПРЕСС-ЦЕНТР

В последнее время в Министерство Российской Федерации по атомной энергии (оно является правопреемником Министерства атомной энергетики и промышленности СССР, в соответствии с Указом Президента Российской Федерации Б.Н.Ельцина от 29 января 1992 года) обращается большое количество российских и зарубежных корреспондентов средств массовой информации, продюсеров кино и телевидения, писателей с просьбой предоставить информацию о функционировании и перспективах Министерства и его предприятий, о жизни и деятельности населения закрытых городов, по различным вопросам технологии, связанной с ядерным топливным циклом, а также об организации ознакомительных поездок на объекты Минатома России.

Для осуществления широкой и эффективной передачи такой информации представителям средств массовой информации и общественности образован Пресс-центр Министерства Российской Федерации по атомной энергии.

Пресс-центр от лица Министерства будет стремиться обеспечивать общественность своевременной достоверной и объективной информацией о деятельности атомной промышленности и энергетики России.

Для разъяснения конкретных вопросов, связанных с особенностями использования атомной энергии, Пресс-центр имеет связь с информационными центрами и группами на предприятиях атомной энергетики и промышленности, которая позволяет предоставлять достоверную и оперативную информацию по всей гамме поступающих запросов.

Пресс-центр имеет также оперативную информацию о событиях на предприятиях атомной энергетики и промышленности других государств, которую получает от информационных служб либо по системе НукНет.

Учитывая необходимость перехода на экономические взаимоотношения, исходя из необходимости защиты прав государства, его юридических и физических лиц на объекты промышленной и интеллектуальной собственности, а также учитывая действующее законодательство, сотрудничество с представителями средств массовой информации будет проводиться, как правило, на контрактной основе. Организация доступа на предприятия отрасли для ознакомления с технологией, оборудованием, деятельностью коллективов, а также проведение пресс-конференций, интервью возможна при наличии согласованного с Министерством плана-сценария встреч, или вопросника для предоставления информации.

Москва, Китайский проезд, 7

Контактные телефоны — (095) 220-40-00, 925-41-06,
220-64-68

Факс (095) 200-22-73
Телекс 411888 Мезон