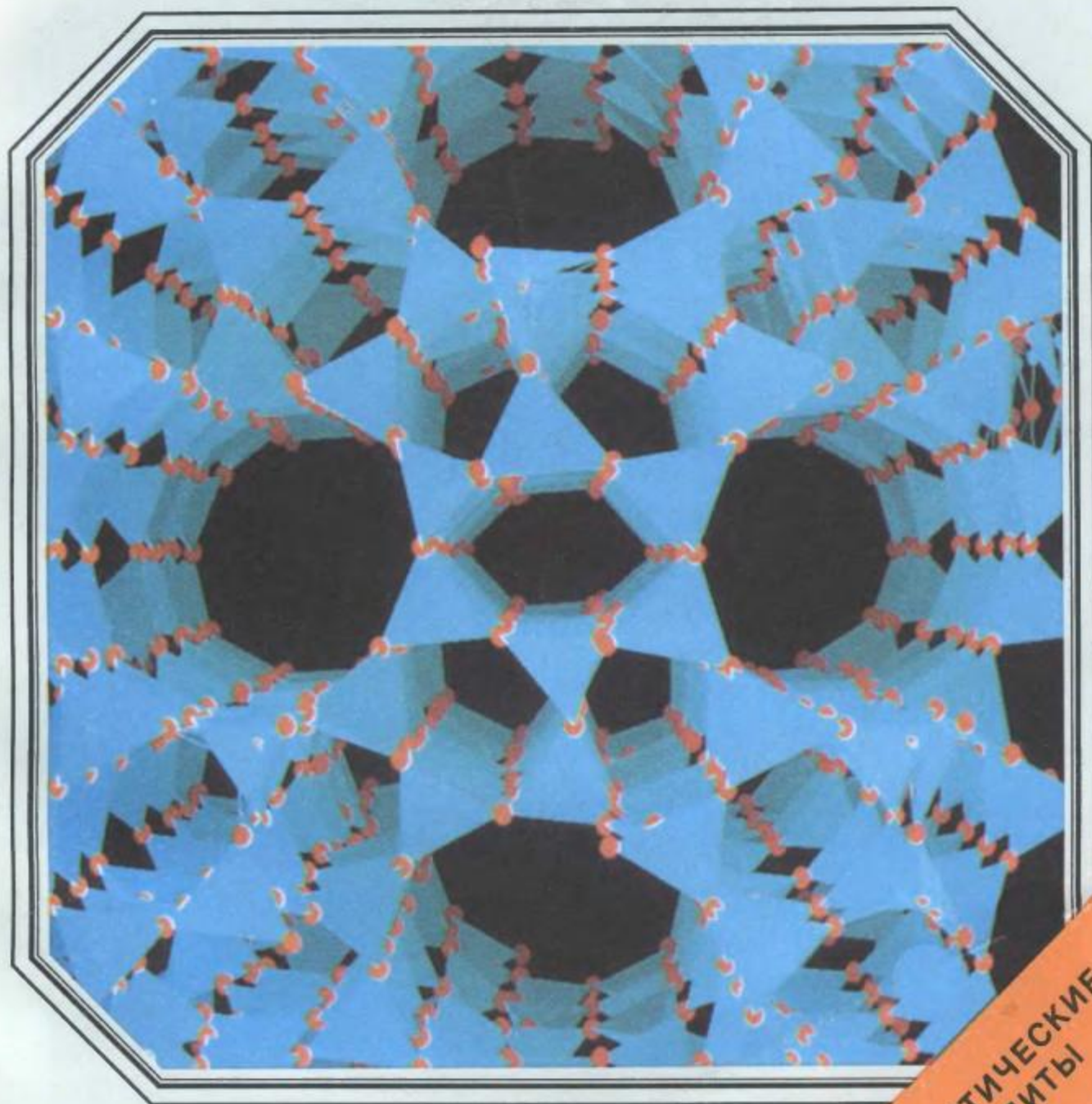


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Сентябрь **9** 1989

СИНТЕТИЧЕСКИЕ
ЦЕОЛИТЫ

**БИОГЕННЫЙ
МАГНЕТИТ
И МАГНИТОРЕЦЕПЦИЯ
ОРГАНИЗМОВ**

НОВОЕ
О БИОМАГНЕТИЗМЕ

2



Издательство „Мир“

В 2-х томах.
Перевод с английского

**БИОГЕННЫЙ
МАГНЕТИТ
И МАГНИТОРЕЦЕПЦИЯ
ОРГАНИЗМОВ**

НОВОЕ
О БИОМАГНЕТИЗМЕ

1



Издательство „Мир“

Под редакцией
Дж. Кишвинка, Д. Джонса,
Б. Мак-Фаддена.

Монографический сборник американских авторов — первый в мировой литературе обобщающий труд по магнито-биологии. В книге собрана исчерпывающая информация о наблюдаемых биологических эффектах магнитного поля, сформулированы концепции относительно их физических основ, подробно описаны новые методы и технологии палеомагнитных и магнитных исследований. Большое внимание уделено вопросу о магниторецепции человека. Представлена обширная библиография, которая (как и вся книга) охватывает тематику, находящуюся на стыке биологии, геофизики, физики, палеонтологии, медицины и новой аппаратной техники.

Содержание: Биоминерализация железа: геобиологические аспекты. Ферромагнитные свойства магнетита. Геомагнитное поле: физика, биологическое значение. Техника биомагнитных исследований. Магниторецепция: теория. Исследования магниторецепции у различных животных и человека. Биогенный магнетит в палеонтологическом материале.

Для специалистов-биологов (биофизиков, физиологов, зоологов, микробиологов, палеонтологов), медиков (физиотерапевтов, гигиенистов), геофизиков.

1988, 61 л. Цена 9 р. 10 к. за комплект

Эту книгу вы можете получить наложенным платежом, направив заказ по адресу:
191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2
Магазин № 5 «Техническая книга».



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»

№ 9 · СЕНТЯБРЬ 1989

В номере:

СТАТЬИ

(Scientific American, July 1989, Vol. 261, No. 1)

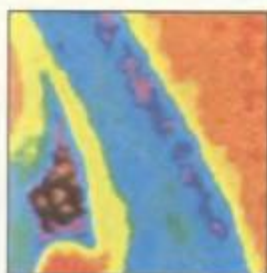


6 Испытания вооружений в космосе

Эштон Б. Картер

Если бы Договор о системах ПРО допускал большую свободу в испытании вооружений, то отвечало бы это интересам США?

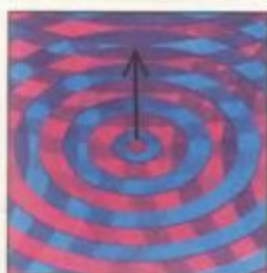
Ответить на этот вопрос помогут результаты анализа основных положений этого договора



16 Память и нейронные системы

Дэниел Л. Элкон

При выработке павловских условных рефлексов обучение сопровождается изменениями электрических и молекулярных свойств нервных клеток



26 Спиновые стекла

Дэниел Л. Стейн

Особые свойства этих материалов обусловлены неупорядоченностью, несогласованностью магнитных взаимодействий между атомами. Математические модели, применяемые для описания спиновых стекол, оказались полезными для решения сложных задач вычислительной математики, нейрологии и теории эволюции



34 Рифтовый вулканизм

Роберт С. Уайт, Дэн П. Маккензи

Когда в жесткой оболочке Земли образуется рифт, пластичные мантийные породы поднимаются и частично плавятся. При этом, если температура мантии даже немного превышает нормальную, происходят вспышки вулканической деятельности



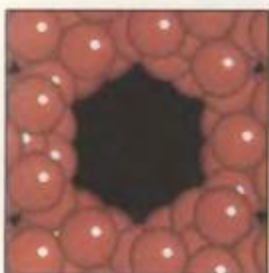
46 Желудочно-кишечный тракт в процессах роста и размножения
Керстин Увнес-Моберг

Желудочно-кишечный тракт — самая большая эндокринная железа организма. Он играет важную роль в перестройке обмена веществ в ходе беременности, а также роста плода и ребенка



54 Образное мышление в ледниковую эпоху
Рэндолл Уайт

Около 35 000 лет назад наши предки, жившие на территории Европы, стали изготавливать первые нательные украшения и предметы, отображающие окружающий мир. Этому предшествовал длительный, протяженностью 2,5 млн. лет период, для которого характерны не столь значительные нововведения в материальной культуре человека



62 Синтетические цеолиты
Джордж Т. Керр

За последние 30 лет произошло коренное обновление нефтяной промышленности, вызванное внедрением искусственно полученных природных пористых минералов, известных под названием цеолиты. Работы по синтезу новых, имеющих практическое значение цеолитов непрерывно расширяются

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

25, 44, 52, 68,

84, 90 Наука и общество

70 Наука вокруг нас

80 Занимательный компьютер

86 Книги

98 Эссе

99 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

Harry Myers
PRESIDENT AND PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
Timothy M. Beardsley
John M. Benditt, Laurie Burnham
Elizabeth Corcoran
Gregory R. Greenwell
John Horgan, June Kinoshita
Philip Morrison (BOOK EDITOR)
Tony Rothman, Rick L. Rusting
Russel Ruthen, Paul Wallich
Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Fircow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1989 by Scientific American, Inc.

Товарный знак *Scientific American*,
его текст и шрифтовое оформление
являются исключительной собственностью
Scientific American, Inc.

и использованы здесь в соответствии
с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

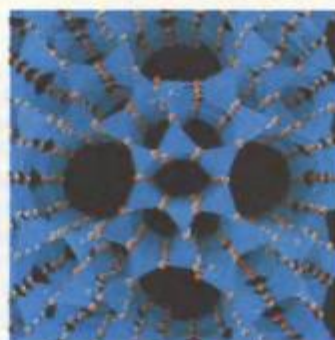
ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

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», 1989

На обложке



СИНТЕТИЧЕСКИЕ ЦЕОЛИТЫ

На обложке изображена модель кристаллического цеолитного катализатора ZSM-5 (см. статью Джорджа Т. Керра «Синтетические цеолиты» на с. 26). Это один из многих синтетических цеолитов, применяемых в промышленности, особенно в нефтеперерабатывающей. Синим цветом показаны тетраэдры, в центре которых находятся атомы кремния или алюминия, а в вершинах — атомы кислорода (красные); атомы кислорода показаны непропорционально маленькими. Изображение получено с помощью программы Chem-X, разработанной и распространяемой фирмой Chemical Design Ltd. (Оксфорд, Англия).

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Chemical Design Ltd.

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК
7—9 Ian Worpole	Chicago; photographs by Randall White	photograph by Randall White
11 Tass/ Sovfoto		
12 Johnny Johnson		61 Field Museum of Natural History; photographs S. Varnedoe
13 Tass/Sovfoto	57 Institut Royal des Sciences Naturelles, Brussels, photographs by Randall White	63 Chemical Design Ltd.
17 James L. Olds, National Institute of Neurological and Communica- tive Disorders and Stroke	58 Institute für Urgeschichte, University of Tübingen (вверху), Musée National de Préhistoire, Les Eyzies-de-Tayac (внизу)	64—66 Gabor Kiss 67 Mark E. Davis, Virginia Polytechnic Institute and State University
18—24 Thomas C. Moore 27 Quesada/Burke		70—73 Michael Goodman 75—78 С. К. Аносов
28—31 Hank Iken		80—83 Clifford A. Pickover, IBM Thomas J. Wat- son Research Center
35 Keith G. Cox, University of Oxford	59 Musée des Antiquités Nationales, Saint- Germain-en-Laye; Logan Museum of Anthropology, Beloit College; and Musée des Antiquités Nationales; photographs by Randall White	
36—42 George Retseck		
47 National Art Museums of Sweden		
48—51 Patricia J. Wynne		
54—55 Institut für Urgeschichte, University of Tübingen		
56 Field Museum of Natural History,	60 Logan Museum of Anthropology;	

Ashton B. Carter "Testing Weapons in Space" (ЭШТОН Б. КАРТЕР «Испытание вооружений в космосе») — профессор-политолог и директор Центра науки и международных отношений при Гарвардском университете. Степень доктора философии по теоретической физике получил в 1979 г. в Оксфордском университете. С тех пор он работал в Рокфеллеровском университете, в Управлении научно-технической оценки при конгрессе США, в канцелярии министра обороны и в Массачусетском технологическом институте. В настоящее время Картер работает консультантом различных государственных учреждений США.

Daniel L. Alkon "Memory Storage and Neural Systems" (ДЭНИЕЛ Л. ЭЛКОН «Память и нейронные системы») возглавляет лабораторию молекулярной и клеточной нейробиологии в Национальном институте неврологических заболеваний, инсульта и нарушений речи. По образованию врач-терапевт; в 1969 г. получил степень доктора медицины в Медицинском колледже Корнеллского университета. Интерес к изучению поведения человека на молекулярном уровне привел его к исследованиям памяти, которые он начал в 1970 г., работая в системе Национальных институтов здоровья. Главной ценностью в своей жизни Элкон считает семью. В свободное время играет в теннис и отдыхает близ реки Потомак или же на океанском побережье в Вудс-Холе.

Daniel L. Stein "Spin Glasses" (ДЭНИЕЛ Л. СТЕЙН — «Спиновые стекла») — доцент физики Аризонского университета. Учился в Университете Брауна и Принстонском университете, где в 1979 г. получил степень доктора философии. Стейн был первым директором Летней школы по сложным системам, проходившей в 1988 г. в Санта-Фе (шт. Нью-Мексико). Его работа связана с разработкой сложных вычислительных процедур, исследованием спиновых стекол, структурных стекол и проблемами биофизики.

Robert S. White and Dan P. McKenzie "Volcanism at Riffs" (РОБЕРТ С. УАЙТ, ДЭН П. МАККЕНЗИ «Рифтовый вулканизм») работают в Кембриджском университете. Уайт является руководителем морской геофизической группы и недавно стал

профессором геофизики; Маккензи — профессор отделения наук о Земле. Докторские диссертации оба защитили в Кембридже — Уайт в 1977 г., а Маккензи — в 1966 г. Большую часть своего времени они отдают работе в своем университете, но, кроме того, сотрудничают и с другими американскими исследовательскими институтами и университетами. Уайт и Маккензи много путешествуют, изучая тектонические, геологические и сейсмологические явления, происходящие на суше и на море.

Kerstin Uvnäs-Moberg "The Gastrointestinal Tract in Growth and Reproduction" (КЕРСТИН УВНЕС-МОБЕРГ «Желудочно-кишечный тракт в процессах роста и размножения») — старший преподаватель кафедры фармакологии Королевского института в Стокгольме. В 1970 г. получила в этом институте степень доктора медицины. О себе пишет: «Я посвятила 10 лет жизни изучению физиологии эндокринного аппарата желудочно-кишечного тракта и родила 4-х детей, поэтому мне очень хочется соединить эти две области своего опыта и знаний».

Randall White "The Visual Thinking in Ice Age" (РЭНДОЛЛ УАЙТ «Образное мышление в ледниковую эпоху») — адъюнкт-профессор антропологии Нью-Йоркского университета. Родился в Канаде, защитил диссертацию по антропологии в Университете Торонто и в 1981 г. получил должность преподавателя в Нью-Йоркском университете. Статья Рэндола отчасти основана на результатах исследования хранящихся в американских музеях обширных коллекций предметов искусства ледникового периода с территории Франции и других изделий, большая часть которых никогда не изучалась, не была описана в научных публикациях и считалась французскими специалистами утерянной. К настоящему времени автор проанализировал более 200 украшений, изготовленных в ледниковый период. В 1986 г. он был приглашенным хранителем выставки в Американском музее естествознания, посвященной искусству ледникового периода, которая называлась «Темные пещеры, яркие образы».

George T. Kerr "Synthetic Zeolites" (ДЖОРДЖ Т. КЕРР «Синтетические цеолиты») — член редколлегии международного журнала "Zeolites", вел

исследовательскую работу по синтезу и изучению цеолитов в Mobil Research and Development Corporation, где он проработал с 1956 г. до своего ухода с официального поста руководителя группы. Научную деятельность в промышленности Kerr начал в 1952 г. после получения степени доктора философии в области органической химии в Университете шт. Пенсильвания.

Patricia Smith Churchland "Essay" (ПАТРИЦИЯ СМИТ ЧЕРЧЛЭНД «Эссе»), — профессор философии в Калифорнийском университете в Сан-Диего, автор книги "Neurophilosophy: Toward a Unified Science of Mind Brain" («Нейрофилософия: на пути к единой науке о разуме и мозге»).

АБАЧИЕВ СЕРГЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ («Наука вокруг нас», с. 74) — сотрудник НПО «Криогенмаш» в г. Балашиха Московской области. Параллельно с основной работой занимается исследованиями в области логики и методологии науки, а также философских вопросов техники. Проявляет особый интерес к процессам эвристического исследования числовых систем типа арифметических треугольников.

Книги издательства "Мир"

С. Вайнберг.
Открытие субатомных
частиц.

1986. 80 к.

У. Коффи
Молекулярная
диффузия и спектры.
1987. 3 р. 60 к.

Дж. Райнтжес
Нелинейные оптические
параметрические
процессы в жидкостях
и газах.

1987. 5 р.

Эти книги вы можете получить
наложенным платежом, направив
заказ по адресу:

125315 Москва, Ленинградский
просп., 78. Магазин № 19 «Мир»



SCIENTIFIC AMERICAN

ИЮЛЬ 1939 г. «БЛЕСТЯЩИЕ НАДЕЖДЫ ИЛИ СТРАШНАЯ УГРОЗА? В последние годы в научных статьях появились высказывания, что, если будет найден достаточно дешевый способ практического использования энергии, заключенной в атоме, мы получим в свое распоряжение невиданные доселе энергоресурсы. Атомная энергия, заключенная в куске угля, в миллиард раз превышает количество тепла, получаемое при сжигании этого куска. В печати сообщается об экспериментах, доказывающих, что метод извлечения атомной энергии будет разработан в ближайшем будущем. Он основан на бомбардировке изотопа уран-235 медленными нейтронами; при этом процессе высвобождается невероятное количество тепла. Одновременно с этим выделяются новые нейтроны, и при достаточном количестве урана-235 должна протекать цепная реакция огромной мощности».

«Поскольку большинство европейских стран не располагает большими запасами собственной нефти, с 1937 г. эти страны приступили к ускоренному производству других видов топлива, что позволит сделать запасы бензина на случай возможной войны. В генераторах многих марок европейских автомобилей из древесины и угля (древесного, каменного и бурого) вырабатывается горючий газ. В резервуарах других машин хранится под давлением натуральный и синтетический светильный газ. Проводятся эксперименты по использованию в качестве горючего ацетилена, а также расщепленного аммиака и водорода. Однако основным моторным топливом в Европе является гидрогенизированный бензин, вырабатываемый из угля или окиси углерода».

«Среди производственных процессов, применяемых при обработке сплавов алюминия, наиболее интересным и эффективным является ударная штамповка. С ее помощью небольшой скругленный кусок алюминия в мгновение ока превращается в тубик для зубной пасты, корпус карманного фонарика или в другой из нескольких сотен промышленных продуктов. Ку-

сок алюминия кладется на штамп и по нему ударяет молот. Возникающее высокое давление заставляет алюминий «просачиваться» в щели между штампом и молотом и принимать любую форму в зависимости от штампа. Образно говоря, металл «затекает» в форму».

«Почему звезды светят? Согласно теории Бете, являющейся самым значительным достижением теоретической астрофизики за последние 15 лет, причина светимости звезд — это превращение водорода в более тяжелые элементы. Если космическое тело в 330 000 раз превосходит по массе Землю и содержит 35% водорода, то, согласно этой теории, оно по размерам, яркости и температуре должно быть подобно Солнцу. Это относится и к Сириусу, и к бесчисленному множеству других звезд».



ИЮЛЬ 1889 г. «Томас А. Эдисон недавно раскрыл некоторые особенности своего образа жизни: «Да, я много работаю. Когда я бьюсь над какой-нибудь идеей, я тружусь день и ночь и ложусь спать не раздеваясь. Сплю с часу ночи до шести утра, а затем вскакиваю и продолжаю работать бодрый как ранняя пташка. Часто у меня в лаборатории бывает довольно весело. Помню над созданием лампы накаливания со мной трудились сорок два человека в большом помещении. Я нанял пианиста и ночами мы рабо-



Экипаж Диббла, приводимый в движение электричеством

тали под музыку. Такая жизнь нам нравится.»

«В журнале «Science» описаны впечатления человека, в опытных целях испытывавшего на себе действие гашиша. Он курил трубку, пока не почувствовал себя глубоко счастливым, после чего отложил трубку в сторону. Он ощущал, что переполнен мыслями, для изложения которых нужны целые тома. Пока он писал одно слово, в голове возникали тысячи других, мысли, казалось обгоняли друг друга. И что же? Те несколько слов, которые ему удалось записать, составили совершенно бессмысленный набор».

«Холодный рассудок и крепкие нервы, а также глубокие познания в области электричества — вот что отличает первоклассного линейного монтера. Если человек не способен четко рассуждать и быстро запоминать, он будет совершать серьезные ошибки, работая с проводами. Когда десятки проводов подсоединены к одному источнику питания, нужно быть готовым быстро в них разобраться — воистину, промедление здесь смерти подобно. Если проводник заземлен, его ни в коем случае нельзя касаться. Другое дело, если монтер сидит на крестовине деревянного телеграфного столба и работает с проводом, который не касается земли, — тут он в полной безопасности, как ребенок на руках у матери».

«Профессор Фрезениус из Висбадена после серии химических анализов сделал вывод, что в одном яйце содержится столько же питательных веществ, сколько в фунте вишен, в фунте с четвертью винограда, в полутоннах фунтах яблок, в двух фунтах крыжовника или четырех фунтах груш».

«На иллюстрации показана система передвижения по обычным шоссе-вым дорогам при помощи электричества. Изобретение запатентовано Харвеем Д. Дибблом из Рэпид-сити, территория Дакота. Вагон движется параллельно протянутым поверху проводам, а контактная штанга «прослеживает» небольшие отклонения от прямолинейного пути. Водителю требуется поворачивать руль лишь при поворотах налево или направо».

Испытания вооружений в космосе

*Если бы Договор о системах ПРО допускал большую свободу
в испытании вооружений, то отвечало бы это
интересам США? Ответить на этот вопрос помогут
результаты анализа основных положений этого договора*

ЭШТОН Б. КАРТЕР

КОГДА в конце 60-х и начале 70-х годов США и СССР разрабатывали соглашение по ограничению систем противоракетной обороны (ПРО), американские представители на переговорах признавали, что принятия договора, который просто запрещал бы развертывание системы ПРО территории всей страны, было бы недостаточно. При отсутствии дополнительных ограничений, касающихся разработки, испытания и производства элементов систем ПРО, Советский Союз мог бы без труда изготавливать и складировать такие элементы, а потом в нужный момент развернуть их. Действительно, если бы вдруг советская сторона решила нарушить договор, она очень быстро смогла бы развернуть систему ПРО территории своей страны. Поэтому американские представители выступали за такое соглашение, которое запрещало бы Советскому Союзу не только открыто развертывать систему ПРО территории своей страны, но и создавать условия для ее внезапного развертывания.

В то же время американские представители на переговорах не хотели чрезмерно ограничивать проведение исследований в области ПРО. Многие американские правительственные чиновники хотели, чтобы США продолжали поиск новых и по возможности лучших подходов к защите страны от ядерного удара. Необходимо было также проведение исследований в области противоракетной обороны, с тем чтобы помочь США оценить уровень советской военной технологии и подготовиться к ответным действиям в случае, если СССР развернет систему ПРО своей территории. Кроме того, наличие некоторых технологий, пригодных для обеспечения противоракетной обороны, могло бы оказаться полезным для других военных целей. Поэтому американская сторона была вынуждена проявлять осторожность в отношении того, где

должна пролегать граница между разрешительными и запретительными положениями договора.

Вопрос о такой же границе и сейчас занимает центральное место в советско-американских переговорах по контролю над вооружениями; на этот раз он касается разработки и испытания военных технологий, которые потенциально могут оказаться применимыми для систем ПРО космического базирования. Администрация Рейгана, приступив к осуществлению стратегической оборонной инициативы (СОИ), специально предназначена для интенсификации поиска таких технологий, естественно, стремилась сдвинуть эту границу в сторону расширения разрешительных положений. Вопрос, однако, остался нерешенным. Чтобы понять суть конфликта, лежащую в основе этого вопроса, вернемся в прошлое и рассмотрим цель первоначальных переговоров об ограничении систем ПРО.

ДВАДЦАТЬ лет назад (как и сейчас) было ясно, что никакой договор не сможет по-настоящему наложить запрет на исследования в области ПРО. Во-первых, потому, что никогда нельзя точно сказать, относится ли то или иное исследование непосредственно к области ПРО. Во-вторых, невозможно точно сказать, какие именно исследования проводятся в стенах научных лабораторий в СССР. К тому же сами США тоже стремятся извлечь определенную выгоду из исследований по программе ПРО. По этим причинам американская сторона настаивала на том, чтобы в дополнение к строгим ограничениям в отношении развертывания систем ПРО ограничить разработку и испытания компонентов систем ПРО, но не научные исследования.

Действительно, ограничения на испытания и разработку должны были распространяться не только на компоненты систем ПРО; они должны

были касаться в равной степени и других систем вооружения, технологически схожих с системами ПРО, таких как противоспутниковые системы (АСАТ) и системы вооружения против самолетов и тактических ракет малой дальности (ПВО). Модификации таких систем потенциально могут быть применены в системах противоракетной обороны. Те же соображения относятся и к радарным установкам, а также к другим средствам обнаружения, используемым в системах предупреждения о ракетно-ядерном ударе, слежения в космосе, регистрации испытания оружия и сбора разведывательных данных. В отсутствие ограничений на разработку и испытания таких средств вооружения Советский Союз смог бы незаметно реализовать возможности системы противоракетной обороны под видом выполнения какой-либо другой оборонной задачи и таким образом обойти условия договора, не нарушив их явно.

Окончательный итог переговоров — подписание Договора об ограничении систем ПРО 1972 г. — однозначно признает наличие как проблемы его прямого нарушения, так и проблемы действий в обход предусмотренных в нем условий. Статья I этого договора обязывает каждую сторону не только воздерживаться от развертывания системы ПРО территории своей страны, но также «не создавать основы для такой обороны». Статья VI запрещает придавать системам, не предназначенным для противоракетной обороны, «способности решать задачи борьбы со стратегическими баллистическими ракетами или их элементами на траекториях полета» и запрещает испытание их «в целях ПРО». Такие запреты в общем виде, однако, могут обрести силу лишь после того, как они будут выражены через конкретные технические параметры.

Договор 1972 г. (действие которого

пока еще имеет силу) содержит все же некоторые технические предпосылки, но большинство из них применимо к средствам ПРО той поры, когда они в основном включали наземные радиолокационные станции для слежения за головными частями баллистических ракет противника и наземные ракеты-перехватчики с ядерным зарядом для их уничтожения. Участники переговоров хорошо понимали, что наземные радиолокационные станции и ракеты-перехватчики были не единственными средствами, которые потенциально способны осуществить противоракетную оборону. Лазеры космического базирования, генераторы пучков элементарных частиц, инфракрасные датчики и большинство перспективных технологий, которые в настоящее время интенсивно исследуются в рамках программы СОИ, предлагались в качестве средств ПРО еще в 1972 г., а многие из них гораздо раньше. Однако участники переговоров считали, что детальное рассмотрение вопросов о таких технологиях будет возможным лишь тогда, когда

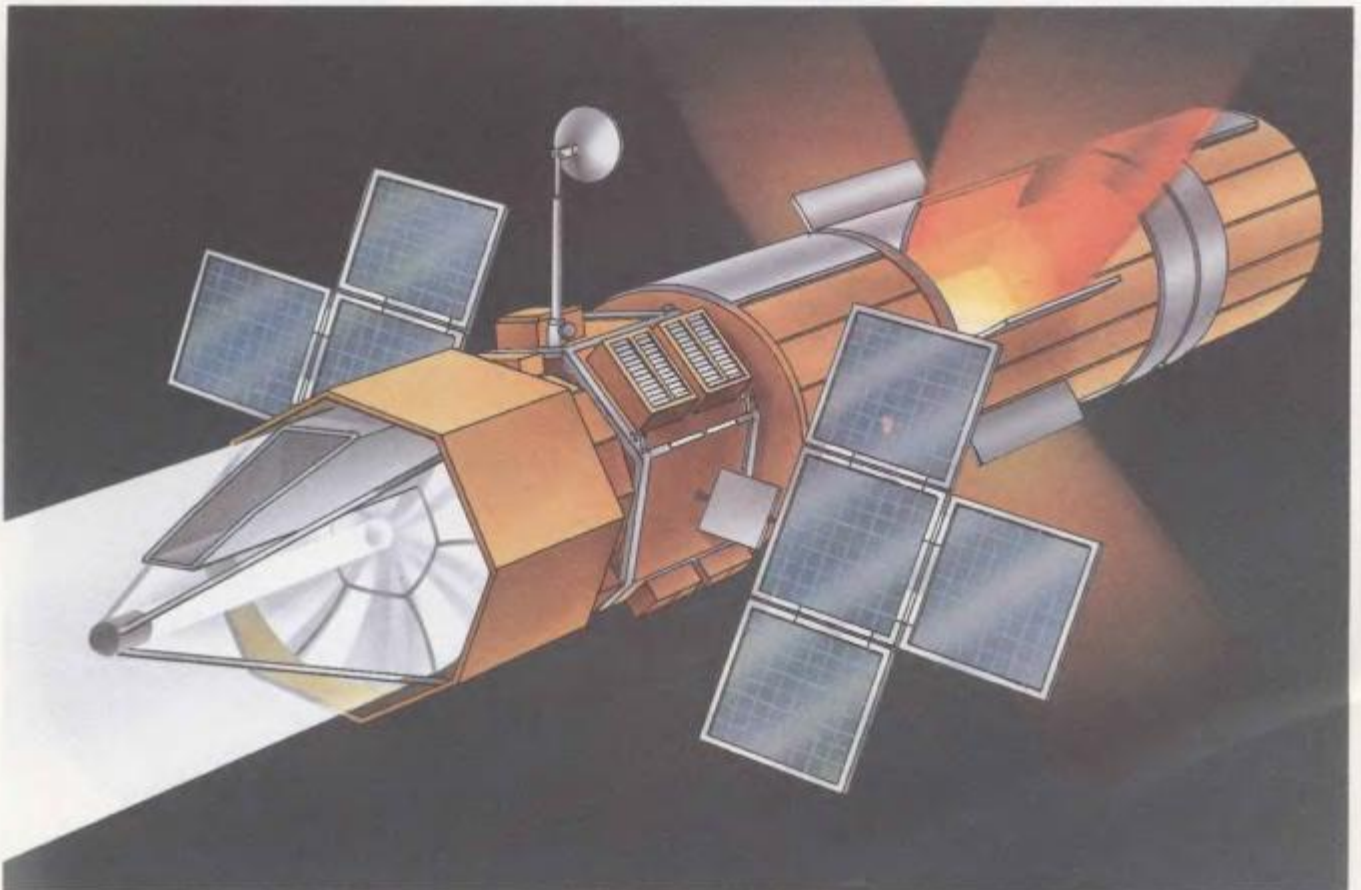
(и если) они достигнут такого совершенства, при котором каждая из сторон будет проявлять беспокойство о том, что другая сторона может явно или неявно нарушить договор.

При формулировании технических условий США стремились не только ограничить потенциальную возможность для СССР нарушить или «обойти» договор; они также добивались того, чтобы их собственная программа ПРО имела достаточную степень свободы в сборе данных, необходимых для того, чтобы определить, должны ли США продолжать строго придерживаться договора или они могут развернуть систему ПРО. Поскольку один набор условий, в равной мере относящихся к США и к СССР, должен сбалансировать угрозу быстрого развертывания системы ПРО и необходимость проведения исследований, связанных с поиском подходов к построению ПРО, обе эти цели иногда могут вступать в противоречие.

Действительно, такое противоречие возникло в связи с разработкой и

испытанием системы космического вооружения. Официальные представители рейгановской администрации, опасаясь, что формулировка нового перечня толкований положений договора сможет «похоронить» программу СОИ, отказались обсуждать технические вопросы с представителями Советского Союза. Вместо этого они отчаянно защищали «широкое толкование» договора, которое допускало неограниченное испытание в космосе новых компонентов ПРО. В свою очередь официальные представители советской стороны настаивали на том, чтобы исследования, связанные с созданием систем ПРО космического базирования, были ограничены, равно как их разработка и испытания — позиция, которая также не согласуется с принятым Договором по ПРО. Президент Буш теперь вынужден пытаться разрешить эту задачу, которая досталась ему в наследство от его предшественника.

Решение этой проблемы имеет исключительную важность для обеспечения дальнейшей жизнеспособности



ЛАЗЕР «ЗЕНИТ-СТАР», испытание которого США планирует провести в середине 90-х годов в рамках программы СОИ. Испытание ставит своей целью выявить потенциал химических лазеров как космического оружия. Во время испытаний выведенный на орбиту фтор-водородный лазер направит свой пучок на находящиеся на орбите цели. Некоторые обозреватели считают, что испытание лазера «Зенит-

Стар» противоречит положениям Договора по ПРО от 1972 г., который запрещает всякие испытания в космосе компонентов систем ПРО. Организация СОИ, однако, планирует провести испытания этого лазера в качестве противоспутникового оружия, которое прямо не подпадает под положения данного договора.

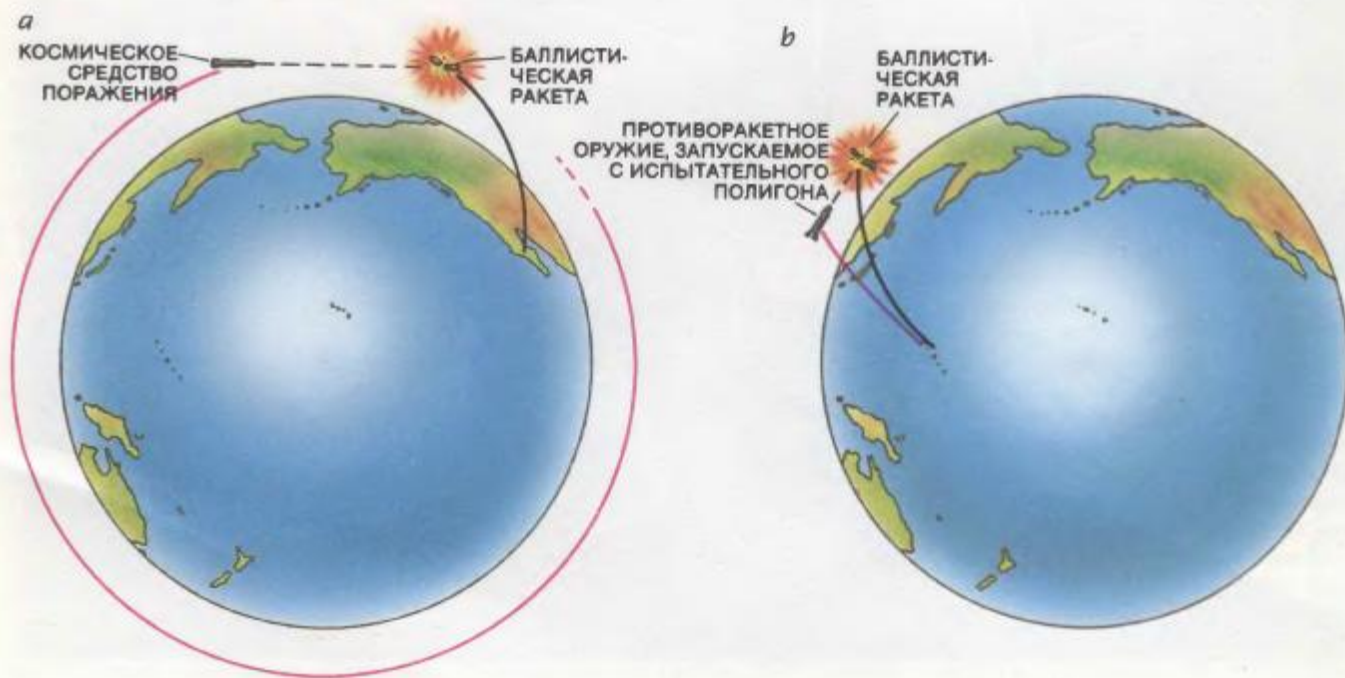
Договора по ПРО. Разработчикам противоспутникового оружия и космических сенсоров обнаружения как в США, так и в СССР необходимо знать, какие ограничения накладывает договор на проводимую ими работу. Наблюдателям, следящим за соблюдением договора, также нужно знать, что считать нарушением. И конгресс, и общественность США должны быть уверенными в том, что договор строго соблюдается.

В отношении налагаемых Договором по ПРО ограничений на создание новых средств вооружения должна быть внесена ясность в ближайшие годы на официальных переговорах между США и СССР по контролю над вооружениями. Однако в официальных соглашениях нет надобности: Организация СОИ и ее наблюдатели за ходом работ и соблюдением договоров могут и без них неофициально констатировать, какие виды проводимых космических экспериментов разрешены и какие запрещены — фактически показывая Советскому Союзу пример, которому следует подражать. До тех пор пока обе стороны удовлетворены тем, что другая сторона придерживается разумного толкования Договора по ПРО, эта проблема не будет стоять на пути к достижению новых соглашений по контролю над вооружениями.

КАКИМИ бы четкими ни были ограничения на испытания космических видов вооружения, необходимо, чтобы они основывались на фактических технических данных и на разумном диапазоне альтернатив. В соответствии с принятым толкованием Договор о системах ПРО запрещает испытание любого космического оружия, которое может быть использовано в целях перехвата стратегических баллистических ракет на траектории полета. Такое «законченное» испытание противоракетного оружия является незаконным независимо от того, идет ли речь о самонаводящейся ракете-перехватчике, мощном лазере, пучковом генераторе или каком-либо ином оружии. Налагаемый договором запрет на законченное испытание противоракетного космического оружия распространяется на любое оружие независимо от его технических параметров: нет такого порога на «силу» оружия, ниже которого допускались бы его испытания. Противоракетные вооружения могут законно испытываться в наземных условиях, но только на согласованных полигонах. Во многих случаях наземные испытания полностью адекватны и позволяют получать технические данные, необходимые для определения боеспособности космического оружия.

Несмотря на все попытки обойти традиционное толкование Договора по ПРО, рейгановская администрация заверила, что США и впредь будут верны договору. Тем не менее принятое толкование имеет лазейки, использование которых дает возможность проводить испытания противоракетного космического оружия таким образом, что многие технические характеристики незаконного законченного испытания противоракетного оружия могут быть репродуцированы. Так, в режиме выстреливания, например, испытываемое средство, которое осуществляет перехват баллистической ракеты, размещается не на стабильной околоземной орбите, а запускается на суборбитальную траекторию, так что оно в течение нескольких минут может находиться в космическом пространстве, пока ведутся испытания, а затем вновь войти в атмосферу. Хотя испытываемое оружие находится в космическом пространстве очень короткое время, его положение и скорость относительно цели могут быть почти такими же, как и при законченных испытаниях.

Фактически США заявили о своих планах проведения испытаний противоракетных ракет-перехватчиков в режиме выстреливания. Официальные представители Организации СОИ утверждают, что если это оружие будет



ЧЕТЫРЕ РЕЖИМА испытаний космического оружия, каждый из которых в Договоре по ПРО рассматривается как отличный от других, несмотря на то, что в определенном смысле они могут проводиться так, что условия в каждом режиме испытаний повторяются. В законченном режиме испытаний средств ПРО (а) оружие на стабильной орбите

перехватывает стратегическую баллистическую ракету на ее траектории в полете. В режиме выстреливания (б) перехватчик выполняет суборбитальный полет и потому не может считаться средством космического базирования. При испытании в противоспутниковых целях (с) и оружие, и мишень находятся на орбите. При испытании в режиме

выведено в космическое пространство с помощью ракеты-носителя, запущенной с испытательного противоракетного полигона, то его следует рассматривать как средство ПРО наземного, а не космического базирования, даже если оно разрабатывается как часть системы, которая должна быть развернута в космосе. Поскольку договор допускает проведение испытаний наземных систем ПРО (даже в рамках традиционного толкования его положений), США могут утверждать, что планируемое ими испытание ракет-перехватчиков не является нарушением установленных договором ограничений. Однако если эта лазейка в договоре остается открытой, то, значит, испытания космических средств перехвата в режиме выстреливания могут считаться законными до тех пор, пока они не достигнут полного противоракетного потенциала.

Ракеты-перехватчики вполне могут быть испытаны в режиме выстреливания, но мощные химические лазеры (которые предлагается использовать в качестве космического оружия) слишком громоздки и дороги, чтобы их можно было выводить на короткое время на субтраектории. И все же можно использовать другую лазейку в традиционном толковании Договора по ПРО для того, чтобы, не нару-

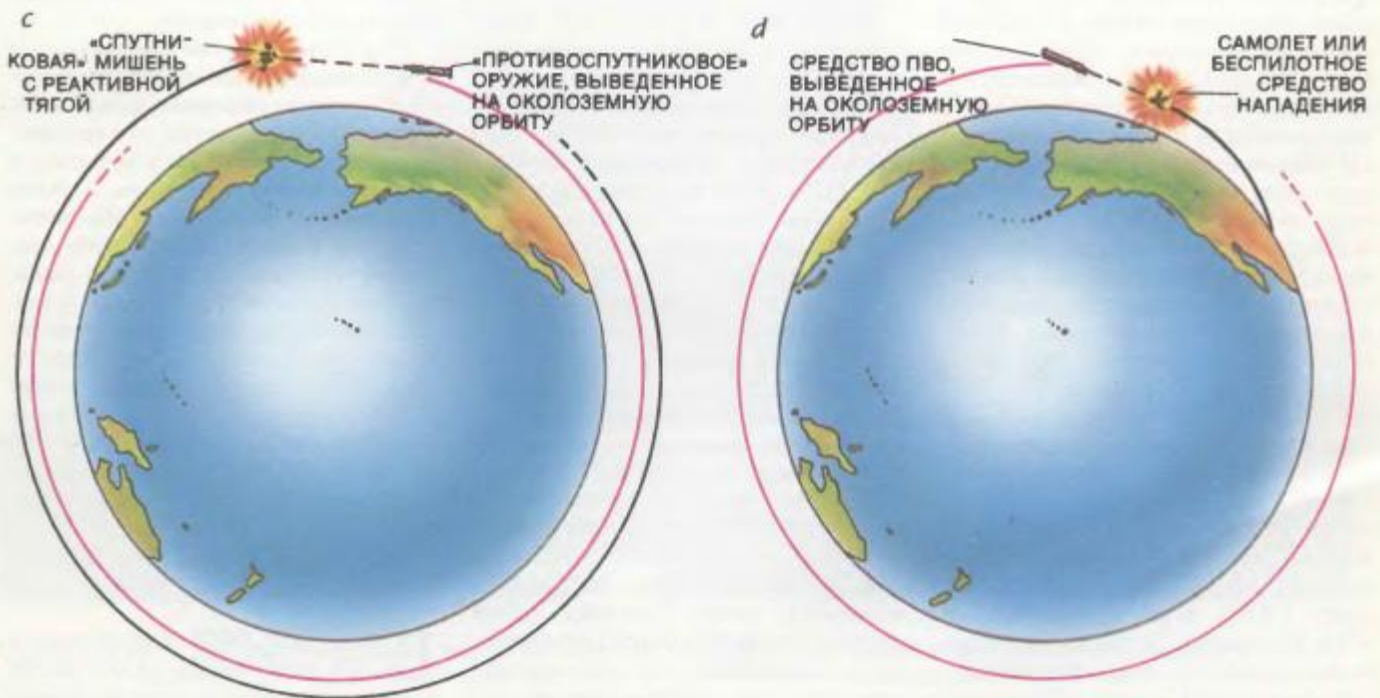
шая его «буквы», можно было проводить испытания такого лазера. Хотя в рамках традиционного толкования испытания систем ПРО в космосе запрещены, договор не запрещает испытаний в космосе противоспутниковых систем.

Поэтому совершенно законным является проведение испытаний противоспутникового оружия, при котором находящиеся на околоземной орбите средства перехватывают находящиеся на орбите цели. Советский Союз проводит испытания космических летательных аппаратов-перехватчиков именно в этом режиме в течение уже более 10 лет, а США намереваются в середине 90-х годов провести испытания противоспутниковой системы на базе большого лазера на фтористом водороде под кодовым названием «Зенит-Стар». Испытание противоспутниковой системы можно легко провести с целью моделирования испытаний в режиме ПРО, используя в качестве мишени спутник, оснащенный ракетным ускорителем, приводимым в действие в момент испытания, так что спутник в результате имитирует стратегическую баллистическую ракету в режиме разгона или после ускорения.

Испытания противоспутникового оружия в отличие от режима выстреливания Договором по ПРО ограни-

чиваются некоторыми рамками. Условие договора, блокирующее его обход таким образом, содержится в статье VI, устанавливающей вполне определенный порог, выше которого испытания противоспутниковых средств считаются незаконными, поскольку эта статья запрещает прилагать видам вооружений, не предназначенным для целей ПРО, таким как противоспутники, противоракетный потенциал. Космический лазер «Зенит-Стар» может превзойти, а может и не превзойти этот порог: в зависимости от того, что понимать под словами «способность решать задачи борьбы со стратегическими баллистическими ракетами».

НЕТРУДНО представить себе, как в принципе могут быть определены пороговые ограничения для лазеров, ракет-перехватчиков и пучкового оружия, которые испытываются в космосе для целей противоспутниковой и противовоздушной обороны, но потенциально применимых также для систем ПРО. Например, быстрота, с которой космическая лазерная установка способна уничтожать цели на заданном удалении (и, стало быть, ее способность выполнять задачи ПРО), в значительной мере определяется яркостью лазерного излучения, т. е. мощностью пучка, излучаемого



ПВО (d) оружие нацеливается на летящий самолет или на наземную мишень. В соответствии с принятым толкованием Договора по ПРО запрещает испытание любого вида оружия в полном режиме, но не ограничивает их проведение в режиме выстреливания, если оружие запускается с согласованного испытательного полигона. Также разрешается

проведение испытаний в космическом пространстве в противоспутниковом режиме и режиме ПВО, если они не выходят за рамки точно не установленного порога, за пределами которого эти режимы рассматриваются как «способные решать задачи борьбы со стратегическими баллистическими ракетами».

лазерной установкой, деленной на угол расходимости конуса, в котором направляющее зеркало лазера может сфокусировать этот пучок. Следовательно, верхняя предельная величина яркости лазерного излучения в космическом пространстве может служить в качестве реального показателя для запрета использования таких видов вооружения в целях борьбы со стратегическими баллистическими ракетами.

По мнению специалистов Исследовательской группы по научно-техническим проблемам создания оружия направленной энергии при Американском физическом обществе, даже ракета-носитель достаточно прочная, чтобы противостоять лазерному излучению, относительно быстро претерпела бы разрушение, если бы она оказалась облученной энергетическим потоком величиной 300 кВт/см^2 . При типичной дальности действия системы перехвата баллистических ракет порядка 2000 км создание такого потока на этом расстоянии возможно при яркости лазера более 10^{22} Вт/стер . Лазерную установку с такой высокой яркостью излучения вряд ли удастся создать в ближайшие годы; в настоящее время, судя по опубликованным данным, самые мощные химические лазеры (которые сооружаются исключительно в наземных условиях) имеют яркость порядка 10^{17} Вт/стер .

Конечно, если СССР вдруг произведет испытания лазера с подобной яркостью в космосе, США должны были бы испытывать беспокойство по поводу того, что Советский Союз в нарушение или в обход Договора по ПРО находится на пути к созданию лазерного оружия, способного решать задачи борьбы со стратегическими баллистическими ракетами, даже если бы СССР утверждал, что эти лазерные установки предназначены для противоспутниковых целей. В действительности американские военные специалисты по вопросам обороны были бы обеспокоены, если бы Советский Союз вывел на орбиту лазеры даже со значительно меньшими параметрами яркости, поскольку арсенал современных стратегических ядерных сил США состоит из межконтинентальных баллистических ракет (МБР) типа «Минитмен» и «МХ/Пискипер», а также запускаемых с подводных лодок баллистических ракет (БРПЛ) типа «Посейдон» и «Трайдент», которые не защищены против лазерного излучения. Кроме того, в соответствии с некоторыми сценариями, содержащими оценку потенциальной военной мощи возможного противника, выведенный в кос-

мос советский лазер мог бы приблизиться к американским ракетам на расстоянии ближе 2000 км. Следовательно, пороговый предел яркости, который мог бы представлять опасность, оказывается ближе к 10^{17} , а не к 10^{22} Вт/стер . Вероятно, что расчеты советских специалистов привели бы их к тем же выводам относительно американских лазеров, выведенных в космос. Аналогично можно определить пороговые параметры и для других видов вооружений с точки зрения их способности решать задачи борьбы со стратегическими баллистическими ракетами.

Несмотря на то что установление порога по одному-единственному параметру может быть технически удобным и казаться привлекательным, на практике такой подход весьма проблематичен. Потенциальная возможность использования космической лазерной установки в целях противоракетной обороны зависит не только от яркости генерируемого им пучка, но и от длины волны излучения, от способа подачи энергии для его накачки на борт платформы, где он размещается, и от многих других факторов. Кроме того, системы захвата, наведения и отслеживания, которые направляют лазерный пучок на цели, сами по себе характеризуются некоторой совокупностью параметров, которые непосредственно определяют способность космического лазера выполнять функции ПРО.

Вторая важная проблема, с которой приходится сталкиваться в процессе переговоров об установлении пороговых значений параметров оружия, заключается в их проверке. Каждая из сторон, подписавших Договор по ПРО, должна быть уверена в том, что другая сторона придерживается достигнутой договоренности. Если в качестве критерия, на основе которого можно судить о соблюдении договора в отношении размещаемых в космическом пространстве лазерных установок, избирается яркость лазера, то каждая сторона должна располагать некоторым методом измерения яркости космических лазеров, испытываемых другой стороной.

США и СССР могли бы развернуть группу спутников, способных фиксировать лазерные пучки, но вряд ли возможно, чтобы спутники одной стороны оказались ориентированными в направлении излучения находящегося в космосе лазера другой стороны в момент его испытания. Пришлось бы использовать разведывательные датчики, которые способны улавливать энергию лазерного излучения, рассеиваемую фокусирующим зеркалом, присутствующим в

космическом пространстве остатками космической техники, целями, используемыми при испытании, а также самой земной атмосферой. Дополнительная информация может поступать от другой чувствительной аппаратуры, предназначенной для регистрации продуктов сгорания химического лазера (которые выбрасываются в космическое пространство) или электромагнитных излучений лазеров с электрической накачкой. Физические размеры оптических систем космических лазерных установок (которые определяют телесный угол пучка) можно было бы измерять с поверхности Земли или в космосе путем получения изображений лазерной установки в то время, когда она освещается солнечным светом, облучается пучком другого лазера или радарной установкой.

Хотя все эти методы проверки технически доступны, ни один из них не является вполне надежным и все они слишком дороги. США пришлось потратить несколько десятилетий и много миллиардов долларов на то, чтобы изготовить и разместить всю аппаратуру, которая в настоящее время используется для слежения за советскими системами ПРО и наступательными ракетными силами. Примерно столько же времени и такая же сумма потребуются для создания системы проверки соблюдения Советским Союзом новых условий Договора по ПРО, касающихся установленных пороговых величин.

Другим слабым местом пороговых ограничений в установлении отвечающих условиям договора правил является то обстоятельство, что космическое оружие может быть испытано в условиях ниже пороговых, а затем модифицировано, с тем чтобы повысить его боеспособность. Если окажется, что произвести такую модификацию можно без особого труда, то ограничения, налагаемые пороговыми величинами, создают недостаточный «буферный» период, чтобы можно было предпринять ответные меры на быстрое явное и неявное нарушение договора: единственная остающаяся в этом смысле возможность — это как можно быстрее развернуть собственные средства обороны.

В СООТВЕТСТВИИ с принятым в США толкованием Договора по ПРО он совершенно запрещает проведение полномасштабных испытаний противоракетного оружия в космосе, не ограничивает испытания в режиме выстреливания и допускает испытания систем обороны против спутников и летательных аппаратов до по-

рога, который пока еще строго не установлен. Ясно, что перед американскими и советскими специалистами, обсуждающими правила испытаний в рамках договора, возникает одна ключевая задача — определить некоторые пороговые условия для испытаний оружия против спутников и летательных аппаратов.

Другая не менее важная задача заключается в том, чтобы определить, должно ли быть разрешено без всяких оговорок испытание противоспутниковых систем против целей, оснащенных ракетной тягой. У обычных спутников, против которых и будут использоваться реальные системы противоспутникового оружия, двигатели

включаются с перерывами и на низких уровнях тяги. Следовательно, запрещение испытаний противоспутниковых систем против целей, снабженных ракетной тягой, сдерживало бы разработку только систем ПРО, а не противоспутниковых систем. (Конечно, сверхдержавы, возможно, хотели бы также ограничить разработку про-



РАДИОЛОКАТОР под Красноярском сооружен на территории СССР в нарушение Договора по ПРО, в соответствии с которым все такие радиолокационные станции должны размещаться на периферийной территории с ориентацией вовне. Цель этого требования в том, чтобы затруднить как для США, так и для СССР явное или неявное нарушение договора. В данном случае явное нарушение заключается в том, что создается возможность быстрого развертывания общегосударственной системы ПРО одной из сторон после того, как она решит в одностороннем порядке аннуиро-

вать договор; неявное нарушение заключается в негласном улучшении разрешенных противоспутниковых систем и средств ПВО или систем предупреждения о ракетном нападении, в результате чего эти системы приобретают потенциал запрещенной противоракетной обороны. Для того чтобы сохранить целостность договора в будущем, в нем необходимо предусмотреть ограничения на перспективные технологии ПРО, которые препятствовали бы подобным явным и неявным нарушениям договорных условий.

УТОЧНИТЬ ТРАДИЦИОННОЕ ТОЛКОВАНИЕ ДОГОВОРА ПО ПРО

Подтвердить, что испытание любого вида системы космического вооружения в полном режиме ПРО запрещено.

Подтвердить, что имитация или попытка перехвата в космосе также запрещена.

Подтвердить, что те же правила применимы к перехвату на стадии ускорения как стратегических, так и нестратегических ракет.

Определить, разрешены или не разрешены испытания вооружений в режиме выстреливания.

Определить, разрешены или запрещены испытания противоспутниковых систем против целей, оснащенных реактивной тягой.

Определить порог, при котором противоспутниковые и противовоздушные вооружения «способны решать задачу борьбы со стратегическими баллистическими ракетами». Подтвердить, что испытания в космосе вооружений, превосходящих этот порог, не допускаются.

Определить порог, при котором космические противоспутниковые и противовоздушные системы достигают способности ПРО или создают основу для быстрого развертывания ПРО. Подтвердить, что развертывание систем, превосходящих этот порог, запрещено.

Договориться о запрещении создания специальных помех (например, о работе телеметрических станций) во время проведения космических испытаний во всех разрешенных режимах.

Договориться о том, чтобы испытания космических вооружений во всех разрешенных режимах проводились с (или на) имеющихся испытательных полигонов для МБР или БРПЛ и согласованных испытательных полигонов ПРО или с борта космических вооружений, проходящих над этим полигоном.

ДОГОВОРИТЬСЯ О БОЛЕЕ ОГРАНИЧИТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

Договориться по большинству или по всем перечисленным выше пунктам.

Договориться о запрещении испытаний всех вооружений в режиме выстреливания.

Договориться о запрещении испытаний всех противоспутниковых вооружений против целей, оснащенных (а, возможно, даже и не оснащенных) реактивной тягой.

Договориться о запрещении всех испытаний в режиме ПВО.

Договориться о том, чтобы до непосредственного проведения испытаний космических вооружений о них было объявлено и представлено их описание.

Договориться о проведении предстартовой инспекции определенных видов полезного груза, используемого в испытаниях космических вооружений.

Договориться о запрещении вывода в космическое пространство ядерных реакторов, за исключением тех, которые устанавливаются на гражданских космических аппаратах, проходящих предстартовую инспекцию.

ДОГОВОРИТЬСЯ О БОЛЕЕ РАЗРЕШИТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

Определить орбитальные испытательные полигоны, на которых каждая сторона может проводить испытания космических вооружений.

Договориться о численности и видах космических вооружений, которые могут испытываться на том или ином орбитальном испытательном полигоне.

Определить, какие виды испытаний запрещается проводить в космосе, за исключением тех, которые проводятся на орбитальном испытательном полигоне.

Договориться об определенных мерах, способствующих наблюдению за деятельностью, осуществляемой на орбитальном испытательном полигоне.

Договориться о том, что все испытательные мишени должны запускаться с имеющихся испытательных полигонов для МБР и БРПЛ, или с согласованных испытательных полигонов ПРО.

Договориться о запрещении испытаний компонентов развернутых противоспутниковых систем или средств ПВО космического базирования в полном режиме ПРО.

Определить порог, при котором противоспутниковые системы и средства ПВО космического базирования приобретают способность выполнять задачи ПРО или создают основу для быстрого развертывания системы ПРО. Договориться о запрещении развертывания систем, превосходящих установленный порог.

Договориться об ограничении запусков мощных средств доставки, с тем чтобы предотвратить быстрое развертывание космической системы ПРО.

Подготовить односторонние контрмеры, необходимые для того, чтобы быть уверенным в эффективности наступательных ракетных сил при возрастающем риске явного или неявного нарушения договора, связанного с принятием разрешительного режима на испытание вооружений.

тивоспутникового оружия, но для этого потребовалось бы заключение нового договора.)

Необходимо было бы также рассмотреть вопрос о том, чтобы совсем закрыть лазейку, создаваемую испытаниями в режиме выстреливания. Предполагалось, что испытание систем ПРО на определенных испытательных полигонах, которое допускается условиями Договора по ПРО, будет разрешено только для ее наземных компонентов. Однако оружие, способное выполнять функции противоракетной обороны и испытание которого проводится в режиме выстреливания, в основном рассчитано на космическое, а не на наземное размещение.

Наконец, в любом соглашении, проясняющем узкие места Договора по ПРО, должны также оговариваться меры, облегчающие проверку соблюдения обеими сторонами согласованных ограничений. В общем было бы предпочтительно сформулировать ограничения, включенные в договор по контролю над вооружениями, в терминах практического проведения испытаний, а не в числовом выражении пороговых величин, отражающих боевые качества того или иного оружия, поскольку осуществить проверку его испытания гораздо легче.

ВМЕСТО того чтобы уточнять и обновлять традиционное толкование Договора по ПРО, американские и советские участники переговоров могли бы договориться о том, чтобы заменить этот договор новым соглашением. Такое соглашение могло бы носить либо более ограничительный, либо более разрешительный характер, чем документ от 1972 г. В любом случае договаривающимся сторонам пришлось бы сбалансировать две главные цели первоначального договора: предоставить каждой стороне достаточное «буферное» время на случай, если одна из них явно или неявно быстро нарушит соглашение о недопустимости развертывания широкомасштабной системы ПРО, и в то же время допустить проведение исследований в области новых технологий ПРО и других военных задач, связанных с отражением ракетного удара.

Реализация более ограничительно-го подхода могла бы начаться с полного запрещения испытания в космосе противоспутниковых вооружений — даже против целей, не имеющих средств коррекции орбиты. Такое соглашение сдержало бы разработку и развертывание противоспутниковых систем космического базирования, а также космических систем ПРО. (Испытание наземных противо-

ТРИ ПОДХОДА к переговорам по заключению соглашения об ограничении испытаний в космосе вооружений, способных выполнять функцию ПРО, различаются по строгости этих ограничений. Цель заключается в том, чтобы сформулировать взаимно приемлемые ограничения, которые допускали бы разумные масштабы исследований и испытаний различных концепций ПРО и в то же время гарантировали бы каждой стороне достаточно продолжительный «буферный» период, позволяющий предпринять ответные меры.

спутниковых систем и космических мин, вероятно, пока можно было бы не запрещать.) Оно также устранило бы потребность в определении пороговых параметров и, следовательно, облегчило бы процедуру проверки.

Даже если сверхдержавы не выражат желания запретить все виды испытаний космических вооружений, они по крайней мере могли бы согласиться на новые и настоятельно необходимые средства проверки соблюдения существующих ограничений, содержащихся в Договоре по ПРО. Что касается космических вооружений, то соглашение, облегчающее контроль, могло бы потребовать объявления и описания испытаний в космосе до того, как они фактически будут проводиться, и даже допускать предстартовую инспекцию испытываемых боевых зарядов другой стороной.

Еще одной альтернативой могло бы быть запрещение размещения в космосе ядерных реакторов. Такая мера существенно сдерживала бы разработку многих видов космического пучкового оружия, поскольку пока еще не существует каких-либо альтернативных источников энергии, способных генерировать такое большое количество энергии, которое необходимо для вооружений этого вида. Планетарные космические зонды для гражданских исследований и источники ядерной энергии малой мощности не реакторного типа были бы исключены из рассмотрения, хотя и их можно было бы подвергать инспекции до запуска, с тем чтобы удостовериться, что они не могут быть частью системы вооружения.

В то же время значительно более разрешительный подход к разработке и испытанию вооружений в космосе мог бы вполне отвечать первоначальной цели Договора по ПРО. Такой подход мог бы быть приемлемым, если бы можно было продемонстрировать, что для окончательного развертывания потребуется достаточно продолжительное время и приобретение космического противоракетного потенциала не может быть внезапным. Иными словами, развертывание эффективной системы ПРО в космосе в конце концов может потребовать такого длительного времени, что нарушение договора станет невозможным, даже если компоненты системы уже разработаны и испытаны.

Фактически Договор по ПРО включает в себе именно такой взгляд на разработку и испытание стационарных систем ПРО наземного базирования. Испытания таких систем не ограничиваются слишком строго (если они выполняются на специально оговоренных испытательных полиго-

нах), очевидно, по той причине, что договаривающиеся стороны полагали, что развертывание эффективно действующей системы ПРО наземного базирования будет настолько заметным и длительным, что если бы одна из сторон нарушила условия договора и начала развертывать такую систему, то другая сторона успела бы принять ответные меры.

МОЖНО ли сделать так, чтобы относительная свобода в разработке и испытании систем ПРО космического базирования также не нарушала тех условий, которые препятствуют нарушению Договора по ПРО и таким образом отвечала бы основной его цели? Если можно, то соглашение, которое разрешало бы интенсивные испытания в космосе при сохранении абсолютного запрета

на размещение, могло бы быть оправданным без ссылки на сомнительное «буквоедческое» обоснование широкого толкования Договора по ПРО, сторонником которого была администрация Рейгана.

При наличии такого соглашения каждой стороне разрешалось бы по согласованию установить орбитальный испытательный полигон, где она могла бы проводить испытание космических вооружений в полном режиме ПРО. Имеется немало способов, как можно было бы определить такой испытательный полигон, но самый простой из них заключается в том, чтобы каждая сторона установила параметры, определяющие конкретную орбиту: высоту, наклонение, долготу и время прохождения узла восхождения. Этот орбитальный испытательный полигон мог бы состоять из од-



РАКЕТА-НОСИТЕЛЬ «ЭНЕРГИЯ». Ее наличие у СССР влияет на способность Договора по ПРО сдерживать Советский Союз от выхода из него. Полагают, что одна такая ракета может доставить на низкую околоземную орбиту до 100 000 кг полезного груза. (В США самая мощная ракета-носитель, космический шаттл, способна нести полезный груз около 25 000 кг.) При наличии средства доставки такой грузоподъемности Советский Союз смог бы развернуть систему ПРО космического базирования первого поколения за несколько лет.

ной космической конструкции, размещенной на согласованной орбите. Все подлежащие испытанию вооружения в этом случае стыковались бы с этой конструкцией. Более практичная схема могла бы просто предусматривать, чтобы все объекты, участвующие в испытаниях, оставались в состыкованном в один узел состоянии, скажем, в пределах сферы радиусом 50 км на установленной орбите.

Поскольку явное назначение такое орбитального испытательного полигона заключалось бы в том, чтобы он служил зоной для проведения практических испытаний компонентов систем ПРО, размещаться он должен на высоте, где можно было бы развернуть испытываемые компоненты, т. е. примерно 500—700 км над землей. Его орбита была бы наклонена так, что она проходила бы над полигонами каждой стороны для испытания МБР и БРПЛ и над полигонами для испытания наземных средств ПРО. Однако численность вооружений, которые допускалось бы размещать на орбитальном испытательном полигоне, была бы ограниченной и потому сам этот полигон не представлял бы угрозы для баллистических ракет другой стороны. Все испытательные перехваты в режиме полной ПРО должны были бы выполняться с полигонов, и никакие вооружения, испытываемые на полигоне, никогда не смогли бы быть развернуты в каком-нибудь другом месте. Каждая сторона могла бы в таком случае разместить разведывательные спутники вблизи орбитального испытательного полигона другой стороны, чтобы быть уверенным, что этот полигон не представляет какой-либо опасности.

Такое соглашение о контроле над вооружениями лишь незначительно могло бы помешать полномасштабной разработке и испытанию компонентов системы ПРО космического базирования — и той, и другой стороне. С точки зрения перспективы, которая видится американским участникам переговоров, заключение такого соглашения, стало быть, отвечало бы государственным интересам США только в том случае, если Советскому Союзу пришлось бы потратить много времени на развертывание системы противоракетной обороны, после того как это соглашение будет нарушено. В течение этого времени США могли бы укрепить свои собственные силы сдерживания, развернуть противоспутниковые вооружения, с тем чтобы уничтожить спутники системы ПРО, создать собственную систему противоракетной обороны или принять другие контрмеры, сводящие на нет советскую систему обороны.

нать другие контрмеры, сводящие на нет советскую систему обороны.

А насколько быстро смог бы Советский Союз развернуть систему ПРО в космосе, если бы он решил нарушить это соглашение? Время, в течение которого СССР оказался бы способным вывести на орбиту боевые заряды, и было бы равно нижнему пределу времени, необходимому для развертывания космической системы ПРО. К сожалению, это минимальное время могло бы быть очень коротким, по крайней мере для средств обороны первого поколения, имеющих ограниченные возможности.

Исследования, проведенные Управлением оценки технологии при конгрессе США, дают обоснованный, если не прямо приемлемый критерий, по которому можно измерить потенциальную возможность СССР нарушить соглашение. Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что развертывание системы «Фаза I» первого поколения, одобренной американской Организацией СОИ, привело бы к выводу на наклонную, низкую, околоземную орбиту груза общей массой 1—2 млн. кг. Однако по прогнозу министерства обороны США Советский Союз в начале 90-х годов будет способен ежегодно выводить на околоземную орбиту 1 млн. кг груза зарядов и около 2 млн. кг в период до конца нынешнего столетия. Почти весь этот прирост будет обеспечен новой мощной ракетой-носителем типа «Энергия», которая способна доставлять в космос полезный груз не менее 100 тыс. кг.

Если Советский Союз будет способен запускать ракеты-носители типа «Энергия» с частотой, предсказываемой министерством обороны США, и если ему будет позволено свободно разрабатывать и испытывать компоненты системы ПРО космического базирования, то в распоряжении США наверняка окажется не более нескольких лет буферного времени, чтобы принять меры против развертываемых СССР в нарушение достигнутых соглашений космической системы ПРО первого поколения, подобной американской системе «Фаза I» в рамках программы СОИ. Для СССР буферное время в случае нарушения договора Соединенными Штатами было бы намного большим, поскольку США не располагают такими мощными ракетами-носителями, сравнимыми с советской ракетой «Энергия».

До тех пор пока представители правительства США не будут иметь убедительных данных, чтобы быть уверенными, что Советский Союз в действительности не сможет в короткое время развернуть полностью разра-

ботанную систему ПРО, у них будут только три альтернативы, которые смогут обеспечить им достаточно длительный буферный период, предшествующий выходу Советского Союза из Договора по ПРО. Первая альтернатива — строго придерживаться традиционного толкования договора, что является эффективной мерой, препятствующей СССР осуществить окончательную разработку космических вооружений ПРО в силу имеющегося запрета на испытание компонентов систем ПРО космического базирования.

Вторая возможность — согласовать ограничения на величину выводимого полезного груза, а также определить по согласованию обеих сторон орбитальные испытательные полигоны. Эти ограничения могут в основном касаться числа стартовых площадок для запуска мощных ракет-носителей; размера помещений для сборки ракет-носителей, соединенных со стартовыми площадками рельсами или дорогой с расчетом на перевозку тяжелых грузов; мощности производственных предприятий и средств транспортировки, предназначенных для изготовления и доставки огромных ступеней тяжелых ракет-носителей; количества и размера установок для производства, транспортировки и хранения горючих на основе жидкого водорода.

Третья альтернатива заключается в компенсировании буферного времени путем развертывания (или подготовки к развертыванию) контрсредств против возможных советских систем ПРО. США, например, могли бы создать больше наступательных ракет или отказаться от определенных планов нацеливания, составленных исходя из беспрепятственной доставки ядерных ракет в цели. Несмотря на наличие открытых лазеек, неуставленных порогов и нечетких толкований, США и СССР, вероятно, будут и впредь стремиться в интересах обеспечения своей безопасности к тому, чтобы соблюдают режим, предписываемый Договором по ПРО. Причина заключается просто в том, что ни одна из сторон в настоящее время не знает, как построить систему защиты от ракет, которая была бы полностью приемлемой как с технической, так и с военной точки зрения. Тем не менее положения Договора по ПРО, действующие в отношении разработки и испытания военной технологии, требуют все же периодического пересмотра по мере того, как меняется уровень научно-технического развития. Представляется вполне вероятным, что вопрос о таком пересмотре, особенно в отношении космических вооружений, будет со всей очевидно-

стью фигурировать в ближайшие годы на переговорах сверхдержав по контролю над вооружениями.

Обсуждая такие технические правила и определения, весьма важно знать, что имеется довольно широкая зона, в которой можно провести границу между тем, что можно и чего нельзя делать в отношении создания и испытания средств ПРО. С одной стороны, разработка и развертывание космической системы ПРО на основе современной технологии будет по существу процессом заметным и длительным. Ни одна из сторон не хотела бы испытывать беспокойство по поводу того, что другая сторона может нарушить установленный договором режим и быстро развернуть значимую в военном отношении систему. С учетом этого можно с полным основанием утверждать, что правила, регулирующие разработку и испытание космических вооружений, можно без всякой опасности сделать достаточно разрешительными.

ОТ КОМИТЕТА СОВЕТСКИХ УЧЕНЫХ В ЗАЩИТУ МИРА, ПРОТИВ ЯДЕРНОЙ УГРОЗЫ

Статья известного и авторитетного американского специалиста Э. Картера поднимает весьма актуальную проблему, от решения которой во многом будет зависеть развитие советско-американского диалога в военно-политической сфере. Уже на протяжении более 15 лет Договор по ПРО регламентирует развитие военного соревнования в стратегической ядерной области, остается краеугольным камнем поддержания стратегической стабильности, и как следствие всей системы международной безопасности.

За этот период базисные положения договора, и прежде всего зафиксированная в нем взаимосвязь между наступлением и обороной в ядерной области, не только не утратили своего смысла, но напротив обогатились с еще большей остротой. В силу этого сохранение Договора по ПРО и сегодня остается важнейшей военно-политической задачей, тем более актуальной в свете продолжающихся в США работ по программе СОИ.

Сказанное однако не означает, что Договор по ПРО должен оставаться некой застывшей конструкцией, не подлежащей переосмыслению, уточнению и даже дополнению. Бурное развитие науки и техники, появление новых технических возможностей, напротив, настоятельно требуют дальнейшей кропотливой и возможно постоянной работы над данным документом. Это диктуется и необходимостью поддержания его на уровне, адекватном современным политическим реалиям.

Сразу необходимо оговориться, что все это не имеет ничего общего с поиском каких-либо новых толкований договора, выходящих за его смысл, расширяющих сферу дозволенного в естественных и до определенного момента необходимых исследованиях и экспериментах, проводи-

С другой стороны, все важнейшие технические работы, способствующие реализации современной концепции ПРО, пока можно выполнять, не прибегая к широкомасштабным космическим испытаниям и не выходя за рамки принятой интерпретации Договора по ПРО от 1972 г. (Действительно, всесторонние испытания в космосе исследовательской технологии могут оказаться напрасной тратой денег.) По этой причине есть полные основания утверждать, что правила можно было бы также сделать и строго ограничительными.

Пока к тому же нет никакой настоятельной необходимости в срочном проведении дискуссий по этому вопросу, поскольку в настоящее время имеется мало таких технологий ПРО, которые имели бы практическую военную значимость. Хотя многие технологии в США будут исследоваться как часть программы СОИ, лишь некоторые (а может быть, и никакие) концепции по имеющимся на

мных обеими сторонами в области новых технологий ПРО. Подобные «широкие» толкования, пропагандировавшиеся одно время администрацией Р. Рейгана, стали бы ничем иным, как миной замедленного действия, подложенной под сам договор, взрыв которой рано или поздно уничтожил бы его.

Цель видится как раз в обратном — в том, чтобы усилить значение данного договора как международно-правового акта, однозначно запрещающего участникам не только фактическое развертывание территориальной системы ПРО, но и эффективно препятствующего созданию базы для такой системы. Соответственно и цель любых усилий по пересмотру положений договора и его дополнению должна состоять в последовательном закрытии всех возможностей такого рода, предоставляемых современной технологией.

В то же время особенность нынешней ситуации такова, что современные технологии ПРО все более тесно смыкаются с другими не только военными, но и гражданскими областями, на что справедливо указывает в своей статье Э. Картер. В этой связи проблемы и вопросы, поставленные в публикуемой статье, безусловно заслуживают самого пристального внимания. Сюда относятся и необходимость уточнения целого ряда положений самого договора, и разработка дополнительных технических ограничений на параметры некоторых потенциально применимых для целей ПРО систем, таких как лазеры, ускорители элементарных частиц, космические энергоисточники и т. п. и разработка соответствующих средств и процедур проверки ограничений. Принципиально важным моментом нельзя не считать и то (и об этом сказано в статье), что императивом становится принятие целого ряда мер в смежных с ПРО военных областях. Пожалуй, наиболее очевидным примером этого является область противоспутниковых систем, рассмотрению которой в

сегодня весьма приблизительным схемам сохраняются до стадии серьезных опытных разработок. Всеобъемлющие и точные технические правила, относящиеся ко всем лазерным установкам и особенно к пучковым генераторам, перехватчикам и сенсорам, не обязательно должны быть сформулированы в ближайшее время.

Тем не менее обоюдное желание США и СССР серьезно стремиться к обновлению Договора по ПРО продемонстрировало бы, что обе сверхдержавы понимают техническую и военную основу этого важного соглашения по контролю над вооружениями, и, возможно, оно помогло бы в их переговорах по вопросу о сокращении наступательных ядерных вооружений. Более важно, вероятно, точно определить, какие действия по ПРО разрешаются и какие запрещаются, чем провести саму границу в определенном месте.

статье оправданно уделено большое внимание.

В целом уже сегодня следует исходить из того, что строго соблюдать Договор по ПРО в будущем станет, видимо, невозможно без разработки специального режима деятельности государств в космосе, который в полной мере учитывал бы все перечисленные в работе Э. Картера проблемы и включал бы в себя самое широкое сотрудничество сторон, а также меры, обеспечивающие открытость их космической деятельности и создающие барьеры к расширению использования околоземного пространства в военных целях. Подобный режим позволил бы решить многие сегодняшние проблемы, побуждающие некоторых специалистов предлагать более расширительный подход к толкованию договора, что на практике чревато реальным его подрывом.

В заключение необходимо отметить, что статья может оставить у кого-то из читателей ощущение, что именно действия СССР создают главную угрозу для режима Договора по ПРО, и что Советский Союз проводит разработки, направленные на создание реальной системы ПРО. Принципиальная позиция нашей страны по данному вопросу известна и состоит в том, что мы не будем создавать такой системы даже в ответ на подобные действия США. Думается, что опасность сознательного подрыва договора Советским Союзом не считает реальной и сам автор. Избранная же им форма изложения материала связана, видимо, с тем, что статья рассчитана прежде всего на американскую аудиторию, и ее цель — не только очертить круг существующих в данной области проблем, но и показать, что подрыв договора одинаково опасен для обеих сторон, вне зависимости от того, кто будет инициатором гонки космических вооружений.

Эксперт Комитета М. И. Герасев

Память и нейронные системы

При выработке павловских условных рефлексов обучение сопровождается изменениями электрических и молекулярных свойств нервных клеток. Изучение биологических механизмов памяти помогает при разработке компьютерных систем

ДЭНИЕЛ Л. ЭЛКОН

КАРИКАТУРИСТ запечатлевает лицо известного человека, искусно используя минимальное число линий. Рисунок содержит достаточное количество ключевых деталей, чтобы вызвать у зрителя знакомый образ, заполняющий пробелы. В этом смысле мозг человека представляет собой сложившееся в ходе эволюции устройство, распознающее образы, и память — это те образы, которые в мозгу запечатлеваются и хранятся.

Запечатление образов, т. е. их запоминание, происходит по довольно простому правилу: части образа объединяются в памяти, если они восприняты более или менее одновременно. Черты знакомого лица, к примеру, хранятся в памяти в комбинации, а не по отдельности. Сочетание нот хранится в виде мелодии. Поэтому памяти свойственно, что какая-то одна черта в лице неизвестного человека может напомнить знакомое лицо, по нескольким нотам лейтмотива в памяти восстановится целая симфоническая тема. И не только элементы в пределах образа связаны между собой — одни образы вызывают из памяти другие. Зрительный образ лица приятеля может связаться со слуховым образом его имени и запахом одеколона, которым он пользуется.

Механизмы установления подобных связей начинают раскрываться в исследованиях функционирования мозга. Ассоциативное запоминание, оказываясь, включает в себя ряд последовательных молекулярных изменений в определенных участках нейронных сетей. Восприимчивость некоторых таких участков может, например, значительно увеличиваться при перемещении фермента, называемого протеникиназой С. Этот белок переходит из цитоплазмы к клеточной мембране, в результате чего свойства нейрона изменяются так, что облегчается проведение им нервных импульсов. Таким образом, при запоминании импульсация нейронов отражает распределение участков со стойко повышенной возбудимостью как внутри каждого нейрона, так и в рамках

каждой нейронной сети. Многие молекулярные преобразования, связанные с запоминанием, происходят, как выясняется, в нейронных отростках, называемых дендритными деревьями, по которым информация поступает в клетку. Дендритные деревья поражают своей сложностью и огромной площадью поверхности. Один нейрон может получать 100 000—200 000 сигналов от отдельных нервных окончаний; контактирующих с его дендритным деревом. Любой конкретный сенсорный образ стимулирует, по-видимому, небольшую долю участков на дендритном дереве, и значит, практически бесконечное число образов может храниться, не перегружая емкости системы.

Результаты работы, которую я и мои сотрудники вели в Национальном институте неврологических заболеваний, инсульта и расстройств речи, наряду с данными других исследователей позволяют также выявить закономерности, которые могут быть использованы при создании компьютерных систем памяти. Действительно, искусственная нейронная сеть, созданная нами в соответствии с биологическими закономерностями, оказалась вполне пригодной для распознавания образов, а математические формулы, определяющие ее функционирование, в свою очередь позволяют исследовать биологические механизмы памяти.

В МОЕЙ ЛАБОРАТОРИИ мы изучали процесс и молекулярную природу ассоциативного запоминания, анализируя у морских улиток *Hermisenda crassicornis* и кроликов относительно простой тип ассоциативного научения: выработку павловских условных рефлексов (классическое обусловливание). При выработке условного рефлекса индивид научается связывать два различных раздражителя (стимула); так, например, в опытах Павлова собаки обучались связывать запах мяса со звучанием звонка. Об образовании связи (ассоциации) свидетельствовало появление у животного поведенческого ответа — в

данном случае слюноотделение — на условный раздражитель, роль которого играл звонок.

Условные рефлексы вырабатываются при обучении у множества разнообразных видов живых организмов. Несмотря на все различия, в том числе в поведении и стимулах, которые могут ассоциироваться, количественные закономерности образования связей поразительно схожи. Это указывает на то, что сходны и нейронные системы, лежащие в основе ассоциативной памяти. В самом деле, накапливается все больше данных, свидетельствующих, что механизмы ассоциативной памяти весьма консервативны, т. е. мало изменялись в ходе эволюции.

Скажем, *Hermisenda* можно обучить связывать вспышку света с вращением ее тела, имитирующим волнение воды в естественной среде обитания; в природе улитка отвечает на движение воды сокращением мышц "ноги", закрепляясь таким образом на твердой поверхности, а при выработке условного рефлекса животное научается делать это в ответ на световой стимул (см. статью: Д. Алкон, Обучение морских улиток, "В мире науки", 1983, № 9). Кролики обучаются связывать звуковой тон с потоком воздуха на поверхность глаза: воздух вызывает движение мигательной перепонки, и кролик научается мигать, когда слышит определенный звук (см. иллюстрацию на с. 18).

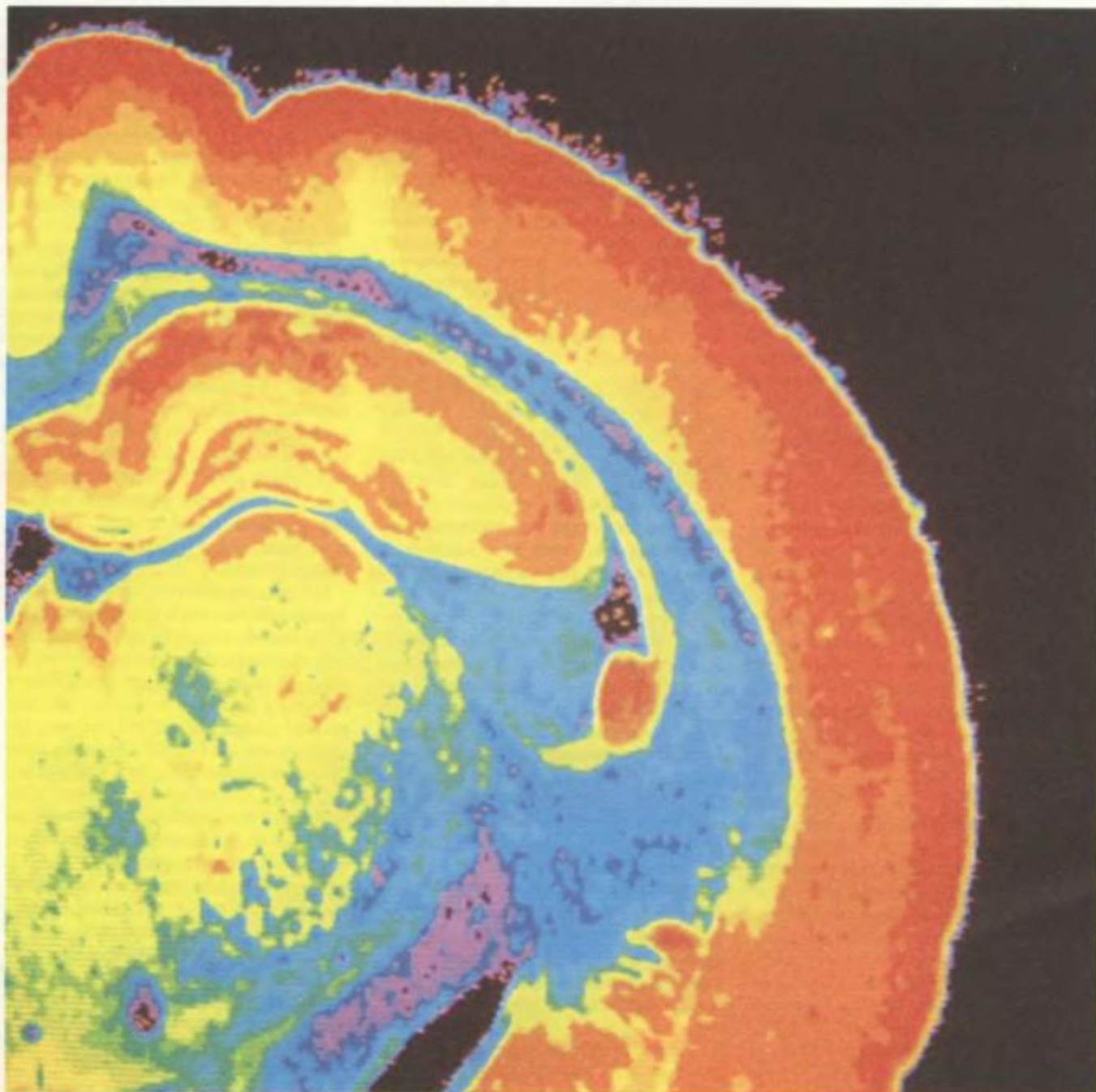
Оба эти вида поведения, сложившиеся в результате классического обусловливания, являются примерами перенесения ответа: поведенческий ответ, вызываемый исходно безусловным раздражителем (запах мяса, движение воды, воздушная струя), после обучения возникает в ответ на условный раздражитель (звонок, вспышка света, определенный звук). Для того чтобы научиться связывать условный и безусловный раздражители, животное должно запомнить соотношение этих событий во времени. Улитка запоминает, что вращение сопровождается вспышкой света, а кролик — что струя воздуха следует за данным звуковым тоном.

Научение и память у этих организмов прослеживаются на уровне нейронных сетей и клеточных изменений, ответственных за изменение поведения. У кролика мы исследовали нейроны гиппокампа, называемые пирамидными клетками CA1, а у улитки — детектирующие свет нейроны, известные под названием фоторецепторов типа В. У обоих животных повторяющиеся в ходе классического обусловливания сочетания раздражителей во времени вызывают стойкие

изменения в этих нейронах: снижается ток ионов калия через каналы в клеточной мембране.

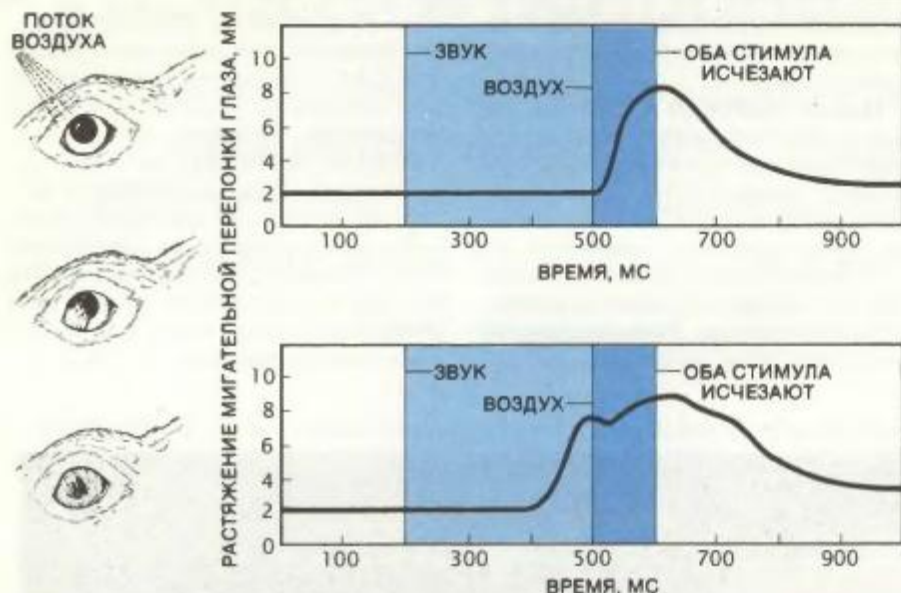
Именно благодаря току ионов калия и сопутствующим токам других ионов нервные клетки способны проводить электрические импульсы. Обычно ток ионов калия поддерживает заряд клеточной мембраны существенно ниже порогового потенциала, при котором начинается распространение сигнала. При уменьшении калиевого тока возникновение им-

пульсов облегчается. Действительно, мы показали, что возбудимость клеток CA1 и фоторецепторов типа В при выработке условного рефлекса существенно увеличивается. У контрольных животных, которым не предъявляли использовавшиеся в эксперименте стимулы, калиевый ток не уменьшался. Однако его уменьшение не происходило у подопытных особей и в том случае, когда в тех же парах стимулов изменяли порядок их следования или предъявляли эти стимулы в



СРЕЗ КОРЫ МОЗГА кролика обработан радиоактивной меткой, выявляющей фермент протеинкиназу С в мембране нейрона или около нее. Оранжевый и желтый цвета обозначают высокую концентрацию фермента, синий и фиолетовый — низкую. Сравнивая такие препараты мозга обу-

ченных и необученных животных, автор статьи установил возможные механизмы научения и памяти. Это изображение предоставлено Дж. Олдсом из лаборатории автора в Национальном институте неврологических заболеваний, инсульта и нарушений речи.



ПЕРЕНЕСЕНИЕ ПОВЕДЕНЧЕСКОГО ОТВЕТА у кролика происходит в результате ассоциативного научения при выработке павловского условного рефлекса. В данном случае животное обучали ассоциировать определенный звук и дуновение воздуха в глаз. Поведенческий ответ — растяжение мигательной перепонки глаза (слева) — переносится с безусловного раздражителя (поток воздуха) на условный (звук). Графики показывают, что животное, которое исходно мигало только в ответ на дуновение воздуха (вверху справа), после примерно 70 предъявлений условного и безусловного раздражителей в сочетании научается мигать, когда слышит звук (внизу справа). Данные получены Б. Шером в лаборатории автора.

случайном порядке. То есть не стимулы сами по себе вызывают уменьшение калиевого тока, а их временное соотношение (см. рисунок на с. 20).

Уменьшение калиевого тока, которое, как считается, изменяет весомость электрических сигналов в нервной системе, у улитки и кролика длится не секунды, минуты или часы, а по крайней мере много дней (возможно, значительно дольше). В этом феномене предстает новый временной диапазон функционирования мембранных каналов, какой ранее не встречался в зрелых (полностью дифференцированных) клетках. Это диапазон, специально предназначенный для сохранения связей между стимулами.

В случае улитки, у которой мало нейронов и связи между ними хорошо охарактеризованы, удалось установить, что изменения калиевого тока в каналах клеточной мембраны нейронов, вызванные условно-рефлекторным обучением, лежат в основе запоминания и потенциальной возможности извлекать выученную связь из памяти. Для кролика таких данных нет, но Дж. Дистерхофт и Д. Коултер в моей лаборатории доказали специфичность связанных с обучением изменений калиевого тока и их локализацию в клетках CA1.

И В ПИРАМИДАЛЬНЫХ клетках CA1 у кролика, и в фоторецепторах типа В у улитки изменения ионных потоков обусловлены, по-види-

мому, перемещением чувствительной к кальцию протеинкиназы С. В ответ на изменение концентрации ионов кальция, которым сопровождается установление связи между сочетаемыми во времени сенсорными стимулами, протеинкиназа С перемещается из цитоплазмы клетки к клеточной мембране, где она вызывает уменьшение калиевого тока.

Перенос и активацию протеинкиназы С можно вызвать искусственно при помощи форболового эфира. Если этим веществом обработать пирамидальные клетки CA1, в них наблюдаются перемещение фермента к клеточной мембране и такое же уменьшение калиевого тока, как при выработке условного рефлекса. Образование условных связей также сопровождается отчетливым увеличением активности протеинкиназы С, локализованной в мембране, и соответствующим снижением ее активности в цитоплазме. Б. Бэнк в моей лаборатории зарегистрировал перемещение этого фермента у кролика на протяжении нескольких дней после обучения.

Сходная картина наблюдалась у *Hermisenda*, свидетельствуя об участии длительного изменения локализации протеинкиназы С в ассоциативной памяти. Действие форболового эфира на фоторецепторы типа В в сочетании с внутриклеточной инъекцией ионов кальция специфически имити-

рует биофизические события при классическом обусловливании, т. е. вызывают такое же уменьшение калиевого тока. Локализация протеинкиназы С в этих клетках жестко определяет ее влияние на ионные потоки. Находясь в цитоплазме, фермент увеличивает калиевый ток, что повышает возбудимость. Вещества, блокирующие перемещение протеинкиназы С, препятствуют уменьшению калиевого тока, связанному с обучением.

Биохимические доказательства активации этого молекулярного механизма при выработке условного рефлекса были получены путем определения у *Hermisenda* белков, на которые влияет протеинкиназа С. Этот фермент присоединяет фосфатную группу к белковым субстратам. У одного из его белков-мишеней мол. массой около 20 кД обнаружено изменение числа фосфатных групп в результате обучения, а также воздействия форболового эфира на фоторецепторы типа В.

Недавно мой коллега Т. Нельсон и я получили доказательство того, что этот белок связывает гуанозинтрифосфат (GTP) и, вероятно, участвует в регуляции ионных каналов. Когда мы ввели его в клетки типа В, наблюдалось уменьшение калиевого тока, подобно тому как это происходит после выработки условного рефлекса. Возможно, белок мол. массой 20 кД выполняет в процессе научения функции, аналогичные функциям белков, связывающих GTP (таких, как продукт гена *ras*), в процессах развития и канцерогенеза.

Из других данных, полученных в экспериментах как с кроликами, так и с улитками, следует, что в уменьшении калиевого тока при выработке условного рефлекса может участвовать еще один фермент — киназа, активируемая кальцием, известная под названием киназа CAMII. Этот фермент тоже фосфорилирует белок мол. массой 20 кД у *Hermisenda* и уменьшает калиевый ток при повышении внутриклеточной концентрации кальция. Бэнк в нашей лаборатории и Р. Де Лоренцо с сотрудниками из Медицинского колледжа шт. Виргиния обнаружили, что у кролика в области клеток CA1 активность этого фермента усиливается после обучения, но не после контрольных процедур. Фермент сосредоточен в постсинаптических (получающих сигналы) участках дендритных деревьев нейронов CA1.

Путем активации обеих киназ может достигаться более длительное ослабление калиевого тока, чем при активации одной из них. Установлено, что «кооперация» этих ферментов имеет место в таких важных физиоло-

гических процессах, как агрегация тромбоцитов, секреция инсулина и сокращение мышц, а перемещение протеинкиназы С ответственно за продление и усиление реактивности к электрическим, химическим и гормональным сигналам во многих физиологических ситуациях. Такая повсеместность деятельности протеинкиназы С подтверждает то, что фундаментальный механизм расширения временного диапазона функционирования нервных клеток обладает высокой консервативностью в ходе эволюции.

Механизм с участием протеинкиназы С, может быть, особенно хорошо подходит для хранения запомненного, поскольку он, по-видимому, способен инициировать клеточные изменения, охватывающие даже еще более длительные, в конечном счете неограниченные отрезки времени. Это возможно потому, что данный фермент влияет на синтез белков. У *Hermisenda* в нейронах перемещение протеинкиназы С, вызванное форболовым эфиром, существенно изменяет синтез ряда белков, и это изменение глубоко сказывается на стимулированном кальцием уменьшении калиевого тока, происходящем вследствие перемещения фермента.

НАМ УДАЛОСЬ также связать процесс научения у *Hermisenda* с метаболизмом белков в нейронах,

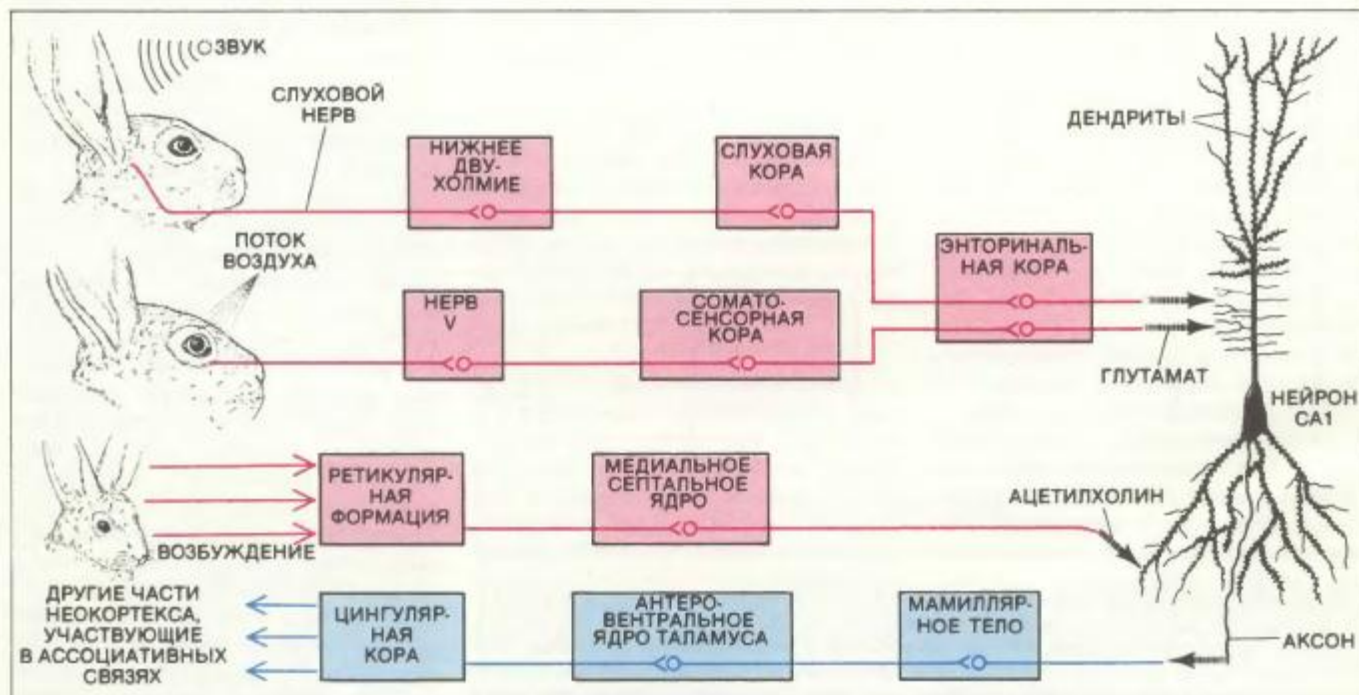
функционально имеющих отношение к хранению в памяти. Проследивается тесная корреляция между сохранностью запомненного и количеством в клетке ряда белков, в числе которых белок мол. массой 20 кД, являющийся субстратом протеинкиназы С. Нельсон в моей лаборатории обнаружил также, что у улитки эффективность запоминания тесно коррелирует с усилением в глазу синтеза некоторых мРНК (матриц, используемых при синтезе белка), причем одна из этих мРНК соответствует белку мол. массой 20 кД.

Изменения в синтезе белка у *Hermisenda*, связанные с хранением ассоциаций в памяти, сопровождаются изменениями в структуре отростков фоторецепторов типа В. Эти структурные изменения можно выявить, вводя краситель в тело клетки через микроэлектрод. Через 5 суток после того, как улитки обучались или подвергались контрольной процедуре, у обучавшихся животных по сравнению с контрольными отростки фоторецепторов типа В располагались в значительно меньшем объеме (см. рисунок на с. 23). Это явление, называемое фокусированием объема отростков, отчетливо выражено у животных, которые демонстрируют хорошее запоминание, в то время как у плохо обучающихся особей достоверной фокусировки не обнаруживается. Более того, объем, занимаемый отростками,

однозначно связан с величиной уменьшения калиевого тока.

Природа таких структурных изменений наводит на следующую гипотезу. Возможно, что отростки, которые при обучении животного осуществляют синаптическое взаимодействие, участвующее в установлении новой связи между условным раздражителем и безусловным (у улитки — света и вращения), сохраняются или увеличиваются в количестве, в то время как отростки, участвующие в других ответах на условный раздражитель (световые стимулы), исчезают или уменьшаются в количестве. Сейчас мы проверяем эту гипотезу, вводя в клетки с известными синаптическими связями различные красители и затем подсчитывая количество синаптических контактов, образуемых фоторецепторами типа В с клетками, участвующими в разных ответах.

Действительно, у животных, содержащихся или выросших в условиях разнообразной и интенсивной стимуляции со стороны внешней среды, нейроны коры мозга имеют больше отростков, чем у особей, испытывающих слабое воздействие на сенсорный аппарат. Однако фокусирование отростков, наблюдавшееся у *Hermisenda* в результате запечатления ассоциаций в памяти, существенно отличается от структурных изменений, обнаруживаемых при неассоциативном научении. Поэтому изменения фоторецепторов типа В у улитки,



НЕРВНЫЕ ПУТИ, участвующие в выработке условного рефлекса у кролика, сходятся на пирамидальных нейронах CA1 гиппокампа. Сигналы, поступающие от глаза и уха, воздействуют на клетки CA1 посредством нейромедиатора

глутамата; общее возбуждение животного, имеющее значение для успешности обучения, сообщается клеткам CA1 с помощью нейромедиатора ацетилхолина. Клетки CA1 в свою очередь посылают импульсы в другие участки коры.

должно быть, обусловлены не сенсорной стимуляцией как таковой, а являются следствием совпадения стимулов во времени, т. е. зависят от характера стимуляции. По всей видимости, характер стимуляции физически представляется и хранится в виде картины ветвления и синаптических контактов отростков нейронов, равно как электрических сигналов и молекулярной активации. Известно, что исчезновение или уменьшение числа синаптических контактов происходит в

процессе индивидуального развития, когда множество нейронов конкурирует за установление синаптических контактов с общим нейроном-мишенью. Исходя из этого, Ж.-П. Шангё из Пастеровского института в Париже и Дж. Эдельман из Рокфеллеровского университета предположили, что такой "дарвиновский отбор на уровне нейронов" осуществляется при научении и запоминании. Фокусирование отростков фоторецепторов типа В у *Hermisenda* можно

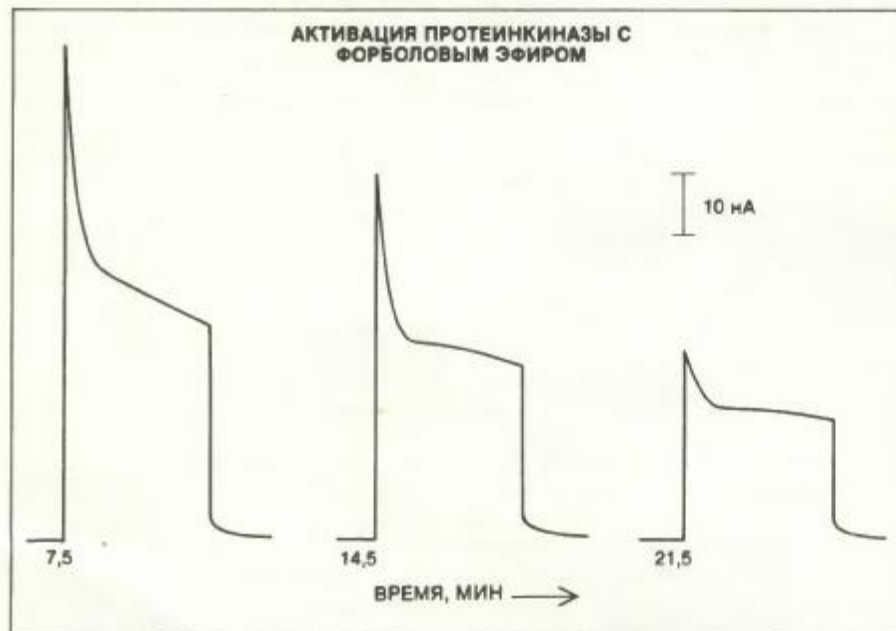
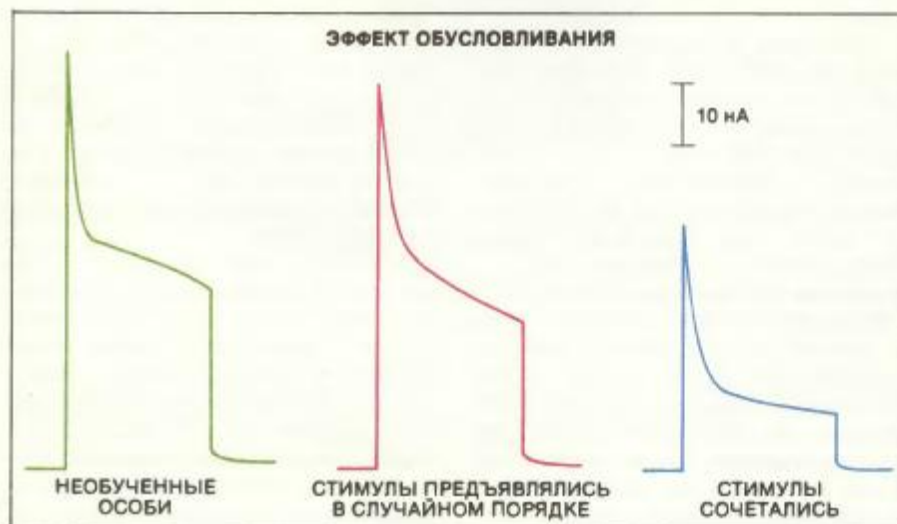
считать доказательством этого предположения.

ИЗУЧАЯ ассоциативное запоминание, я переходил от стимулов окружающей среды к электрическим сигналам в нейронах, к потокам ионов через их мембраны, к регуляции этих потоков на молекулярном уровне и, наконец, к структурным изменениям в нейронной организации. Из этой последовательности очевидна динамичность нейронов, участвующих в хранении запомненного. Будучи клетками зрелыми, т. е. достигшими конечной стадии своего пути дифференцировки, они больше не могут делиться, однако способны к существенным преобразованиям. Мы показали, что у *Hermisenda* эти преобразования охватывают различные отрезки времени — от секунд до нескольких суток или дольше — и затрагивают различные структурно-функциональные участки и пространственные области клеток.

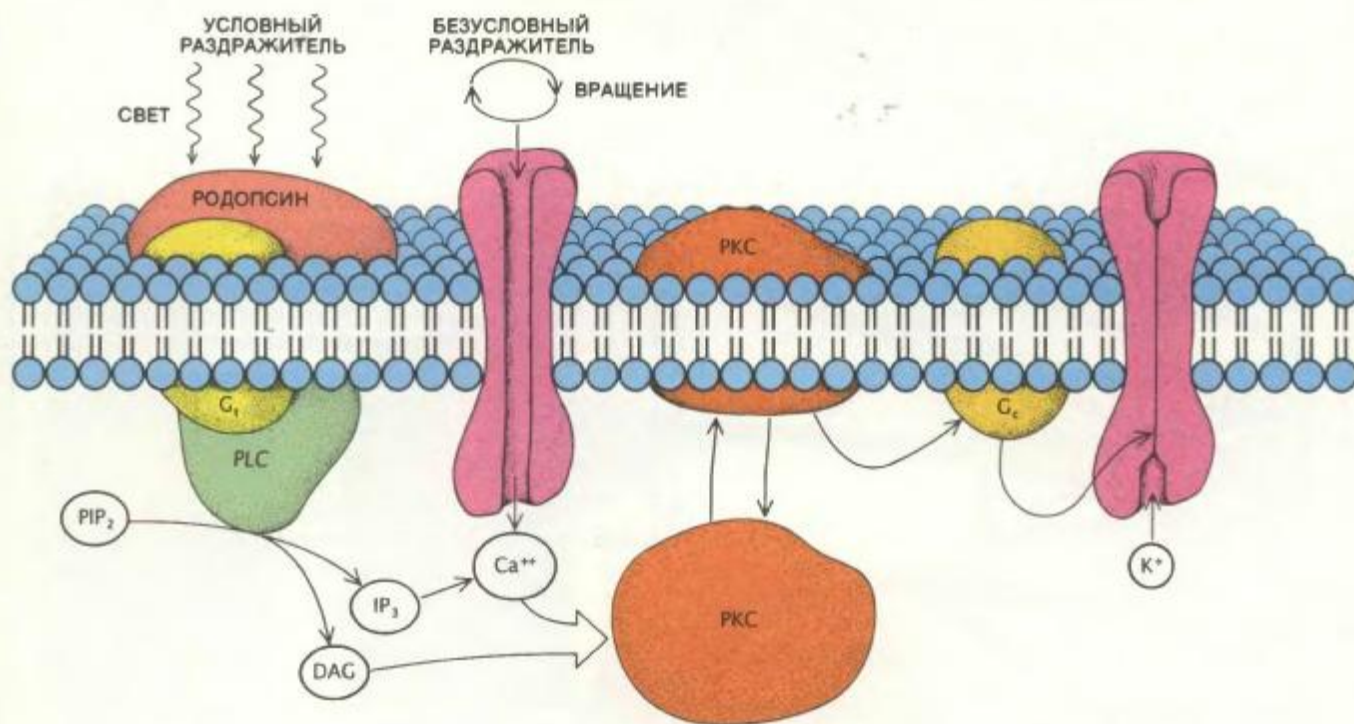
Нейроны гиппокампа кролика, по-видимому, также могут претерпевать изменения в различных своих пространственных зонах. Нам удалось проследить такие изменения с помощью молекулярного зонда, впервые использованного С. Снайдером, Р. Уорли и их коллегами из Университета Джона Гопкинса. Эти исследователи обнаружили, что распределение протеинкиназы С в структурах мозга можно выявить, пометив фермент радиоактивным форболовым эфиром. При достаточно низкой концентрации это вещество не вызывает перемещения протеинкиназы С и отмечает только те области нейронов и групп нейронов, в которых повышено содержание протеинкиназы, локализованной в клеточной мембране.

Дж. Олдс в нашей лаборатории показал, что через сутки после обучения количество ассоциированной с мембраной протеинкиназы С увеличивается максимально в области тел клеток CA1 и в меньшей степени в области дендритов (отростков, получающих входную сенсорную информацию). Через 3 суток после выработки условного рефлекса распределение метки протеинкиназы С совершенно изменилось: теперь ее количество было увеличено в дендритной области в значительно большей степени, чем в области тел нейронов. Другими словами, по мере того как время хранения запомненного росло от 1 до 3 суток, область сосредоточения протеинкиназы С, локализованной в мембране, смещалась от клеточных тел к дендритам.

Изменение пространственного распределения протеинкиназы С может дать ключ к более общей проблеме хра-



ТОК ИОНОВ КАЛИЯ в фоторецепторах типа В у улитки *Hermisenda* в результате выработки условного рефлекса уменьшается. Улитку обучали связывать вспышку света с вращением, в ответ на которое у нее сокращается мышца "ноги". У животных, которым предъявляли оба стимула (свет и вращение) вместе (вверху), ток ионов калия в фоторецепторах типа В значительно меньше, чем у тех, которым эти стимулы предъявляли в случайном порядке или не предъявляли вовсе ("необученные"). Активация протеинкиназы С в фоторецепторах типа В форболовым эфиром имитирует эффект обучения (внизу). Форболовый эфир вызывает в нейронах перемещение этого фермента к клеточной мембране. Вероятно, уменьшение калиевого тока обусловлено присутствием протеинкиназы С в мембране или около нее.



МЕМБРАННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ в нейронах при ассоциативном обучении способствуют перемещению протеинкиназы C. Здесь схематически изображена мембрана фоторецептора типа В улитки и показано, как стимуляция светом и вращением инициирует цепь событий, кульминацией которых оказывается перемещение протеинкиназы C

из цитоплазмы нейрона к клеточной мембране и последующее уменьшение тока ионов калия (K^+) через каналы в мембране. Возможно, в уменьшении калиевого тока участвуют G-белки. (PKC — протеинкиназа C, PLC — фосфолипаза C, PIP_2 — фосфатидилинозитол-4,5-дифосфат, IP_3 — инозитол-трифосфат, Ca^{++} — ионы кальция, DAG — диацилглицерол).

нения в памяти. Данные, полученные в моей лаборатории, а также Р. Томпсоном из Университета Южной Калифорнии и Т. Бергером из Питтсбургского университета указывают на то, что у кролика запоминание отдельных ассоциативных связей затрагивает многие клетки. Это противоречит нашему интуитивному представлению, что в таком процессе должно участвовать только небольшое число клеток. Каким образом достигается, что при формировании одного условного рефлекса может изменяться много клеток CA1 и сохраняется способность к запоминанию множества других ассоциативных связей?

Возможно, что входные сигналы, поступающие на небольшую ограниченную область дендритного дерева нейронов CA1, изменяют калиевые токи, распределение протеинкиназы C, синтез белков и т. д. в телах этих клеток. Активированные тела нейронов, в свою очередь, увеличивают транспорт ключевых молекул во все основные ветви дендритного дерева, но эти молекулы локализуются или вызывают эффект только в тех небольших областях, на которые исходно поступили сигналы, соотносящиеся во времени должным образом (см. нижнюю иллюстрацию на с. 22).

При такой последовательности со-

бытий объясняется, почему после выработки условного рефлекса вначале столь много (от 50 до 60%) тел нейронов CA1 претерпевает биофизические и биохимические изменения, связанные с обучением. Если ассоциативная связь в конечном счете хранится в определенных компартментах дендритов (о чем свидетельствует распределение протеинкиназы C в нейронах кролика через 3 суток после обучения), то специфичность сохранения запомненного может обеспечиваться без насыщения способности клеток CA1 к хранению новой информации.

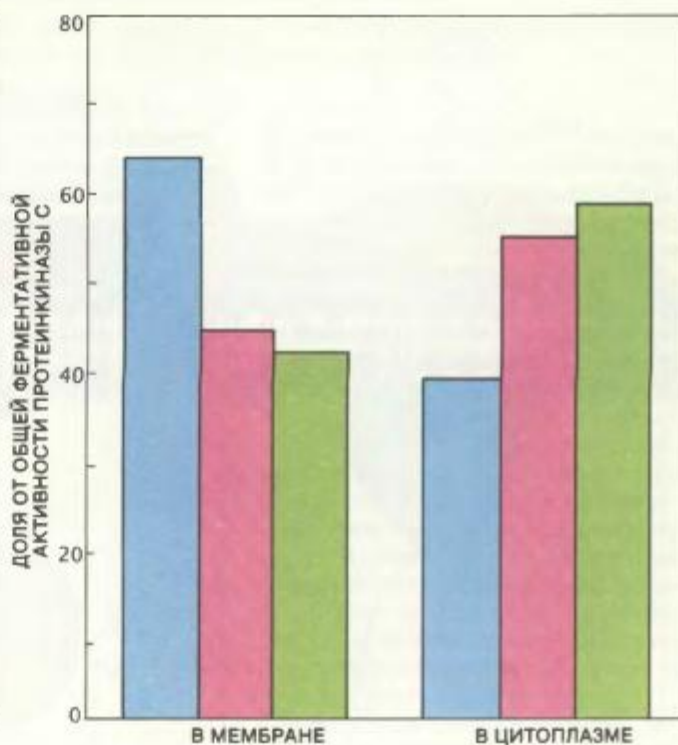
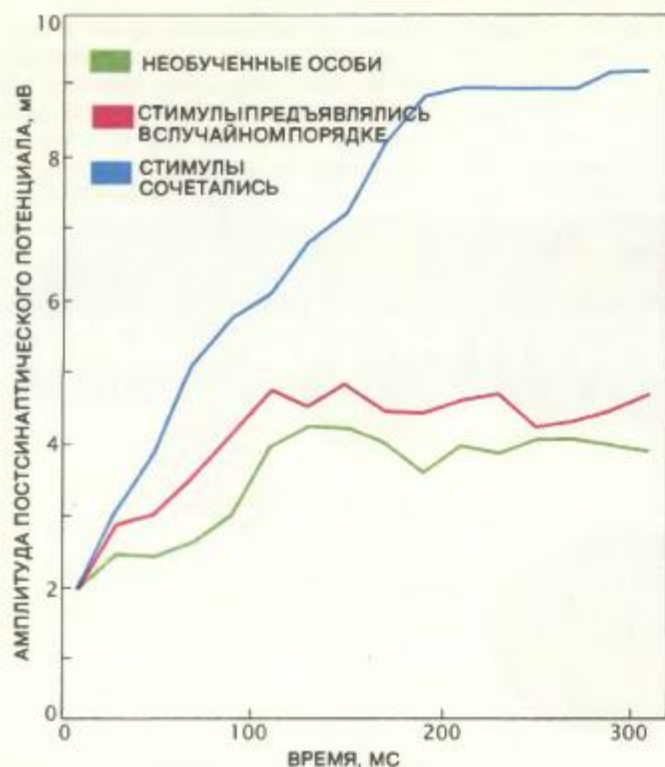
МОДЕЛЬ, к которой я пришел в результате исследований в моей лаборатории, несколько противоречит ранее высказывавшимся гипотезам о природе запоминания. Автор пионерных работ по проблемам памяти Д. Хебб из Университета Макгилла 40 лет назад предположил, что для запоминания необходимо, чтобы поступление сигналов от одного пресинаптического источника происходило вместе с активностью или импульсацией постсинаптического элемента.

Согласно модели Хебба, поскольку она требует активности или импульсации постсинаптического участка, нейрон должен целиком участвовать в

каждом акте запоминания. Импульсация постсинаптической клетки (совпадающая, по гипотезе Хебба, с импульсацией пресинаптического элемента) должна влиять на все компартменты дендритов или на большинство из них.

В противоположность этому то, что наблюдалось у *Hermisenda* и кроликов, заставляет предполагать существование интенсивного локального взаимодействия между постсинаптическими участками. Распространение электрических и, возможно, химических сигналов от одного постсинаптического участка к другому без проявления импульсации или другой активности в этих участках является, по-видимому, определяющим для инициации запоминания связи. С физиологической точки зрения локальные механизмы запоминания более осмысленны, чем механизмы, полностью занимающие нейрон, поскольку, если критическое взаимодействие ограничено участками дендритного дерева, каждый нейрон может хранить много тысяч связей. Ч. Вуди из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе также получил данные, свидетельствующие о постсинаптических взаимодействиях у кошки.

Недавно установлена роль локально-



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА нейронов СА1 гиппокампа у кролика изменяются в результате обучения. Наблюдается корреляция между выработкой условного рефлекса и суммарной амплитудой импульсов в постсинаптических участках этих клеток; у обученных животных сум-

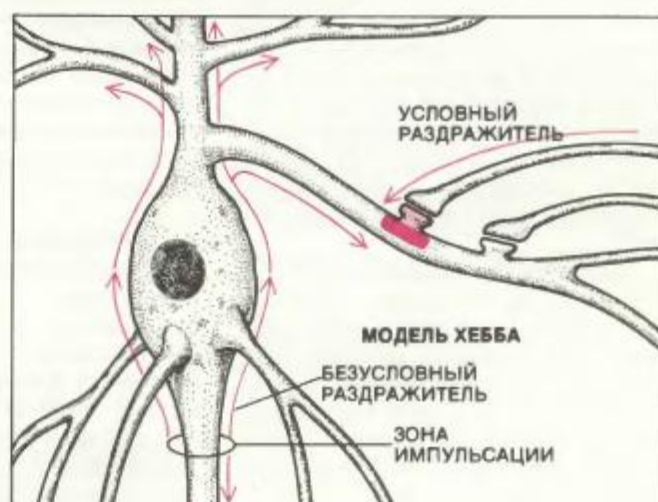
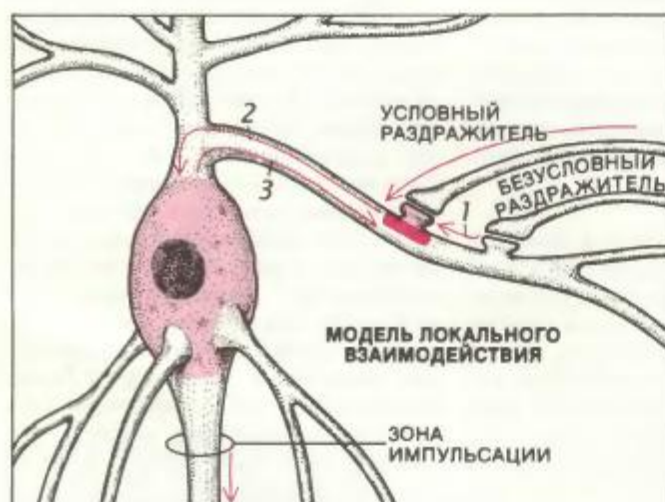
мация сигналов со временем больше, чем у необученных. С процессом научения связано также перераспределение внутри нейронов протеинкиназы С: у обученных животных большая ее доля располагается в клеточной мембране или вблизи

го взаимодействия в так называемой долговременной потенциации — изменениях нейронов, вызываемых электрическим воздействием и используемых в качестве модели изменений, обусловленных естественными стимулами при научении. Х. Вигстрем и Б. Густафссон из Гетеборгского университета (Шве-

ция), П. Андерсен из Университета в Осло (Норвегия), Т. Браун из Йельского университета, Р. Николь из Калифорнийского университета в Сан-Франциско и Г. Линч из Калифорнийского университета в Ирвине и их коллеги, а также другие исследователи изучали локальные постсинаптические взаимо-

действия в процессе временных изменений, длящихся 1—2 ч, которые называют ассоциативной долговременной потенциацией.

При неассоциативной долговременной потенциации изменения происходят, по-видимому, и в пресинаптических участках (показано Т. Блиссом с



ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ, связанных с обучением, в нейронах — ключевая проблема. Автор полагает, что эти изменения возникают в воспринимающих участках нейронов, когда поступление в них входных сигналов, вызванных условным раздражителем, связано во времени с поступлением на соседний участок сигналов, вызванных безусловным раздражителем (1). Взаимодействие двух участков пере-

дается в тело нейрона (2), который отвечает выработкой факторов, возвращающихся к месту взаимодействия и фиксирующих его, превращая связь во «впянную» (3). Согласно модели Хебба, изменения происходят, когда входные сигналы, вызванные условным раздражителем, поступают к принимающему участку одновременно с импульсацией нейрона в ответ на безусловный раздражитель.

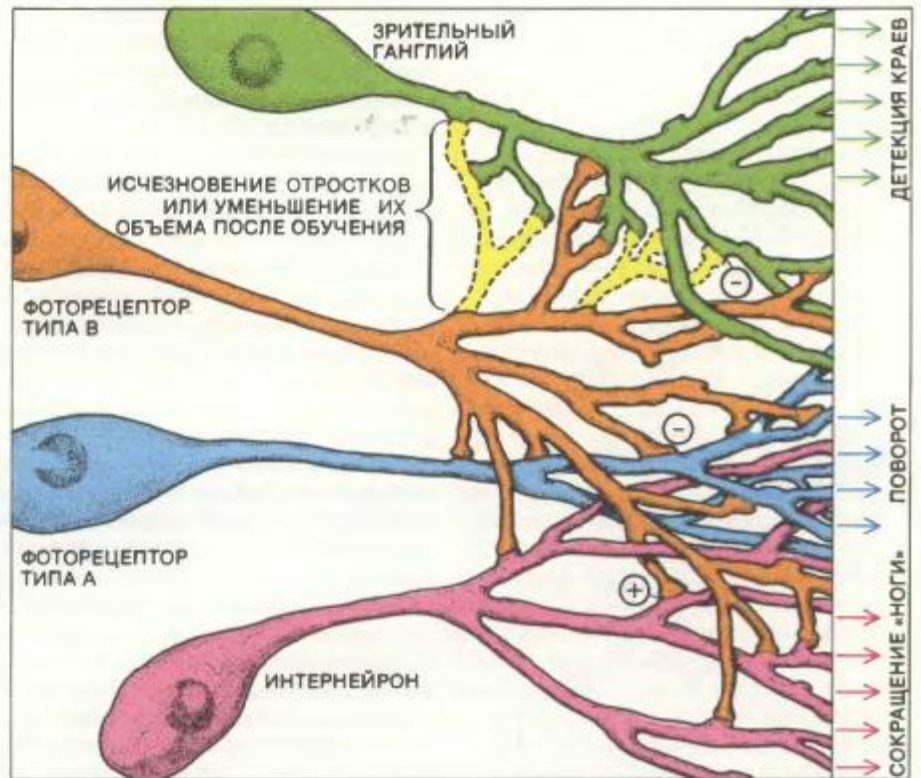
коллегами в Национальном медицинском институте в Лондоне и А. Рутенбергом из Северо-Западного университета) и в постсинаптических (показано Вигстромом, Густафссоном, Линчем, Андерсеном и др.). Другие исследователи, в частности Э. Кэндел с сотрудниками из Колледжа терапии и хирургии Колумбийского университета, подчеркивают значение пресинаптических участков для неассоциативного запоминания, имеющего место, например, при формировании привычки или при сенситизации.

Многие вопросы, поднятые этими исследованиями, получают ответы, когда повышается клеточное и субклеточное разрешение метода, выявляющего протеинкиназу С. Тогда можно будет обнаружить связанные с обучением тонкие различия в распределении протеинкиназы С независимо от того, происходят ли они во внутриклеточных компартментах нейрона, в ветвях дендритного дерева или в нейронной системе в целом.

ДЛЯ ОЦЕНКИ теоретических моделей, пытающихся объяснить поступление и хранение информации в мозгу, было бы полезным дать точное математическое описание специфических образов, возникающих при запоминании. Такие модели включаются в компьютерные "нейронные сети". Явления, которые наблюдали мы и другие исследователи, накладывают ограничения и мотивируют модели механизмов запоминания в нервной системе.

Я и мои коллеги Т. Вогл и К. Блэкуэлл из Мичиганского научно-исследовательского института по проблемам окружающей среды полагали, что механизмы запоминания, выявленные у улитки и кролика, можно использовать в искусственной системе. Например, по нашим наблюдениям, запоминание начинается, когда действующие при обучении стимулы вызывают сигналы, порядок следования которых обеспечивает конвергенцию и локальное взаимодействие в критических участках нейронной сети, таких как фоторецепторы типа В.

Эти наблюдения позволяют сформулировать первый принцип создания теоретических моделей ассоциативного научения: относительный вес синаптического взаимодействия, т. е. передачи сигналов между элементами искусственной системы, изменяется локально между ближайшими входами в зависимости от временного соотношения поступающих сигналов и от повторения тех сигналов, которые сочетаются во времени. В нашей компьютерной модели нейронной сети вес синаптического взаимодейст-



"**ФОКУСИРОВАНИЕ**" отростков нейронов, сопровождающее выработку условного рефлекса, заключается в том, что те связи между нейронами, которые не участвуют в сопряжении условного стимула и поведенческого ответа, ликвидируются или уменьшается объем, занимаемый соответствующими отростками. На этой схеме показано такое фокусирование в фоторецепторе типа В у улитки.

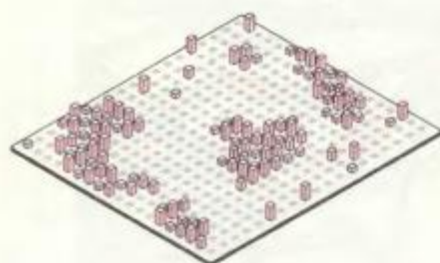
вия не зависит от выходных сигналов, посылаемых клеткой, являющейся общей мишенью сигналов от других нейронов сети. Входной же сигнал на том или ином элементе сети усиливается в зависимости только от временного соотношения этого сигнала с другими входными сигналами, поступающими на данный элемент, а не от собственной импульсации элемента.

Второй принцип был предложен, исходя из возможностей памяти человека. Когда человек сохраняет в памяти какой-либо образ (лицо, имя, мелодию и т. д.), воспроизведение этого образа сопоставляется с образами, воспринимаемыми из внешней среды. Теоретическая модель тоже должна обладать способностью не только хранить образ для его последующего воспроизведения, но и представлять его в реальном времени, подобно тому как мозг отражает события человеческого опыта в реальном времени, в котором они происходят.

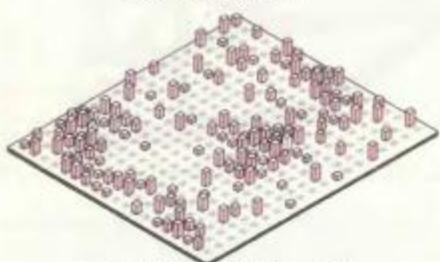
Аналогия с павловским условным рефлексом помогает определить эти функции — воспроизведение образа и представление его в реальном времени. Безусловный раздражитель, в роли которого в вышеописанных опытах выступали запах мяса, вращение

или дуновение воздуха, вызывает в реальном времени электрические ответы в нейронных системах и стереотипную поведенческую реакцию. Безусловному сигналу на входе соответствуют на выходе воспроизводимый электрический сигнал и в конечном счете определенное поведение. Ничего не запоминается; поступившая на вход информация просто протекает через нервную систему по путям, предопределенным генетически или же "впаянным" (т. е. зафиксированным системам нервных связей).

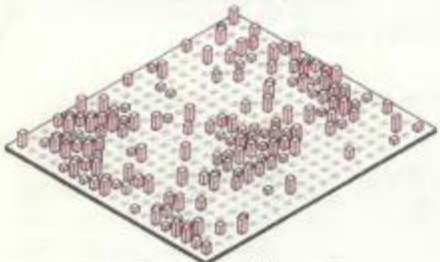
Условный раздражитель, каким служили звонок, вспышка света или звуковой тон, тоже вызывает электрические ответы в реальном времени, однако это не те стереотипные электрические и поведенческие ответы, которые вызываются безусловными раздражителями. В результате временной связи между условным и безусловным раздражителями условный стимул приобретает свойство вызывать новые электрический и поведенческий ответы. Входная информация, которую несет стимул, играющий роль условного раздражителя, следует по новому пути, который не является "впаянным" или же генетически предопределенным, а формируется в ходе обучения под влиянием индиви-



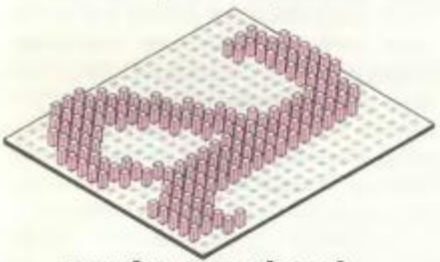
ВХОДНОЙ СЛОЙ



ПЕРВЫЙ (СКРЫТЫЙ) СЛОЙ



ВТОРОЙ (СКРЫТЫЙ) СЛОЙ



ТРЕТИЙ (ВЫХОДНОЙ) СЛОЙ

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ искусственной системой, разработанной автором, происходит в соответствии с рядом правил, присущих биологическим системам. Когда систему обучают распознавать некий образ, например строчную букву "а" (вверху), относительный "вес" принимающих входную информацию элементов (в живой системе — синапсов), которые участвуют в распознавании, возрастает (возбудимость увеличивается). Здесь "вес" изображен высотой элементов в слоях. Увеличение "веса" помогает образованию связей между нейронами, участвующими в воспроизведении образа, когда предъявлена лишь его часть.

дуального опыта. Такие новые пути я называю коллатеральными; их функциональная эффективность определяется индивидуальным опытом в процессе обучения.

Из разницы между "прямыми" и коллатеральными путями вытекает еще один принцип для создания теоретических систем памяти. Прямые пути должны обеспечивать представление образов в реальном времени, а коллатеральные пути — запоминание или воспроизведение образов, причем вес взаимодействия элементов в прямых путях постоянен и высок (чтобы передача информации была эффективной), а в коллатеральных путях исходно минимален (чтобы исключить передачу информации) и зависит от сочетания входных сигналов во времени.

Другие свойства предложенной нами теоретической модели основаны на последних наблюдениях биологических нервных систем. Например, последовательные объединения нейронов содержат клетки, получающие входные сигналы от большого числа нейронов из предшествующих объединений. Теоретическая модель также должна состоять из слоев и осуществлять конвергенцию сигналов, передающихся от элементов одного слоя к элементам следующего слоя. Наконец, эксперименты с *Hermisenda* и крабом *Limulus* продемонстрировали, что синаптическое торможение усиливает контраст между получаемыми сигналами. Так, границы и края между полями зрительных стимулов подчеркиваются в результате торможения между соседними нейронами. Это означает, что в модель следует включать также торможение между элементами, находящимися на некотором пространственном удалении друг от друга.

ИСПОЛЬЗУЯ эти и другие принципы, заимствованные из биологических систем, мои коллеги и я разработали компьютерную систему, названную DYSTAL (от англ. DYnamical STable Associative Learning — динамически стабильное ассоциативное самообучение). Мы проверили ее способность к научению, т. е. способность запоминать образы и в дальнейшем узнавать их. Система успешно "усваивала" такие образы, как буквы алфавита и последовательности букв; она узнавала их даже в том случае, если предъявлялась только часть образа, что очень похоже на узнавание человеком известного лица, набросанного скупыми штрихами карикатуриста.

DYSTAL именно "заучивала" образ, поскольку связь между входом и выходом никак не была запрограммирована. В противоположность этому

многие искусственные системы, не основанные на принципах, действующих в биологических структурах, усваивают образы путем уменьшения количества ошибок при сравнении с заранее заданным обучающим образом; никакой новой информации система в целом не усваивает. Число предъявлений образа, требующееся системе DYSTAL для его усвоения, почти совпадает с тем, что необходимо для обучения *Hermisenda* или кролика. Сети, в которых не используются биологические принципы, обычно нуждаются в тысячах или даже десятках тысяч предъявлений образа для его усвоения.

Наиболее отличительной особенностью системы DYSTAL является, пожалуй, ее способность к наращиванию числа элементов без чрезмерного увеличения вычислительной мощности компьютера. Во многих искусственных системах каждый элемент связан со всеми другими элементами, так что при увеличении их числа количество взаимодействий между ними возрастает экспоненциально, и поэтому на современных компьютерах смоделировать процесс обработки информации в системах, включающих более 100 элементов, практически невозможно. Даже если число связей между элементами в такой сети оставалось бы неизменным при росте числа элементов, время вычисления возрастало бы нелинейно из-за способа, которым в таких сетях устанавливается равновесие.

Небиологические искусственные сети достигают равновесия итеративным путем с помощью многократной подгонки веса всех связей таким образом, чтобы каждый вес соответствовал фиксированному внутреннему стандарту. Таким процессам свойственно увеличение числа итераций на один элемент по мере возрастания числа связей. В системе DYSTAL, однако, веса связей не сравниваются с заданным уровнем — они, скорее, приходят в динамическое равновесие, при котором увеличение и уменьшение веса в серии предъявлений образа равнозначны и никакого "чистого" изменения веса не происходит. При постоянном хранении образа в памяти изменения веса могут стать необратимыми, если превышает некий пороговый уровень веса. Таким образом, в системе DYSTAL производится меньшее количество вычислений, чем в небиологических системах с итеративным принципом установления равновесия.

Для вычисления кумулятивного эффекта увеличения и уменьшения весов, связанных с определенными образами на входе, разработаны уравне-

ния. Применение этих уравнений не ограничивается только предварительным вычислением весов в сети: с их помощью можно впервые рассчитать внутренние представления, посредством которых искусственные сети хранят информацию в памяти. Не исключено, что когда-нибудь подобные

уравнения позволят сравнить внутренние представления образов в искусственных и в биологических системах. Результаты такого сопоставления способствовали бы существенно продвижению в понимании биологических систем и конструировании искусственных сетей.

структуры» — это немецкий скрипичный мастер К. Леонхардт. Но ни Леонхардт, ни другие современные специалисты, насколько известно Стекнеру, не предполагали, что эту технику использовали старые мастера. «Это мой вклад», — говорит Стекнер, описавший свое исследование в распространяемой частным образом рукописи.

Некоторые эксперты сомневаются в том, что, используя проявление структуры, можно делать инструменты с необычайным звучанием. «Жесткость дерева — вот что важно, — замечает К. Хатчинс, специалист по оценке звучания скрипок, — а жесткость нельзя сравнивать с проницаемостью для света».

Стекнер указывает на то, что для настоящей проверки его теории следовало бы определить, действительно ли волокна на относительно более тонких частях корпусов струнных инструментов, к примеру, у всех скрипок Страдивари, расположены более плотно. Так как ель темнеет с годами, то проверить это предположение можно только с помощью рентгеновского облучения. «Пока, — добавляет Стекнер, — никто еще не позволил мне разобрать на части скрипку Страдивари».

Наука и общество

Секрет Страдивари

СОТНИ лет музыковеды спорят о том, почему некоторые инструменты эпохи барокко — скрипки, сделанные знаменитым итальянцем Антонио Страдивари, или клавишины семьи Рукер из Антверпена — имеют такое великолепное звучание. Некоторые эксперты полагают, что секрет заключается в способах обработки дерева, другие считают, что он связан с лакировкой.

А вот еще одна теория. Тиллманн Стекнер, мастер по клавишам из Лондона (пров. Онтарио), думает, что барочные мастера достигли выдающихся успехов благодаря солнечному свету, который они использовали в качестве диагностического инструмента. Эта мысль впервые пришла Стекнеру в 1974 г., когда он случайно оставил деку клавишины у окна. Свет падал на еловую доску (ель обычно используют для большинства клавишных и струнных инструментов), просвечивая ее внутреннюю структуру. Хотя поверхность дерева казалась однородно волокнистой, просвечивание насквозь показало, что некоторые области были более плотными и потому казались темнее, чем другие.

Позднее, штудировав литературу, Стекнер узнал, что верхние части некоторых барочных скрипок и деки некоторых клавишинов неоднородны по толщине. Считая это недостатком, реставраторы часто обстругивали дерево, придавая ему одинаковую толщину, но их усилия всегда ухудшали звучание инструмента.

Стекнер подумал: быть может, Страдивари и другие мастера использовали естественный свет, чтобы определить, в каких местах дерева волокна располагаются плотнее, а затем уточняли их? Возможно, с помощью такой техники достигалось более однородное распределение массы, а не толщины, и за счет этого улучшалось звучание. Стекнер решил проверить свою теорию, работая не с солнечным, а с электрическим све-

том, когда он мастерил клавишину для церкви Св. Томаса в Лейпциге, где в свое время капельмейстером был Бах.

Стекнер утверждает, что клавишины, изготовленные им прошлой осенью, звучат лучше, чем те, которые он делал раньше. Эксперты, слышавшие звучание инструментов Стекнера, и в частности профессор музыки из Университета Западного Онтарио в Лондоне Д. Братус, отмечают, что «они имеют удивительный резонанс».

Стекнер узнал, что по крайней мере еще один современный мастер успешно применил ту же технику, которую Стекнер называет «проявлением



ДЕКИ КЛАВЕШИНОВ, изготовленных Тиллманном Стекнером из Лондона (Канада), просвечивались электрическим светом. Более темные области деки (слева), везде одинаковой по толщине, имеют более плотную волокнистую структуру, чем остальная часть дерева. (Хорошо различимые темные полосы — это опорные стойки.) Стекнер сделал более плотные участки деки (справа) более тонкими, чтобы придать ей однородную проницаемость для света, и, как он утверждает, лучшие акустические свойства.

Спиновые стекла

Особые свойства этих материалов обусловлены неупорядоченностью и несогласованностью магнитных взаимодействий между атомами. Математические модели, применяемые для описания спиновых стекол, оказались полезными для решения сложных задач информатики, нейрологии и теории эволюции

ДЭНИЕЛ Л. СТЕЙН

НА ГРЯЗЬ можно не обращать внимания или замести под коврик, но рано или поздно ею придется заняться серьезно. В физике «грязью» могут быть нарушение структуры, примеси в материалах или несогласованность взаимодействий. Грязь нарушает порядок. Значительное число случайных событий, дефектов и рассогласований может нарушить внутреннюю симметрию, которая существенно упрощает физическое описание систем. В течение практически всей истории физики на «грязь» не обращали внимания — они исследовали упорядоченные системы, такие как идеальные кристаллы. Однако в начале 70-х годов они были вынуждены столкнуться с беспорядком лицом к лицу, начали разгребать «грязь», скопившуюся в закоулках науки. Например, сначала, чтобы понять поведение обычного стекла, в котором атомы «заморожены» в случайных положениях в пространстве, к идеальному кристаллу добавили небольшой беспорядок. Эти усилия оказались тщетными. Хотя бы немного навести порядок в системе, для которой «грязь» является неотъемлемым свойством, все равно что пытаться изучать чистую грязную лужу.

Одна из наиболее успешных попыток понять неупорядоченные системы связана с изучением так называемых спиновых стекол. Состав спиновых стекол ничем не примечателен — достаточно несколько атомов железа, разбросанных по решетке из атомов меди, — но их магнитные свойства чрезвычайно сложны и иногда абсолютно непредсказуемы. В понятии спинового стекла «спин» — это квантовомеханический спин, который обуславливает магнитные эффекты, а слово «стекло» относится к беспорядку в ориентациях и взаимодействиях спинов. Спиновые стекла — это прототип «грязной» системы. Вычислительные методы, разработанные для

исследования спиновых стекол, нашли применение при решении сложных задач в таких различных областях, как информатика, нейрология, биохимия и теория эволюции.

ВСЕ наиболее интересные свойства спиновых стекол, их динамика, сложность — это проявление магнитного взаимодействия атомов, составляющих стекло. Некоторые атомы могут вести себя так, как если бы они были маленькими магнитными стрелками. Они являются источниками и испытывают на себе влияние магнитных полей. Направление и величина магнитных эффектов могут быть описаны с помощью векторной величины, называемой магнитным моментом. Если кусок материала, атомы которого ведут себя как магниты, подвергается действию внешнего поля, магнитные моменты атомов стремятся ориентироваться в определенном направлении. В некоторых материалах такое выстраивание магнитных моментов может происходить в результате сильных внутренних взаимодействий, связанных с атомной структурой.

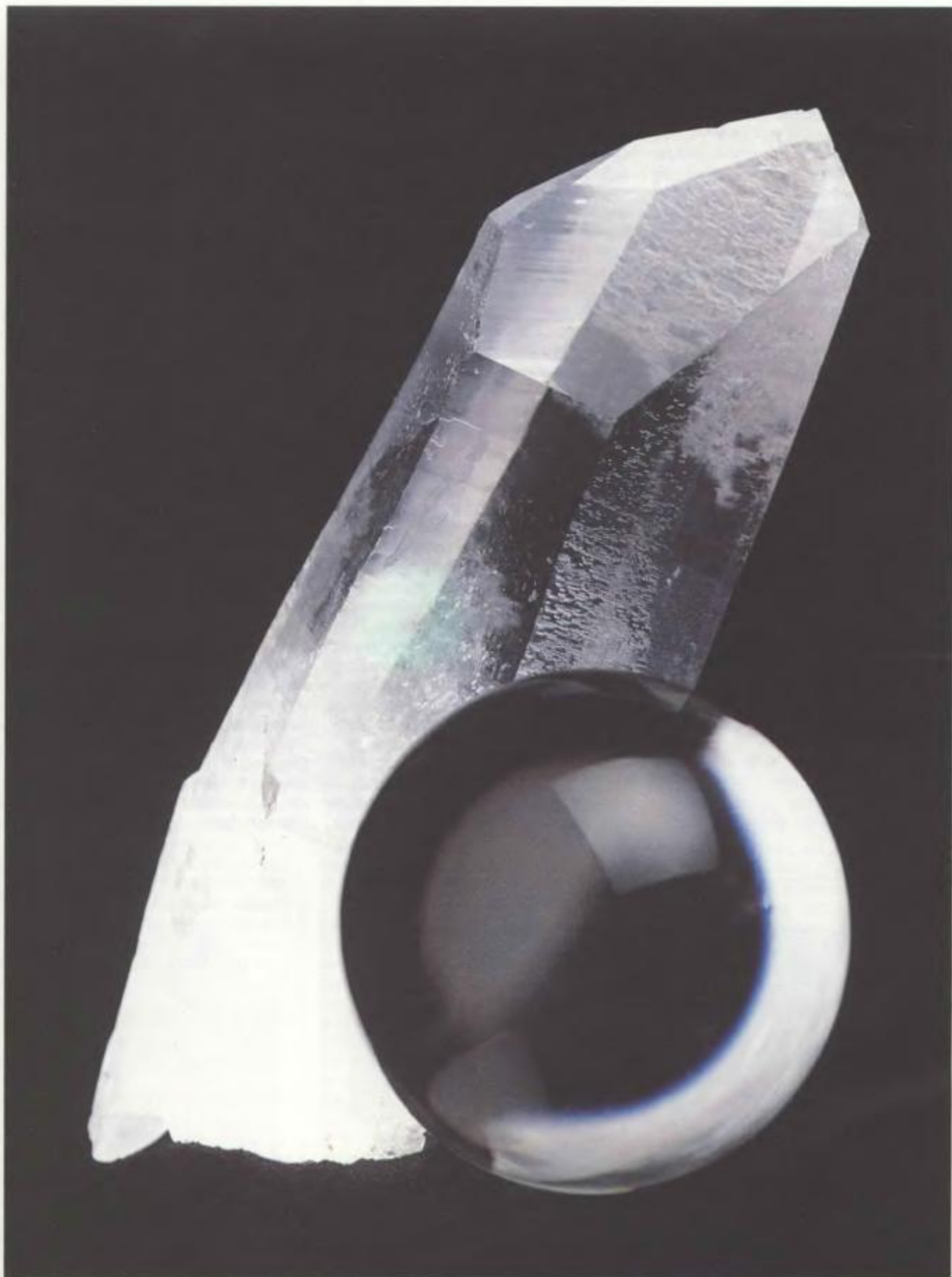
Одно из таких взаимодействий выстраивает все магнитные моменты в одинаковом направлении. Это упорядочение объясняет сильные магнитные свойства железа и поэтому называется ферромагнетизмом, хотя оно обнаружено также в кобальте, никеле и многих других материалах. Ферромагнетизм обусловлен квантовомеханической природой электронов в этих металлах, для которых энергетически более выгодно параллельное расположение спинов соседних атомов.

Другими словами, если магнитные моменты двух соседних атомов ферромагнетика направлены в одну и ту же сторону, необходима дополнительная энергия, чтобы изменить направление одного из магнитных мо-

ментов на обратное. Если же магнитные моменты направлены в противоположные стороны, наоборот, энергия высвобождается, когда магнитные моменты выстраиваются в одном направлении. Следовательно, полная магнитная энергия минимальна, когда магнитные моменты всех атомов направлены в одну и ту же сторону.

Повышение температуры может влиять на упорядочение спинов в ферромагнетике. Если чистое железо нагревают до высокой температуры, то тепловые колебания подавляют ферромагнитные взаимодействия, так что направление каждого магнитного момента случайно изменяется во времени. Мгновенный снимок таких атомов железа может показать, что в среднем много магнитных моментов направлено вверх и вниз, влево и вправо, вперед и назад. Векторная сумма всех магнитных моментов, или суммарная намагниченность, равна нулю. (Точнее, с очень большой вероятностью суммарная намагниченность бесконечно мала.) В этой фазе железо называют парамагнетиком.

Когда температура железа понижается, взаимодействия между магнитными моментами становятся доминирующими, и магнитные моменты стремятся упорядочиться в низкоэнергетическом состоянии. При критической температуре 771 °C взаимное расположение магнитных моментов атомов внезапно и радикально меняется, так что большинство из них оказывается ориентированным в одном и том же направлении. (У обычного куска железа намагниченность отсутствует, потому что в железе происходит еще один сложный процесс, разрушающий упорядоченное состояние и приводящий к образованию доменов. В каждом домене, однако, все магнитные моменты ориентированы в одном направлении.) При критической температуре железо ис-



КРИСТАЛЛ И ОБЫЧНОЕ СТЕКЛО визуально очень похожи, но они представляют различные структурные фазы вещества. Кристалл — это твердое тело, тогда как стекло — медленно текущая жидкость. В спиновых стеклах ориента-

ция «полюсов» магнитных атомов может быть постоянной, и они могут образовать отдельную фазу или же ориентация спинов атомов может меняться очень медленно.

пытывает фазовый переход из парамагнитного состояния в ферромагнитное.

В противоположность этому у других материалов в состояниях с низкой энергией преобладает иная разновидность упорядочения магнитных моментов. Например, соседние атомы хрома стремятся ориентировать свои магнитные моменты в противоположных направлениях; если момент одного из атомов направлен вверх, то момент соседнего атома направлен вниз. Поскольку такое поведение противоположно поведению магнитных моментов атомов железа, это свойство называют антиферромагнетизмом. Как и ферромагнитный материал, хром имеет критическую температуру, при которой он из парамагнетика (случайное положение магнитных моментов) превращается в антиферромагнетик (магнитные моменты ориентированы в противоположных направлениях).

ПРИМЕЧАТЕЛЬНО, что спиновые стекла проявляют как ферромагнитные, так и антиферромагнитные свойства. В одном из классов спиновых стекол немагнитный металл — матрица — «разбавлен» небольшим числом атомов, имеющих ненулевой магнитный момент (спин). В таком разбавленном магнитном сплаве взаимодействия двух соседних магнитных атомов могут быть либо ферромагнитными, либо антиферромагнитными. Например, если несколько частей железа смешают с 100 частями меди, атомы железа, которые обычно взаимодействуют ферромагнитно,

могут взаимодействовать, как в антиферромагнетике. Хотя объяснение этого явления связано с тонкостями квантовой теории, качественно оно может быть подробно описано.

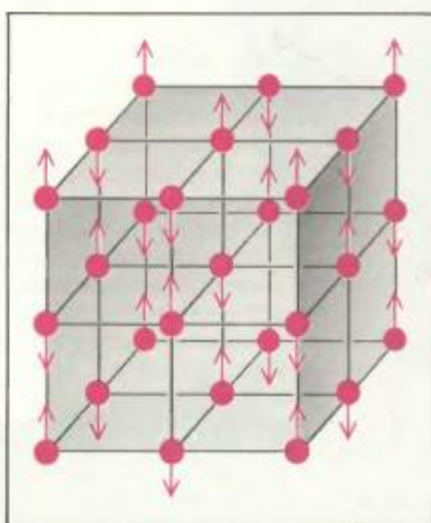
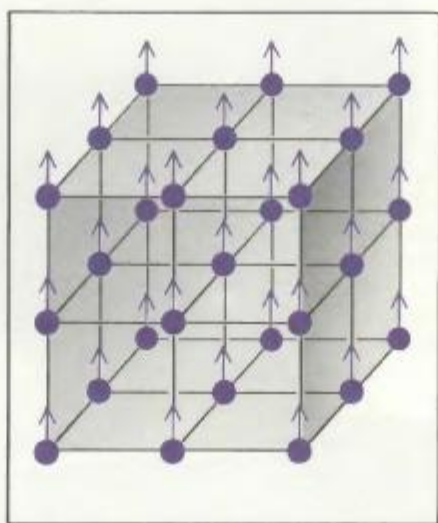
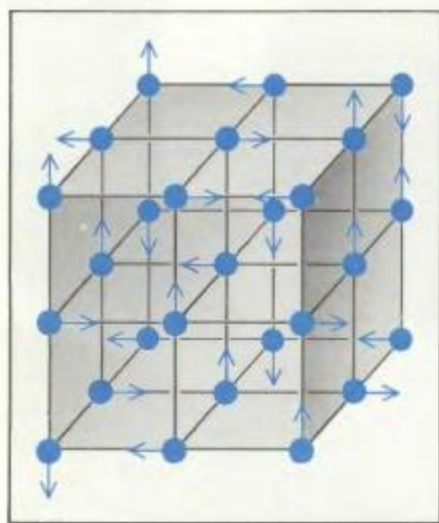
Каждый из электронов проводимости, который свободно движется по меди, обладает спином и взаимодействует с атомами железа довольно странным образом. При некотором расстоянии между атомом и электроном проводимости атом направляет спин электрона так, чтобы он оказался параллелен его собственному спину. Немного дальше спин электрона проводимости антипараллелен спину атома железа, еще дальше — спины параллельны и т. д. Таким образом, атом железа является центром последовательности концентрических сфер, внутри которых его влияние на электрон проводимости, уменьшаясь с расстоянием, попеременно является либо ферромагнитным, либо антиферромагнитным.

Поскольку два соседних магнитных атома взаимодействуют посредством электронов проводимости металламатрицы, это взаимодействие может быть либо ферромагнитным, либо антиферромагнитным в зависимости от расстояния между атомами. Поэтому в спиновом стекле, состоящем из атомов одного металла, разбросанных по матрице из атомов другого металла, взаимодействие примерно половины полного числа всех пар атомов будет ферромагнитным, а другой половины — будет антиферромагнитным. Следовательно, в половине случаев магнитная энергия пары атомов железа снижается, если их спины

параллельны; в других случаях энергия снижается, если спины антипараллельны.

В результате такого двойственного поведения спинов данного атома может не иметь возможности ориентироваться так, чтобы «удовлетворить» связям со всеми другими атомами в спиновом стекле. Представьте три атома железа, расположенных хаотично в решетке из меди. Первый атом антиферромагнитно взаимодействует со вторым, тогда как взаимодействие между первым и третьим и вторым и третьим атомами — ферромагнитное. Нет такой конфигурации спинов, которая удовлетворяла бы сразу всем этим связям. Если, например, спин первого атома направлен вверх, то спин второго атома должен быть направлен вниз. Предполагается, что спин третьего атома ориентируется в одном направлении со спинами как первого атома (спин «вверх»), так и второго (спин «вниз»). Любое расположение спинов будет нарушать по крайней мере одну из связей. Систему, в которой все связи не могут быть удовлетворены одновременно, называют «фрустрированной».

Одно из прямых следствий фрустрации состоит в том, что в спиновых стеклах имеется много низкоэнергетических состояний. Например, если спины первого, второго и третьего атомов железа направлены соответственно либо вверх, вниз, вверх, либо вверх, вниз, вниз, то обе эти конфигурации соответствуют низшему энергетическому состоянию, поскольку число неудовлетворенных связей минимально.



СХЕМАТИЧЕСКИ изображены парамагнетик, ферромагнетик и антиферромагнетик. Атомы ведут себя так, как если бы они были миниатюрными магнитными стрелками. Каждая стрелка указывает на «северный» полюс. Атомы парамагнетика (слева) движутся, их «полюсы» ориентированы случайно. В ферромагнетике (в середине) все «полюсы»

расположены в одном направлении. В антиферромагнетике (справа) «полюсы» соседних атомов ориентированы в противоположных направлениях. Спиновые стекла напоминают «замороженный» парамагнетик с неизменной случайной ориентацией «полюсов».

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ о фрустрации выходит далеко за пределы физики спиновых стекол и используется при решении сложных задач во многих других областях. В случае спиновых стекол отсутствие одного низкоэнергетического состояния вызывает вопрос: является ли спиновое стекло новой фазой вещества или это просто чрезвычайно «вялый» парамагнетик? Когда при понижении температуры жидкость превращается в кристалл или парамагнетик в ферромагнетик — это истинный фазовый переход: в образовавшихся состояниях сохраняется определенный порядок до тех пор, пока температура остается постоянной. Даже обычное стекло, казалось бы, представляет собой новую фазу, однако по существу это жидкость: стекло течет, хотя с такой необыкновенно малой скоростью, что кажется твердым телом.

С одной стороны, спиновое стекло может представлять собой отдельную фазу, в которой магнитный порядок (ориентация спинов) остается неизменным в течение всего времени, пока поддерживается низкая температура. С другой стороны, оно может быть парамагнетиком, динамика которого настолько замедлена, что оно только кажется новой устойчивой фазой. Если бы удалось наблюдать изменение ориентации спинов в спиновом стекле при низкой температуре, можно было бы прийти к заключению, что это просто парамагнетик. Однако вполне вероятно, что для такой окончательной проверки потребуются вести наблюдения в течение времени, большего возраста Вселенной.

В лаборатории можно попытаться найти доказательства фазового перехода — внезапного изменения магнитных и термодинамических свойств спинового стекла при некоторой критической температуре. К сожалению, измерение различных свойств таких систем приводит к противоречивым результатам.

В 1970 г. В. Каннелла, Дж. Мидош и Дж. Будник из Фордхеймского университета изучали магнитные свойства сплавов железо — золото. Они измерили и магнитную восприимчивость — изменение намагниченности вещества при небольшом возрастании внешнего магнитного поля. Эти ученые, как позднее и многие другие исследователи, обнаружили при некоторой критической температуре резкое изменение восприимчивости при ослаблении магнитного поля до нуля. Это внезапное изменение указывает на фазовое превращение.

Данные других экспериментов позволяют сделать противоположный вывод. Предполагали, что фазовый

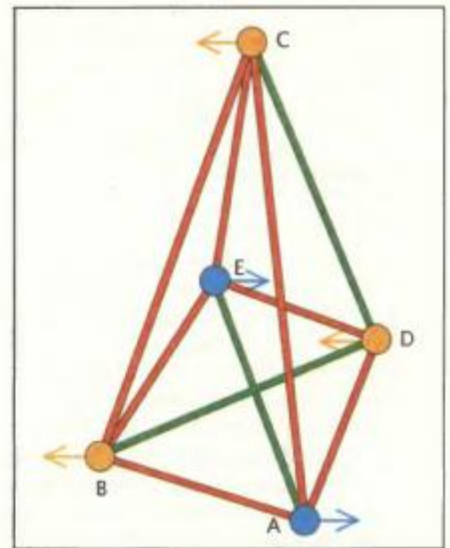
переход можно зарегистрировать по резкому изменению такой термодинамической величины, как теплоемкость — изменение количества тепла, необходимого для повышения температуры материала на заданную величину. Однако никакого резкого изменения теплоемкости не было обнаружено. Вернее, теплоемкость многих различных классов спиновых стекол описывается плавной кривой с размытым максимумом, достигаемым при температуре, которая обычно примерно на 20% выше температуры перехода, регистрируемого по изменению магнитной восприимчивости.

Кроме того, есть некоторые основания предполагать, что измерения магнитных и тепловых свойств проводятся за слишком короткое время, чтобы спиновые стекла могли полностью отреагировать на изменение внешних условий. Поэтому вопрос о том, наблюдался ли в лабораторных условиях фазовый переход в спиновых стеклах, все еще обсуждается.

ВТО ВРЕМЯ как противоречивые результаты беспокоят экспериментаторов, теоретикам мешает отсутствие ясных представлений о термодинамике неупорядоченных систем. В течение последнего десятилетия ради упрощения и возможности объяснения полученных результатов было выполнено большое число теоретических работ, в которых рассматривались заведомо нереалистические модели спиновых стекол. Несмотря на это, попытки исследования даже таких простых моделей оказались важным теоретическим достижением и привели к открытию многих неожиданных свойств неупорядоченных систем.

В 1975 г. С. Эдвардс из Кембриджского университета и Ф. Андерсон из Принстонского университета предложили широко изучавшуюся в дальнейшем модель спиновых стекол с «малым радиусом взаимодействия». В их модели спины расположены в узлах кубической решетки и взаимодействуют только с ближайшими соседями, но с равной вероятностью данное взаимодействие может быть как ферромагнитным, так и антиферромагнитным. Эдвардс и Андерсон приписали каждому взаимодействию некоторое случайное число. (Это число указывает на силу и тип взаимодействия: положительные числа соответствуют ферромагнитным взаимодействиям, отрицательные — антиферромагнитным.)

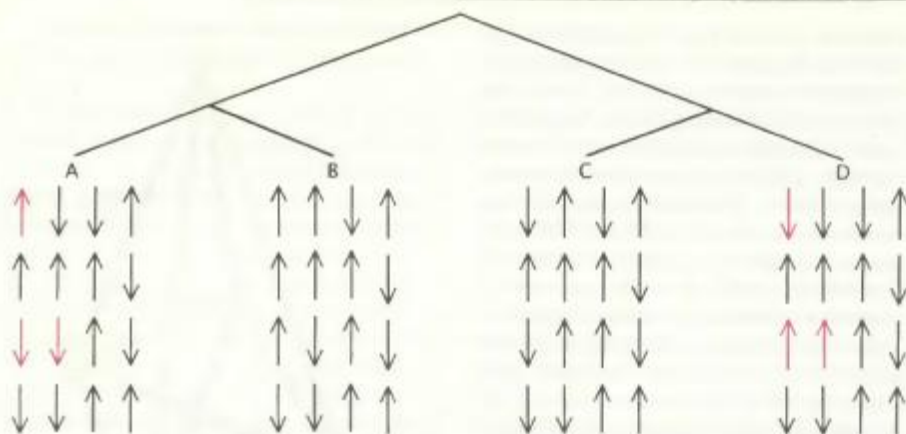
Представьте, что мы проводим в решетке замкнутый контур. Начиная с учета взаимодействия между спином некоторого атома и его соседом,



ФРУСТРАЦИЯ происходит в спиновых стеклах тогда, когда магнитные взаимодействия не согласованы. На схеме зеленые и красные линии обозначают взаимодействия, которые выстраивают «полюсы» соответственно в одном направлении и в противоположных направлениях. Стрелки изображают одно из возможных расположений «полюсов», при котором удовлетворены все связи, кроме связи между B и C. В этом случае всем связям нельзя удовлетворить ни при каком расположении «полюсов».

переходим затем к рассмотрению следующего взаимодействия и продолжаем до тех пор, пока не вернемся к исходному атому. Если зафиксировать значения констант взаимодействия вдоль всего контура и перемножить их, то фрустрация будет иметь место каждый раз, когда это произведение отрицательно. Поскольку в типичной решетке имеется много таких фрустрированных контуров, чрезвычайно трудно для всех спинов определить их значения, которые минимизируют полную энергию системы. Фактически в системе может быть много низкоэнергетических состояний, которые могут быть не связаны друг с другом. Вскоре стало очевидно, что существующие математические методы не позволяют описать низкоэнергетические состояния даже в такой сравнительно простой модели.

После работы Эдвардса и Андерсона Д. Шеррингтон и С. Киркпатрик из Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM предложили модель с «бесконечным радиусом взаимодействия». Они предположили, что в среднем каждый спин с одинаковой силой взаимодействует со всеми спинами системы. Эти ученые надеялись, что их предположение, хотя и значительно менее реалистическое, позволит построить легко



ДЛЯ СПИНОВЫХ СТЕКОЛ «дерево» описывает связь между низкоэнергетическими состояниями решения Паризи. Сопоставление двух состояний и подсчет спинов, которые ориентированы в противоположных направлениях, дают расстояние между состояниями. Цветные стрелки показывают, что расстояние между состояниями A и D равно трем. Первый уровень «дерева» связывает состояния, расстояния между которыми равно двум, для второго уровня расстояния между состояниями равно трем.

поддающуюся исследованию модель. Действительно, удалось показать, что в этой модели имеет место истинный фазовый переход из парамагнитной фазы в фазу спинового стекла, в который спины «заморожены» в некотором неизменном случайном положении. Однако попытки разобраться в свойствах фазы спинового стекла столкнулись с гораздо большими трудностями, чем предполагалось.

В 1979 г. Дж. Паризи из Римского университета получил решение для модели Шеррингтона — Киркпатрика. Это решение до сих пор строго не обосновано, хотя имеются веские соображения в его пользу. Тем не менее, когда Паризи предложил свое решение, оно было настолько необычным и настолько отличалось от предшествовавших способов описания фаз вещества, что понадобилось четыре года, чтобы понять его физический смысл.

Решение Паризи показывает, что ниже критической температуры спинового стекла в модели Шеррингтона — Киркпатрика может замораживаться в одной из многих возможных фаз, каждая из которых представляет собой низкоэнергетическое состояние. Однако эти состояния не связаны простым симметричным преобразованием, таким как изменение направления всех спинов. Чтобы перейти от одного низкоэнергетического состояния к другому, должны быть перевернуты не все, но значительная часть спинов. В 1977 г. работа Андерсона, Д. Таулесса и Р. Палмера подкрепила идею существования многих нетривиальных решений в модели спинового стекла с большим радиусом взаимодействия. Это поразительное свой-

ство модели Шеррингтона — Киркпатрика оказалось очень важным для задач вычислительной математики, биологии и в других областях.

В 1984 г. М. Мезар, Н. Сурла и Ж. Тулуз из Высшей нормальной школы в Париже, М. Вирасоро из Института Маркони в Риме и Паризи показали, что между низкоэнергетическими состояниями действительно существует определенная связь. На основании расстояний между ними эти состояния могут быть расположены в иерархическом порядке, подобно генеалогическому дереву или эволюционной диаграмме. Чтобы определить расстояние между состояниями, для каждого состояния рассматривается «карта», на которой задается ориентация всех спинов. Карты парами накладывают одну на другую, так что спин в данном состоянии можно сравнить с расположенным в том же месте спином в другом состоянии. Чтобы оценить расстояние между этими состояниями, разности значений спинов суммируют. Низкоэнергетические состояния имеют тенденцию группироваться на «дерево»: у «детей одних родителей» различие в расстоянии наименьшее, затем идут «двоюродные братья и сестры» и т. д. Появление такой иерархической структуры очень необычно для физических систем. Эта структура напоминает биологические и другие аналогично эволюционирующие системы и может быть присуща многим неупорядоченным системам.

Недавно проведенные исследования более реалистической модели с малым радиусом взаимодействия У. Макмиллана (ныне покойного), Фишера и Д. Хьюза из AT&T Bell

Laboratories, Э. Брэя и М. Мура из Манчестерского университета, по-видимому, указывают на то, что иерархическая структура — своеобразная особенность модели Шеррингтона — Киркпатрика с бесконечным радиусом взаимодействия. Хотя споры об обоснованности новых теорий продолжаются, они адекватно описывают многие свойства, наблюдаемые в спиновых стеклах в лабораторных условиях. Эти теории предсказывают наличие низкотемпературной фазы спинового стекла, в которой имеется только два состояния с низшей энергией — совсем не так, как в модели Шеррингтона — Киркпатрика. Объяснение того, как модели спиновых стекол с малым радиусом и бесконечным радиусом взаимодействия соотносятся с реальными спиновыми стеклами и друг с другом, остается главным объектом внимания физиков-теоретиков.

НЕСМОТРЯ на недостаточное полное понимание природы спиновых стекол, последние 10 лет предпринимались дерзкие, возможно, отчаянные попытки применить то, что уже известно, к некоторым нерешенным задачам информатики, нейрологии и биологии. Какие свойства спиновых стекол могут иметь отношение к этим задачам? Многие из них не могут быть упрощены и не сводятся к задаче с малым числом переменных. Наоборот, как и в случае спиновых стекол, имеется огромное число переменных, которые по-разному взаимодействуют. Обычно, точно так же как при фрустрации в спиновых стеклах, все ограничения данной задачи не могут быть удовлетворены одновременно. Поэтому часто в задаче имеется много допустимых и явно не связанных между собой решений.

Моделирование спиновых стекол предоставило математический аппарат, в рамках которого можно описать все эти интересные свойства и даже продвинуться вперед. Поэтому теория спиновых стекол стала естественной отправной точкой для построения простейших моделей других сложных систем. Эта теория позволила воспроизвести определенные свойства подобных систем, которые до сих пор было трудно или невозможно моделировать.

Одно из первых приложений математического аппарата теории спиновых стекол — создание компьютерных алгоритмов для решения задач комбинаторной оптимизации. Хорошо известный пример такой задачи — задача о коммивояжере: «Каков кратчайший путь коммивояжера, которому надо посетить заданное число

городов и вернуться в исходный пункт?» Кажется, можно получить ответ, решая задачу «в лоб»: надо вычислить расстояния между каждым двумя городами, сложить эти расстояния для всех возможных маршрутов, входящих в поездку, и выбрать самую короткую комбинацию. Хотя такую стратегию можно использовать при небольшом числе городов, дальше начинаются неприятности. Когда число городов растет, число возможностей становится невообразимо большим.

Если, например, число городов равно 5, компьютер легко рассчитывает 12 различных возможностей. В случае 10 городов компьютер все еще справляется с расчетом 181 440 возможных комбинаций. Однако уже для 25 городов число возможных маршрутов становится настолько большим, что компьютеру, способному вычислять до миллиона возможных маршрутов

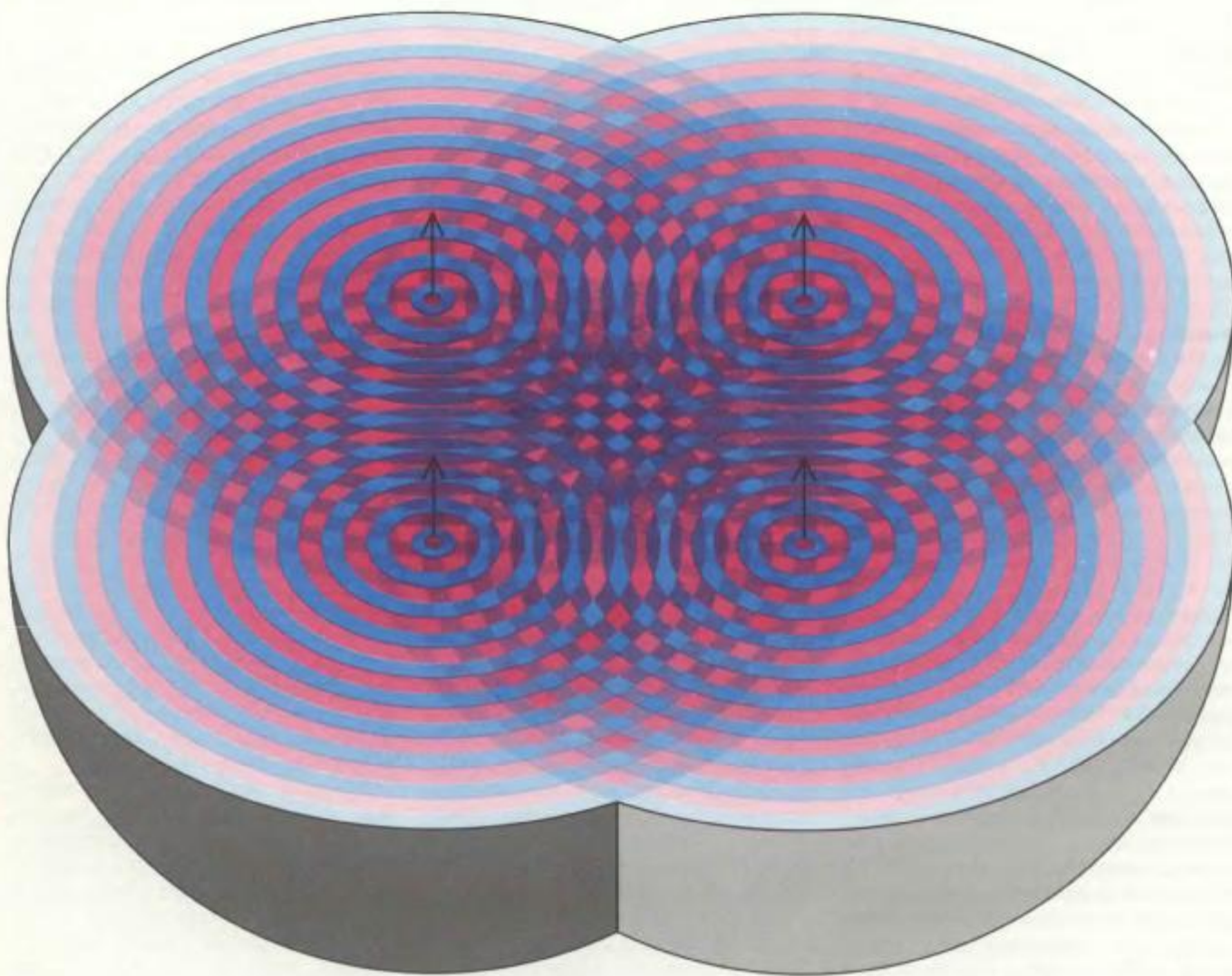
в секунду, потребуется 9,8 млрд. лет, т. е. почти две трети времени существования Вселенной.

Обычно задачи комбинаторной оптимизации, подобно представленной выше, включает большое число переменных и ограничений, невероятное число возможных комбинаций и функций издержек, которые описывают все возможные значения оптимизируемых величин. (В задаче о коммивояжере функцией издержек является дальность путешествия как функция каждого возможного маршрута.) Проще говоря, в задаче комбинаторной оптимизации ставится вопрос, какое решение обходится наиболее дешево.

Для многих задач, даже таких, в которых имеется большое число переменных, чрезвычайно искусные алгоритмы могут отыскать самое дешевое, или «глобально» оптимальное,

решение за сравнительно короткое время. Однако твердо установлено, что для задач комбинаторной оптимизации определенного типа нельзя разработать алгоритм, который для каждой конкретной задачи за приемлемое время отыскивал бы наилучшее решение. Эти «трудные» задачи часто имеют практическое применение в логике, робототехнике, теории языка, а также в теории хранения и поиска информации. Это также не вызывает удивления, как то, что одной из таких трудных задач является определение расположения спинов в нижшем энергетическом состоянии, которые удовлетворяют трехмерной модели спинового стекла Эдвардса — Андерсона.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ подход к решению трудных задач комбинаторной оптимизации заключается в



СПИНОВОЕ СТЕКЛО образуется тогда, когда атомы взаимодействуют с электронами проводимости. Каждая стрелка указывает направление «северного полюса» атома. Каждый атом представляет центр последовательности концентрических сфер, внутри которых его влияние на окружающие электроны проводимости, уменьшаясь с рас-

стоянием (показано ослаблением цвета), приводит либо к ориентации их «полюсов» на «юг» (красный), либо на «север» (синий). Атомы взаимодействуют с участием электронов, «полюсы» которых могут переворачиваться благодаря влиянию других атомов и окружающих электронов.

поиске «локально» оптимальных решений. Эти сравнительно «недорогие» решения не могут быть улучшены путем каких-либо незначительных изменений найденных величин, таких как поворот нескольких спинов в спиновом стекле или изменение порядка посещения группы городов в задаче о коммивояжере. Для тех, кто не хочет заниматься поисками «хорошего» локально оптимального решения, существует единственная альтернатива — ожидание появления в следующем столетии компьютера, способного сразу отыскать наилучшее решение.

Те же, кто не намерен ждать так долго, могут воспользоваться процедурой, разработанной Киркпатриком, Ч. Гелаттом-младшим и М. Веччи из Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM. Они составили компьютерный алгоритм, названный «имитацией отжига», который находит локально оптимальные решения за приемлемое время. Физические методы поисков низкоэнергетического состояния спинового стекла стали основой этого метода.

Энергия спинового стекла может быть представлена в виде функции состояния системы, т. е. определенного расположения спинов. Если каждый спин может быть ориентирован в одном из двух направлений (вверх или вниз), то полное число различных состояний равно двойке, возведенной в степень, равную числу спинов в системе. Системой определяется, будет ли взаимодействие некоторой пары спинов ферромагнитным или антиферромагнитным, а энергия данного состояния зависит от того, сколько спинов в этом состоянии соответствует взаимодействиям. Если все связи удовлетворены, то энергия в данном состоянии минимальна. Если нет — ее значение несколько выше.

Энергия как функция всех состояний задает поверхность в некотором пространстве, размерность которого равна числу спинов. Вместо попыток вообразить такую геометрическую фигуру, представьте себе эту функцию в виде горного хребта: высота каждой точки отождествляется с энергией какого-то состояния. Предположим, что в данный момент система находится в определенном состоянии с большой энергией: на одной из вершин спортсменов на горном велосипеде. Цель спортсмена заключается в том, чтобы без карты отыскать наиболее глубокую долину — состояние с низшей энергией.

Спортсмен спускается с горы и попадает в ближайшую долину. Сомневаясь, что ему посчастливилось попасть в самую глубокую долину, он

добирается до горного перевала и спускается в долину, еще более глубокую. После осмотра большого числа долин и подъема на большое число вершин спортсмен приходит к убеждению, что он попал в искомую, самую глубокую долину. Однако полной уверенности в этом у него нет, поскольку многие долины остались необследованными.

Поиск низкоэнергетического состояния спинового стекла требует нагрева и охлаждения (отжига) по аналогии с подъемом и спуском с горы. Если температура чрезвычайно низка, то система очень долгое время будет оставаться в неглубокой «долине». Когда температура повышается, система обладает большей энергией, которую, образно говоря, можно использовать для разведки. Спины такой системы могут легко поворачиваться. Следовательно, более вероятно, что системе удастся выбраться из мелкой долины и она сможет «испытать» много более подходящих спиновых конфигураций, часть из которых могут иметь более низкую энергию, чем исходное состояние.

Тогда простой алгоритм поиска состояния со сравнительно низкой энергией сводится к имитации высокой температуры (когда в принципе система может «испытать» любое состояние) и медленного охлаждения, так чтобы система «обосновалась» в состоянии с более низкой энергией. Если на ранней стадии система застревает в какой-либо расположенной сравнительно высоко долине, у нее тем не менее есть шанс выбраться через ближайший перевал и поискать более глубокую (с более низкой энергией) долину. После большого числа циклов нагрева и охлаждения алгоритм с высокой степенью вероятности гарантирует, что получено хорошее решение, т. е. состояние с низкой энергией, хотя шанс отыскать в этом огромном пространстве самое лучшее решение чрезвычайно мал.

Во многих задачах комбинаторной оптимизации функция издержек представляет собой неровный ландшафт в пространстве состояний, очень напоминающий зависимость энергии спинового стекла от его состояния. Алгоритмы имитации отжига «справляются» с задачами комбинаторной оптимизации, как если бы проблема состояла в отыскании низкоэнергетического решения для спиновых стекол. Функция издержек становится энергией как функцией состояния. Хотя в этой задаче температура не имеет физического смысла, ее можно поднимать или снижать как обычную температуру. Это дает системе возможность обследовать различные обла-

сти в пространстве состояний при поиске хорошего решения. Таким образом, алгоритмы имитации отжига могут сравнительно быстро отыскать «недорогое» решение для ряда задач комбинаторной оптимизации.

В НАЧАЛЕ 80-х годов Дж. Хопфилд из AT & T Bell Laboratories и Калифорнийского технологического института предложил другое важное применение математических методов, разработанных в теории спиновых стекол. Он понял, что, если подобрать подходящие правила динамики, система, аналогичная спиновому стеклу, могла бы производить вычисления и хранить информацию. Эта система исключительно интересна, поскольку по своим свойствам она похожа на мозг человека значительно больше, чем обычные цифровые компьютеры (см. статью: Д. Тэкс, Дж. Хопфилд. Коллективные вычисления в нейроподобных электронных схемах, «В мире науки», 1988, № 2).

Модель Хопфилда составлена из простых «нейронов», каждый из которых может находиться в одном из двух состояний: «вверх» (активном) и «вниз» (заторможенном). Остается ли данный электрон в своем исходном состоянии или оно меняется, зависит от состояния всех связанных с ним нейронов. Природа данной вычислительной задачи устанавливает конфигурацию нейронной связи. В отличие от реальных нейронов взаимодействия нейронов в модели Хопфилда симметрично: влияние данного нейрона на другой нейрон такое же, как и обратное влияние.

В некотором отношении эта система действительно напоминает спиновое стекло. Это набор переменных величин (каждая принимает одно из двух значений), которые взаимодействуют сложным, неодинаковым образом. Основные отличия связаны с тем, каким образом в нейронной модели выбрано распределение вероятности взаимодействий, а также с тем, что взаимодействия могут меняться во времени, благодаря чему становится возможно «обучение».

Для этой системы, как и для спиновых стекол, может быть введена «энергия» как функция состояния. Как и раньше, в результате получается гористый ландшафт в пространстве состояний. Энергетические «долины» могут соответствовать воспоминаниям, которые надо вызвать, образам, которые надо распознать, и другим видам умственной деятельности. Нейронные связи в системе фиксируют число, расположение и глубину долин.

Сигнал из внешнего мира определя-

ет начальное положение системы в пространстве состояний — а именно какие нейроны активны и какие заморожены. Область притяжения окружает самую низкую точку в долине: «решение». Если система окажется где-либо внутри этой области, она будет эволюционировать по направлению к данному решению. Таким образом, сигналы из внешнего мира инициируют выбор заданного решения, например вызывают заданное воспоминание.

Система такого типа существенно отличается от линейных последовательных алгоритмов, предназначенных для цифровых компьютеров. Проводимые здесь вычисления, как и процессы, контролируемые нервной системой животного, коллективны по своей природе. А именно все элементы системы взаимодействуют друг с другом одновременно, и по ходу расчета многие из них изменяют свое состояние.

ИССЛЕДОВАТЕЛИ обнаружили еще одну связь между теорией спиновых стекол и проблемами биологии: заманиваю возможность использовать разработанные методы для описания биологической эволюции. Один из центральных вопросов ранней стадии эволюции таков: «Как из «бульона» таких небольших молекул, как аминокислоты или нуклеотиды, могли образоваться высокоорганизованные, несущие информацию макромолекулы, такие как белки или ДНК?» Химизм этого процесса точно не известен. Тем не менее можно создать математическую модель эволюции молекул, в которой происходит интересный переход от малой к большой «информации».

Предположим, что биологическая информация, содержащаяся в последовательности мономеров (строительных блоках макромолекулы, являющейся полимером), полезна, если она помогает полимеру «выжить». До того как появился сложный клеточный механизм, «переводящий» последовательность мономеров ДНК в функциональные белки, вероятность выживания полимера могла быть непосредственно связана с химическими свойствами реализовавшейся последовательности мономеров: легкостью репликации, пространственной гибкостью, вероятностью адсорбции на расположенной поблизости поверхности, склонностью к образованию хаотического «клубка», стабильностью и т. д.

В начале 80-х годов Д. Рошар из Принстонского университета, Андерсон и я рассмотрели два полимера X и Y, которые в принципе могут симво-

лизировать любые две молекулы, представляющие интерес с точки зрения биологии. Эти два мономера смешаны в равных пропорциях. Системе «навязана» последовательность событий: с течением времени выстраиваются все более длинные цепочки мономеров. Ключ к производству большого количества информации связан с процессом, характеризующимся как дивергенцией, так и отбором. Дивергенция означает, что результатом такой последовательности событий может быть большое число различных полимеров. Если, например, связь X—Y гораздо более стабильна, чем связи между мономерами X и X или Y и Y, процесс роста всегда будет приводить к полимерам с последовательностью X, Y, X, Y, X, Y и т. д. С помощью такого процесса ничему нельзя научиться. С другой стороны, отбор означает, что не все полимеры имеют равные шансы «выжить». Если в системе образуется каждый из возможного типа полимеров, цель опять не будет достигнута. Информация, содержащаяся в этой системе, может быть определена просто как логарифм отношения числа возможных полимеров к числу существующих полимеров.

Чтобы воспроизвести и дивергенцию и отбор, мы изучали довольно абстрактную модель, в которой взаимодействие между двумя любыми мономерами в цепочке имеет примерно равные шансы либо увеличить, либо уменьшить вероятность «выживания» последовательности. Для данной цепочки полная вероятность выживания за единицу времени складывается из вкладов каждой из пар мономеров. Может быть построена математическая модель, статистически учитывающая все эти множители. Математический аппарат этой модели очень похож на тот, который используется при описании спинового стекла.

Как и функция состояний для спинового стекла, в этой модели функция, описывающая вероятность выживания, имеет много пиков и долин в пространстве состояний всех полимеров. Модель показывает, что не для всех полимеров вероятность одинакова (что представляется реалистичным). Более того, пока число «хороших» полимеров экспоненциально растет с увеличением размеров полимеров, поддерживается достаточно их разнообразие, чтобы производить информацию.

КАКОВ бы ни был дальнейший результат такого рода попыток, они уже заметно способствовали взаимному обогащению таких различ-

ных дисциплин, как физика, математика, информатика, биология, химия, экономика. Все больше исследователей пытаются решить фундаментальные проблемы, в которых проявляются свойственные нашему миру неопределенность и беспорядок. Мы начали лучше понимать, почему эти системы так трудно описать математически. Может быть, это поможет лучше понять эти системы, «говоря на их языке». Мы, наконец, закатали рукава и готовы заняться «грязью».

Вниманию читателей!

Дж. Теппермен,
Г. Теппермен

ФИЗИОЛОГИЯ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМЫ

Перевод с английского

Книга американских авторов — 5-е издание учебного пособия по физиологии эндокринной системы. Рассмотрены как общие вопросы функционирования желез внутренней секреции и механизма действия гормонов, так и специальные: нейроэндокринология, гормоны надпочечников, щитовидной и поджелудочной желез, регуляция энергетического и кальциевого обмена. Особое внимание уделено клиническим вопросам.

Из рецензии: «В отличие от многих монографий, построенных по классическому стереотипу — описание клиники отдельных эндокринных расстройств, рекомендации по лечению и лишь в последнюю очередь физиология системы, в основу данной книги положены обобщающие концепции, позволяющие связать представления о специфической роли эндокринных желез с общей физиологией поддержания гомеостаза».

Для физиологов, биохимиков, эндокринологов, студентов-медиков и биологов.

1990 г. 44 л. Цена 3 р. 90 к.



Рифтовый вулканизм

Когда в жесткой оболочке Земли образуется рифт, пластичные мантийные породы поднимаются и частично плавятся. При этом, если температура мантии даже немного превышает нормальную, происходят вспышки вулканической деятельности

РОБЕРТ С. УАЙТ, ДЭН П. МАККЕНЗИ

ШЕСТЬДЕСЯТ шесть миллионов лет назад на западной окраине полуострова Индостан в земной коре образовался рифт и колоссальное количество расплавленной породы излилось на сушу. Менее чем за 500 тыс. лет образовалось почти 2 млн. км³ лавы, которая покрыла значительную часть западной области полуострова слоями базальтов мощностью сотни метров. Этот эпизод геологической истории мог существенно повлиять на климат и экологию планеты; некоторые ученые даже связывают с ним исчезновение динозавров. Вместе с тем он был далеко не уникальным: на протяжении геологической истории при континентальном рифтогенезе случалось много аналогичных катаклизмов.

Рифтовый вулканизм проявляется и как более "спокойный" процесс, с которым в больших масштабах времени была связана еще большая вулканическая активность. Эта активность, хотя и скрытая от глаз, носит постоянный характер на срединно-океанических хребтах, которые рассекают дно Мирового океана. Хребты отмечают положение рифтов, в которых выделяется магма и благодаря этому ежегодно образуется около 20 км³ новой океанической коры.

Контраст между "внезапным", катастрофическим вулканизмом, с которым связано образование покровных базальтов, и обычным вулканизмом, при котором образуется океаническая кора, позволял предполагать, что лежащие в их основе механизмы должны быть различными. Однако в настоящее время мы можем объяснить оба типа рифтового вулканизма, равно как количество и состав образующейся магмы и вертикальные перемещения коры рифтовых зон с помощью единого механизма, описываемого в рамках простых физических законов и известных процессов тектоники плит.

Лежащая в основе концепция проста: рифтовый вулканизм возникает, когда в результате тектонических движений происходит растяжение, и в

конечном итоге разрыв внешней оболочки Земли; при этом магма поднимается на уровни с меньшим давлением, где происходит плавление ряда компонентов горячих, но твердых мантийных пород. Различие между катастрофическим вулканизмом в одних рифтах и более спокойными процессами в других отражает лишь различие в начальных условиях — в частности, в температуре родоначальной магмы. Мы имеем два рода доказательств этого утверждения: количественное описание условий плавления пород и данные наблюдений, выполненных на рифтовых окраинах континентов и в образовавшихся между ними океанах.

Лабораторные исследования

Многие годы исследователи изучали процессы плавления мантийных пород, моделируя в лаборатории температуру и давление, существующие в глубинах Земли. Образец породы размером около 1 мм³ с тем же составом, что и земная мантия, нагревают под давлением до определенной температуры, а затем быстро охлаждают. Любой расплавленный материал, застывая, превращается в стекло, анализируя которое можно определить количество и состав выплавки. Повышение температуры ведет к увеличению объема выплавки и изменению ее состава вследствие перехода в расплав более тугоплавких компонентов породы. Увеличение давления приводит к уменьшению количества выплавки за счет повышения солидуса — температуры, при которой начинается плавление пород.

За последние годы подобного рода эксперименты были выполнены многими исследователями, в том числе Дейвидом Грином и его студентами из Тасманского университета, А.Е. Рингвудом из Австралийского национального университета, Дейвидом Уолкером и Эдвардом М. Столпером из Гарвардского университета,

Еичи Такахаски и Икуо Кусиро из Токийского университета и Тосицугу Фуджи и Кристофером М. Скарфом из Университета Альберты. Многие вопросы в этой области вызывают ожесточенные споры. Вместе с тем экспериментальные данные удается согласовать между собой: один из авторов (Маккензи) вместе с Майклом Дж. Биклем из Кембриджского университета, обобщив многочисленные наблюдения, вывел простые математические уравнения, описывающие зависимость количества и состава выплавки от температуры и давления. Что касается расхождений экспериментальных данных, то большая их часть, как оказалось, укладывается в диапазон ошибок измерений.

Каким образом эти уравнения могут быть использованы для объяснения процессов плавления в рифтовых зонах? Тектонические процессы, в том числе рифтогенез и движение плит, влияют на жесткую внешнюю оболочку Земли — литосферу, толщиной около 120 км, состоящую из коры и подстилающей мантии. Глубже 120 км мантия является твердой, но пластичной, как оконное стекло при комнатной температуре, и поэтому в масштабе геологического времени может считаться текучей средой. Когда вышележащая литосфера растягивается и утоняется или разрывается при расхождении плит, материал этой пластичной мантии, называемой астеносферой, поднимается и занимает освобождающееся пространство. При подъеме мантийных пород происходит падение давления.

Если подъем идет достаточно быстро — со скоростью порядка нескольких сантиметров в год, как при расхождении плит, то мантийный материал не успевает терять тепло благодаря теплопроводности и может, в конечном итоге, подняться до уровня, на котором его температура превысит солидус. Вначале происходит плавление относительно небольшого количества материала — компонентов породы, имеющих наиболее низкую температуру плавления, но чем

выше, тем больше становится объем расплавленной фракции.

Задав температуру поднимающегося мантийного материала и величину утонения литосферы, с помощью наших уравнений можно определить количество и состав выплавки, образующейся на каждом уровне рифтовой зоны. Суммирование результатов по всему диапазону глубин дает общий объем выплавки и ее состав. Варьируя начальные условия, мы пришли к неожиданному выводу: при данном утонении литосферы небольшие вариации температуры родоначальной мантии существенно влияют на объем образовавшейся магмы.

Какое же количество выплавки в действительности выделяется из мантии, чтобы затем излиться на поверхность через вулканы или остаться в земной

коре в виде интрузий? Выплавка является плавучей, поскольку она состоит из более легких компонентов породы. Просачивание ее сквозь вышележащие породы зависит, однако, от ее способности "смачивать" зерна, из которых эта порода состоит. Так, капельки ртути задерживаются тканью, поскольку они не смачивают нитки, а вода без труда проникает сквозь ткань.

Лабораторные исследования дают основание полагать, что расплавленная порода ведет себя скорее как вода, а не как ртуть. Уже упоминавшиеся Столпер и Уолкер, а также Дональд Л. Таркотт из Корнеллского университета показали, что выплавка быстро отделяется от остаточных, нерасплавленных кристаллов, если ее содержание превышает 1-2%. Детальные расчеты, выполненные Дейви-

дом Р. Скоттом и Дейвидом Дж. Стивенсоном из Калифорнийского технологического института и одним из авторов статьи (Маккензи), подтверждают, что в основном вся расплавленная порода будет выделяться из зоны плавления. В таком случае влияние вариаций температуры на продукты плавления будет наиболее заметно вблизи поверхности.

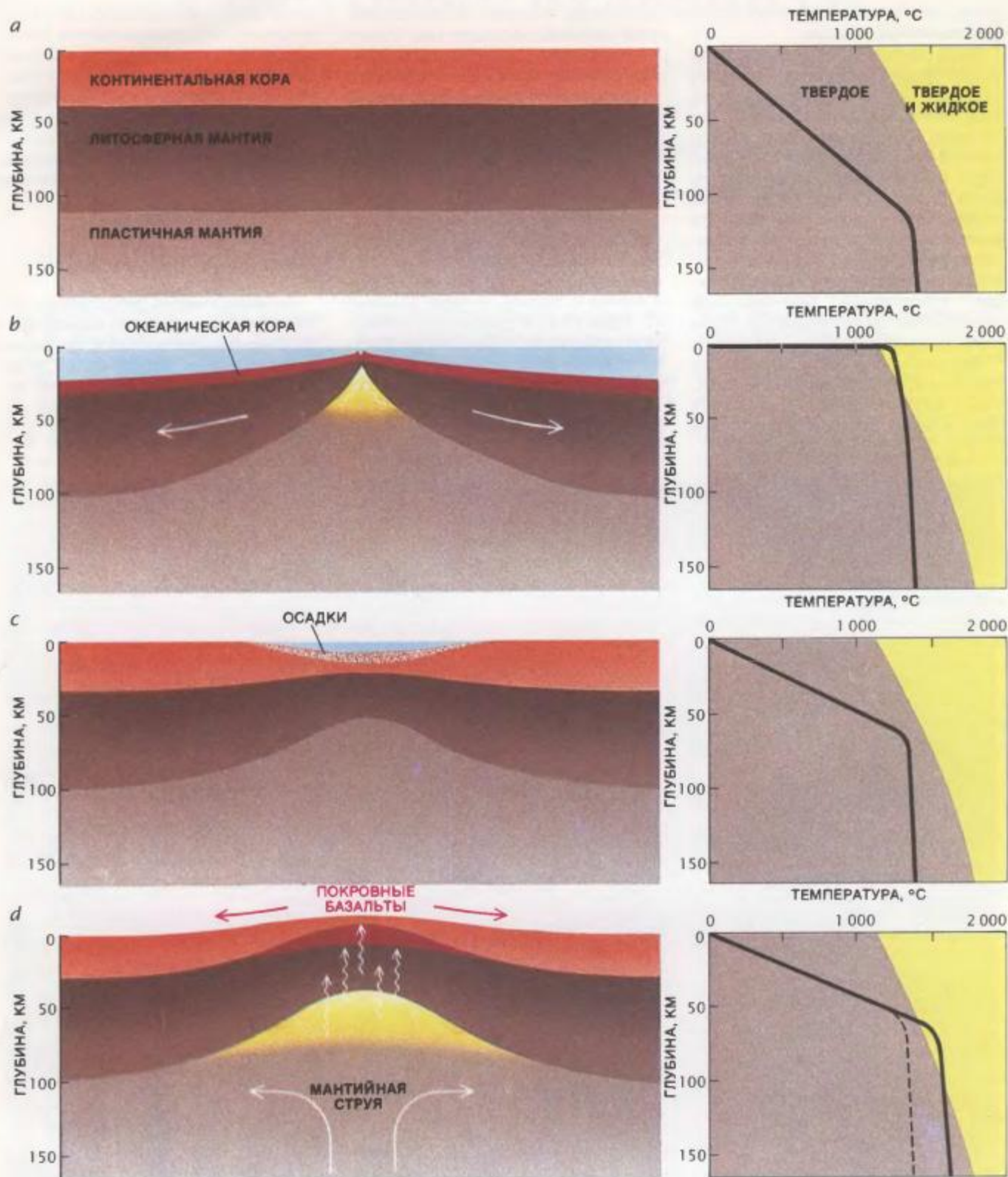
Природная лаборатория

На Земле имеется превосходная "лаборатория" для проверки нашей модели, описывающей процессы плавления мантии в рифтах: это дно океана. Каждый срединно-океанический хребет отмечает рифт между двумя плитами, которые постоянно отодвигаются друг



СТУПЕНЧАТЫЙ ЛАНДШАФТ Деканских траппов в западной части Индии был сформирован примерно за 500 000 лет серией колоссальных базальтовых потоков; каждый

горизонт соответствует крупному извержению. Излияния начались 66 млн. лет назад, когда над участком аномально горячей мантии стал открываться рифт.



УТОНЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ (коры и самой верхней части мантии) может привести к частичному плавлению расположенных ниже горячих и пластичных пород. В литосфере с нормальной мощностью (а) температура (жирная кривая) увеличивается с глубиной, но одновременное повышение давления не дает пластичным породам под литосферой плавиться. (Цветом на графике показано влияние глубины на температуру плавления.) Там, где в литосфере образуется рифт, формируя океаническую котловину (б), горячие мантийные породы могут подниматься к поверхности. Поскольку при уменьшении давления (декомпрессии) температура плавления падает, часть изначально твердого материала при его движении вверх плавится. Образующаяся

магма застывает, формируя океаническую кору. Если литосфера только растягивается, скажем, вдвое — как в зарождающемся рифте или в осадочном бассейне (с), — то выплавки обычно производится мало или она вообще отсутствует. Когда горячая мантия поднимается, температурная кривая приближается к кривой плавления, но не пересекает её. Однако если мантийная струя (плюм) нагреет породы примерно на 200°C (д), то при том же растяжении литосферы произойдет "вспышка" вулканической активности. При падении давления в поднимающейся мантии образуется магма, которая в виде покровных базальтов выплескивается на сушу.

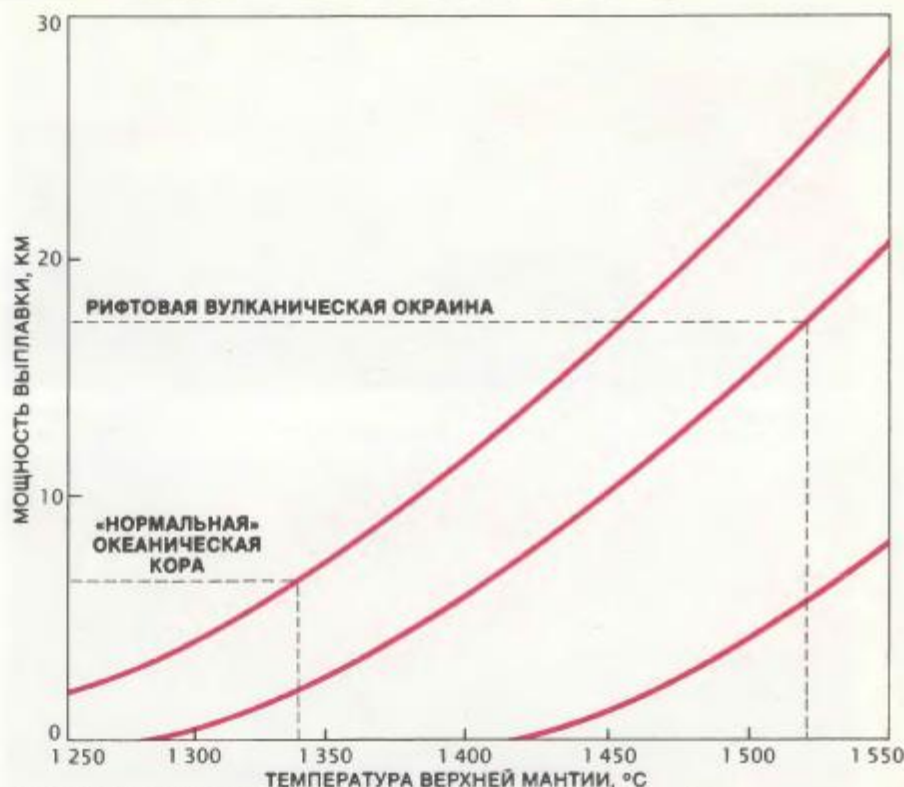
от друга; одновременно в результате вулканической деятельности к краям плит непрерывно добавляется новый материал. Некоторые исследователи связывают вулканизм с локальным тепловым источником в мантии, тогда как наша модель объясняет процесс плавления одним лишь падением давления, т.е. декомпрессией, в поднимающемся мантийном материале.

В океаническом рифте литосфера раскалывается, что приводит к подъему вещества астеносферы почти до поверхности. При падении давления образуется магма, которая формирует новую океаническую кору. Модель, претендующая на количественные оценки, должна давать мощность коры (указывающей на объем выплавки) и ее состав.

Пневматические пушки или взрывы на поверхности моря генерируют низкочастотные звуковые волны, которые в виде сейсмических волн могут проникать в океаническую кору и расположенную ниже литосферную мантию. Эти сейсмические волны из-за различий в свойствах пород, таких как плотность и сейсмическая скорость, преломляются и отражаются назад к поверхности, что позволяет получать изображение глубинных слоев. В течение последних 30 лет с помощью этой техники сейсмического профилирования было показано, что мощность океанической коры, на удивление, постоянна — в среднем между 6 и 7 км.

Этот факт легко объясняется нашей моделью генерации выплавки с падением давления: в поднимающейся мантии давление падает с постоянной скоростью вне зависимости от скорости расхождения плит. Более того, приняв, что температура мантии в интересующем нас интервале глубин лежит в пределах от 1320 до 1360°C, мы на основании модели получили правильные оценки количества магмы. Мантийный материал с температурой 1340°C должен начинать плавиться при подъеме до глубины 50 км; при достижении им поверхности расплавится в среднем 25% породы. В результате этих расчетов мы приходим к наблюдаемым значениям мощности океанической коры.

Итак, наша простая модель плавления при декомпрессии позволяет объяснить образование магмы в срединно-океанических хребтах и удивительно точно определить значение температуры в подстилающей мантии. Более того, постоянство мощности океанической коры означает, что вариации температуры по всему земному шару составляют не более 20°C. Модель предсказывает также состав выплавки, выделяющейся на срединно-океанических хребтах, и точно вос-



мощность расплавленного слоя, образующегося в рифте, зависит от степени утонения литосферы и от температуры подстилающей мантии. Из модели, разработанной авторами статьи, следует, что при утонении литосферы в два раза (нижняя кривая) над мантией с нормальной температурой (1340°C) плавления не происходит; при утонении коры в пять раз (средняя кривая) образуется небольшое количество магмы. При полном разрыве литосферы (верхняя кривая) образуется расплавленный слой мощностью 6,5 км (именно такова средняя мощность океанической коры). Однако если температура мантии выше нормы (но не более чем на 200°C), то при утонении литосферы в пять раз возникает выплавка, достаточная для образования толщи базальтов мощностью 15 км и более, встречающихся на рифтовых окраинах некоторых континентов.

производит известный состав океанической коры. Обнадешивает и тот факт, что Эмили М.Клейн и Чарлз Х.Лангмюр из Геологической обсерватории Ламонт-Дорси Колумбийского университета, изучая данные измерений, выполненных по всему земному шару, также нашли доказательства того, что температура мантии в срединно-океанических хребтах коррелирует с мощностью земной коры и ее составом.

Континентальный рифтогенез

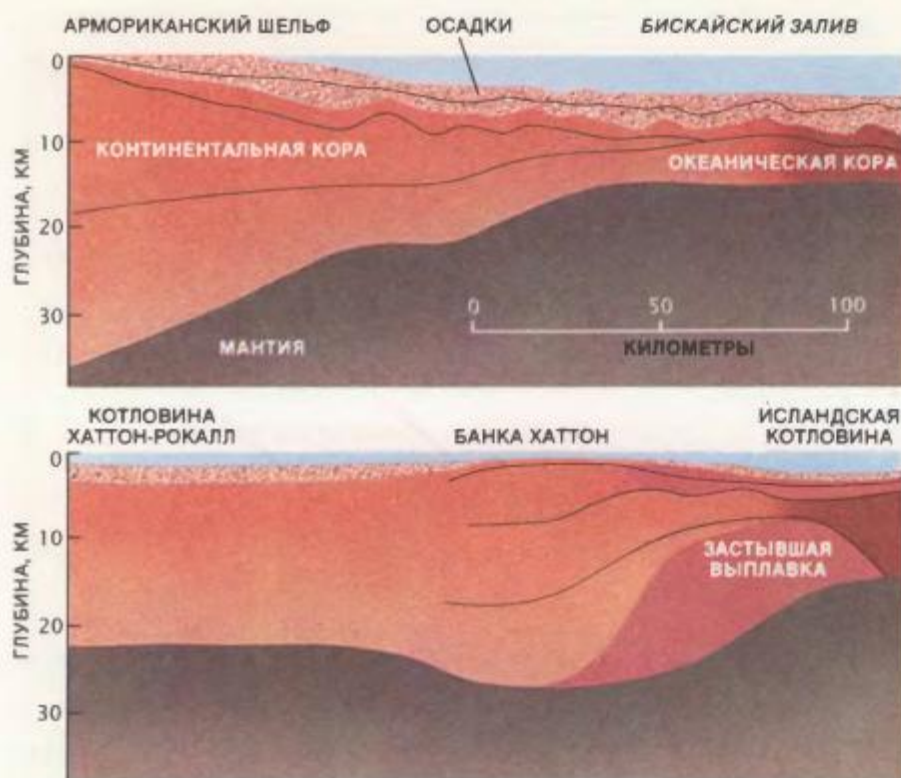
Образование всякого океанического бассейна связано с растяжением, утонением и в конечном счете разрывом континентальной коры. Как и на срединно-океанических хребтах, при рифтогенезе происходят подъем и плавление материала подстилающей мантии за счет уменьшения давления при подъеме. Что можно сказать на основании нашей модели о магматизме в начале рифтогенеза?

В некоторых регионах континентов

литосфера растянулась ненамного, не более чем в два раза, после чего растяжение прекратилось. Модель плавления при декомпрессии предсказывает, что при ограниченном подъеме образуется лишь небольшое количество выплавки или она отсутствует вообще. Однако именно такие регионы дают пример явления, которое характерно для всех континентальных рифтов: это погружение коры.

Континенты находятся выше уровня моря, поскольку континентальная кора плавает на более плотной ниже лежащей мантии. Растяжение приводит к утонению континентальной коры и та опускается ниже уровня моря. В некоторых случаях первоначальное опускание компенсируется другим процессом: утонением подстилающей литосферной мантии, что заставляет более горячую (и поэтому менее плотную) астеносферную мантию занять ее место. В дальнейшем этот добавочный материал охлаждается до температур, характерных для литосферы и последняя погружается (так называемое термальное опускание).

В результате котловины оказыва-



КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ОКРАИНЫ, образовавшиеся при рифтогенезе, характеризуются различной степенью вулканической активности. На разрезе через Бискайский залив, построенном на основании сейсмических данных, полученных совместно Институтом океанографических наук в Англии, Французским нефтяным институтом и Океанографическим центром в Бретани, видна растянутая и утоненная континентальная кора, а свидетельства вулканической активности отсутствуют вплоть до места, где происходит переход в океаническую кору. В противоположность этому на сейсмическом профиле через банку Хаттон к западу от Шотландии над утоненной континентальной корой и под ней выделяются слои изверженных пород мощностью в несколько километров. Рифтогенез, при котором была сформирована эта окраина, происходил над аномально горячей мантией, что и послужило причиной вулканической активности.



МАНТИЙНАЯ СТРУЯ (ПЛУМ) аномально горячих пород, поднимающихся из глубин мантии, оказывает влияние на области, достаточно далеко удаленные от горячей точки, которая соответствует оси струи. На разрезе через горячую точку островов Зеленого Мыса, построенном на компьютере в соответствии с моделью, представлены изолинии отклонений температуры от среднего значения (1340°C). Из рисунка видно, что приближаясь к литосфере, мантийная струя растекается в стороны, так что в области диаметром более 1000 км температура оказывается выше нормы. Другие мантийные струи, например, та, что находится под Исландией, создают аномалии размером 2000 км в поперечнике.

ются существенно ниже уровня моря, и в них накапливается осадочный материал. Хорошим примером являются Норвежское море: подстилающая его континентальная литосфера растянулась примерно на 35% и в образовавшейся котловине накопилась более чем двухкилометровая толща осадков, включающих органическое вещество, необходимое для образования нефти и газа.

Если растяжение континентальной литосферы продолжается, то в конечном итоге единый континент распадается надвое и между ними формируется новый океан. На континентальных окраинах, которые когда-то ограничивали молодой рифт, «записана» история процессов растяжения, погружения и вулканизма. Сейсмическое профилирование таких окраин показало, что окончательный раскол в большинстве случаев происходит тогда, когда континентальная кора растягивается и утоняется более чем в шесть раз. До окончательного раскола континента магмы в рифте обычно образуется мало.

В Бискайском заливе во Франции, сформировавшемся около 120 млн. лет назад в результате раскрытия этой части Атлантического океана, окраина Европейского континента представляет собой клин шириной 200 км, такой, что, в направлении от берега земная кора, имеющая в начале клина мощность более 30 км, постепенно утоняется. Утонение приводило к погружению коры, которая в настоящее время находится значительно ниже уровня моря. Вулканизм проявляется слабо вплоть до края континентального шельфа, где мощность коры уменьшается до 1/4 начальной величины. Здесь располагается узкая переходная зона, содержащая изверженные породы; она в свою очередь сменяется океанической корой мощностью 7 км, образованной при декомпрессионном плавлении в новом океаническом центре спрединга.

Вулканические окраины

Далеко не на каждой рифтовой окраине наблюдается этот постепенный переход от континентальной коры к коре океанической. В начале 1980-х годов Карл Хинц из Федерального института геологических наук и природных ресурсов в Ганновере (ФРГ) обнаружил на некоторых рифтовых континентальных окраинах мощные слои пород, залегающие ниже поверхностных осадков. Хинц предположил, что эти слои толщиной во многие километры были образованы колоссальными потоками лавы, извергавшейся на утоненную континентальную кору непосредственно во время рифтогенеза.

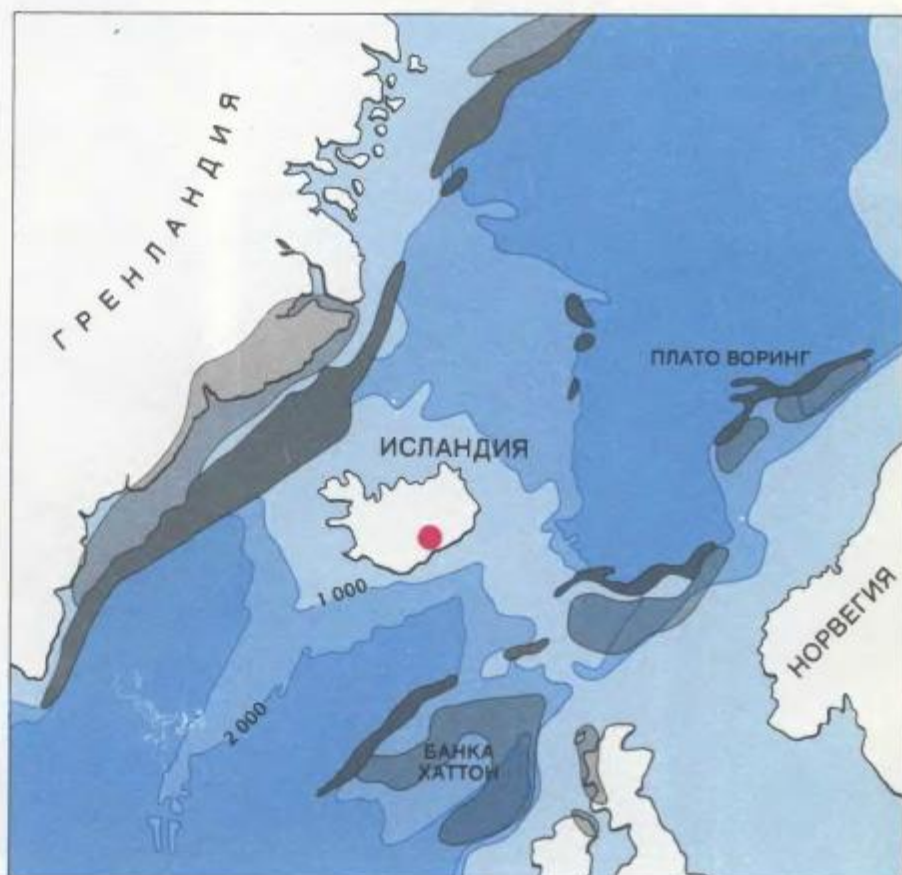
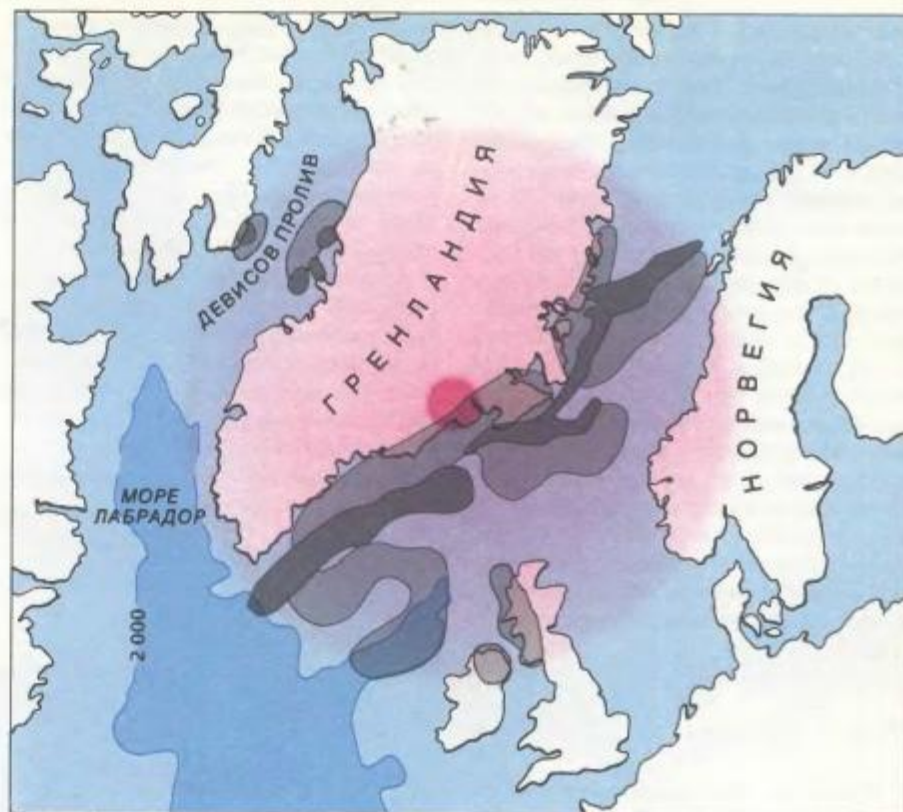
Гипотеза Хинца была основана на данных сейсмического профилирования континентальных окраин земного шара и сразу же вызвала горячие споры, поскольку обнаруженные слои во многом напоминали скопления осадков в подводных дельтах рек. Спор был разрешен, когда в ходе работ по Проекту глубоководного бурения вблизи Норвегии были получены образцы пород морского дна. Оказалось, что слои, обнаруженные Хинцем, сложены базальтами, сходными с базальтами, сформированными в океанических центрах спрединга.

Поскольку был выяснен характер отражения сейсмических волн этими базальтами, появилась возможность распознать слои вулканических пород на многих континентальных окраинах. В настоящее время известно, что они тянутся на 2000 км вдоль восточного побережья Гренландии; примерно на такое же расстояние они прослеживаются на другой стороне Северной Атлантики — у банки Хаттон (у берегов Шотландии) и на западном побережье Норвегии. Вулканические окраины также обнаружены у восточного побережья США, у атлантических побережий Южной Америки, Африки и Антарктиды, у западного побережья Индии и западного побережья Австралии.

В настоящее время ясно, что огромное количество лавы заливало континентальную кору на начальных стадиях образования многих рифтов. Более того, в ходе сейсмических исследований на банке Хаттон летом 1985 г. нами было обнаружено, что эти слои изверженных пород, залегающие на небольших глубинах, — только часть вулканического материала. Непосредственно под континентальной окраиной между утоненной корой и литосферной мантией при сейсмопрофилировании была обнаружена массивная призма изверженных пород мощностью до 18 км. Другие исследователи обнаружили вулканические образования примерно такого же объема, "подслаивающие" норвежскую часть окраины.

Похоже, также, что не является уникальной и восточная часть Северо-Атлантического рифта. Существуют сейсмические доказательства возможного подслаивания на других вулканических окраинах; еще до наших работ на банке Хаттон некоторые исследователи, в частности Кейт Г. Кох из Оксфордского университета, высказывали предположение, что интрузивные тела в основании коры подстилают все покровные базальты.

С учетом материала, подслаивающего кору, объем магмы, выделившейся на таких рифтах, должен быть огромным. Слой изверженных пород, кото-



СЕВЕРНАЯ ЧАСТЬ Северной Атлантики 57 млн. лет назад при раскрытии рифта была ареной интенсивной вулканической активности (вверху). В результате излияний магмы образовались массивные слои базальтов (темно-серые) и области с широким распространением вулканогенных пород (светло-серые). Исландская горячая точка (красная) и окружающая ее область аномально горячей мантии наложены на карту древних материков. Влиянием температурной аномалии можно объяснить протяженность вулканических окраин, а также наличие вулканогенных образований в Девисовом проливе к западу от Гренландии. В наше время влияние мантийной струи отражается в поднятии морского дна на большой площади вокруг Исландии (внизу).

рые внедрились в восточную окраину Северной Атлантики на расстояние 2000 км, имеют среднюю мощность от 4 до 6 км и ширину 50—100 км; общий объем пород составляет, таким образом, 1—2 млн. км³. Если добавить к этому породы, которые внедрились в нижнюю часть коры, то для общего объема получим величину 5—10 млн. км³. Что такое 10 млн. км³ породы? Достаточно сказать, что этого количества хватило бы, чтобы покрыть всю территорию США, включая Аляску, чехлом мощностью около 1 км. И весь этот материал образовался в течение всего нескольких миллионов лет, когда Северо-Атлантический рифт расщепил протоконтинент. Если в других рифтовых окраинах, подобных Бискайской, выплавка является очень ограниченной по объему, то как объяснить такую огромную и внезапную вулканическую продукцию?

Тепло мантии

Ответ на этот вопрос мы нашли, обсуждая проблему в буфете в здании Мадингли-Райз, одном из корпусов Кембриджского университета, где мы оба работаем. К этому времени, т.е. к началу 1987 г., Маккензи и

Бикль, анализируя лабораторные результаты плавления, обнаружили, что объем выплавки, образующейся при декомпрессии мантии, резко возрастает при небольшом — примерно на 100—200°C — увеличении температуры мантии. Почти в это же время Уайт и Роберт К. Котни (тогда студент-дипломник) закончили картирование крупномасштабной температурной аномалии под Атлантическим океаном. Они обнаружили, что ее диаметр достигает 1500 км, а температура мантии в ней примерно на 150°C выше нормы. Решение загадки вулканических окраин, как было выяснено за столиком в буфете, следовало

искать на пересечении этих, на первый взгляд не связанных между собой направлений исследования.

Аномалия, изученная Котни и Уайтом, лежит на "горячей точке" островов Зеленого Мыса — изолированной области интенсивной вулканической активности, располагающейся, как считают, над струей (плюмом) аномально горячего материала, поднимающегося из глубин мантии. Горячие точки традиционно рассматривались как локальные явления — узкие струи горячего материала, порождающие вулканическую активность непосредственно над ними. Влияние горячей точки островов Зеленого Мыса



ИНДОСТАН И СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА полностью отделились друг от друга 65 млн. лет назад (слева). Вулканические породы, образовавшиеся при рифтогенезе, включают в себя Деканские покровные базальты на суше и подводные отложения, которые формируют банку Сая-де-Мала. (Подводные вулканические образования, вероятно, широко распространены и вблизи побережья Индии.) Вулканические окраины были сформированы над горячей мантией, окружающей горячую точку острова Рейюньон, которая тогда располагалась



вблизи рифта. С начала образования рифта плита, на которой располагался Индостан, перемещалась на север; на утолщенной за счет вулканического материала коре Чагос-Лаккадивского хребта "зарегистрировано" перемещение плиты над горячей точкой (справа). Какое-то время назад срединно-океанический хребет сам перемещался над горячей точкой; промежуток между Чагос-Лаккадивским хребтом и Маскаренским хребтом — новым следом горячей точки — соответствует величине спрединга морского дна.

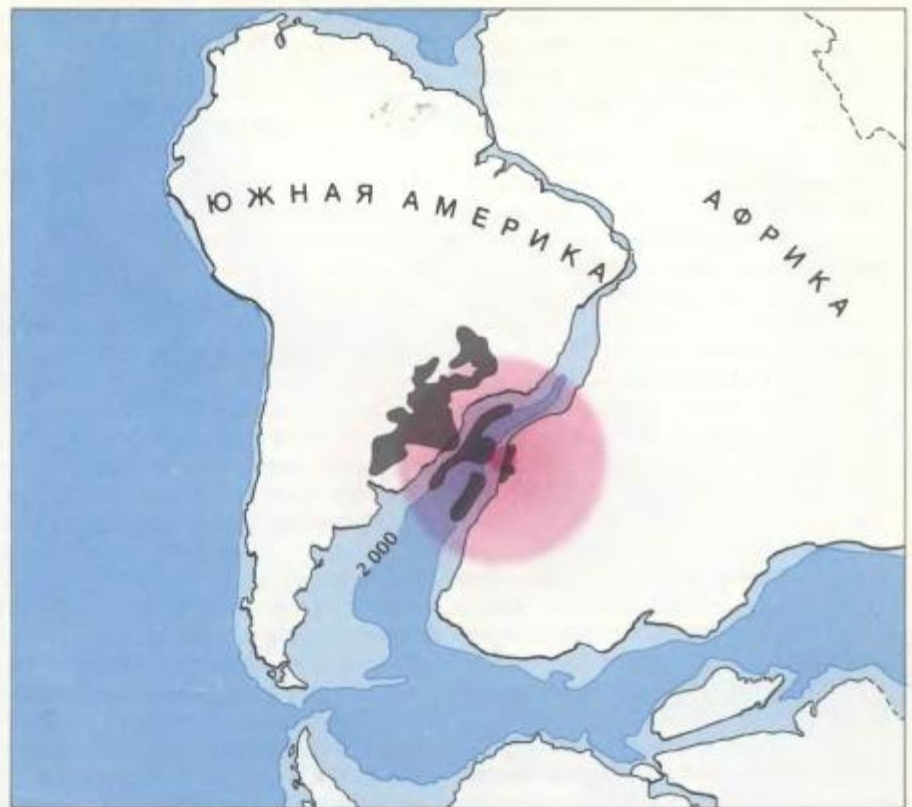
проявляется, однако, в достаточно большой области. Карты рельефа дна и характер гравитационного поля свидетельствуют о том, что горячая точка находится под поднятием размером 1500 км в поперечнике.

Измерив тепловой поток в осадочном чехле, мы обнаружили, в чем тут дело: достаточно далеко от горячей точки температура подстилающей мантии была на 100—150°C выше нормы. Узкая струя горячего мантийного материала, достигая литосферы, растекается и приобретает грибообразную форму. Наличие широкой "шляпки" на вершине струи и служит причиной подъема морского дна.

Аналогичные области аномально горячей мантии, по всей видимости, окружают и другие горячие точки. В связи с этим становится ясной причина интенсивного вулканизма в некоторых рифтах. Если рифт раскрывается над грибообразной вершиной струи горячего мантийного материала, то при декомпрессии поднимающегося материала будет выплавляться намного больше магмы, чем при рифтогенезе над мантией с нормальной температурой. Аномально высокая температура мантии и размеры аномально горячих областей — это именно те факторы, которые могут объяснить наблюдаемые объемы выплавки и протяженность вулканических окраин. В рамках этих представлений объясняется и скорость таких извержений. Когда аномально горячий мантийный материал поднимается в рифт и в нем падает давление, тут же образуется выплавка, которая быстро просачивается на поверхность.

Эти объяснения легко проверить: если они верны, то всякий раз, когда струя мантийного материала оказывалась рядом с континентальным рифтом, последний должен был "производить" большое количество расплава. Как расходились материки при рифтогенезе, узнать нетрудно: морское дно, образующееся при раздвигании материков в разные стороны, несет на себе "запись" движений материков относительно границ плит. Поскольку, судя по всему, горячие точки в большинстве своем — это стационарные потоки в мантии и поскольку плиты движутся, рифт может смещаться относительно горячей точки. Относительное движение плиты (или горячей точки) легко проследить, поскольку мантийная струя оставляет на проходящей над ней плите след в виде вулканических хребтов, островов и подводных гор.

Например, в Северной Атлантике, где впервые на дне океана были закартированы покровные базальты, мантийная струя находится сейчас под Исландией (фокусом интенсивной вулка-



ЮЖНАЯ АТЛАНТИКА 120 млн. лет назад, сразу после того, как между Южной Америкой и Африкой раскрылся рифт (вверху). Горячая точка Китового хребта лежала на рифте; область аномально горячей мантии охватывала вулканические окраины, где при континентальном рифтогенезе образовывались покровные базальты. В настоящее время горячая точка находится под островом Тристан-да-Кунья (внизу); волнообразный след горячей точки остался на расходящихся плитах в виде крупных вулканических хребтов.



РАСПАД ГОНДВАНЫ, древнего суперконтинента, который включал в себя многие из современных массивов суши, начался 170 млн. лет назад, когда между Африкой и Антарктидой стал раскрываться рифт. Сильно эродированные покровные базальты на обоих континентах и слои базальтов у побережья Антарктиды — это следы мощной вулканической деятельности, вызванной распадом Гондваны. Широкое распространение вулканитов объясняется размерами области аномально горячей мантии, связанной с мантийной струей.

нической активности). Глубина морского дна на расстоянии до 1000 км от Исландии на 1 км меньше нормы: дно выпирает благодаря грибообразной вершине необычно горячей струи мантийного материала. Реконструкция дна на момент раскрытия Северной Атлантики (57 млн. лет назад) показала, что в то время мантийная струя находилась к западу от рифта. Ее вершина в точности охватывала 2000-километровую континентальную окраину, вдоль которой в настоящее время обнаружены вулканические породы большой мощности.

Убедившись, что рифтогенез над аномально горячей мантией может объяснить широкое распространение вулканизма в Северной Атлантике, мы поняли, что наша модель способна также описать и другие особенности континентальных окраин. Хотя при растяжении литосферы кора обычно погружается, наличие речных и озерных отложений, вкрапленных в изверженные породы на континентальных окраинах, свидетельствует о том, что вулканическая активность имела место выше уровня моря. Что

препятствовало в этих случаях погружению коры?

Частично объяснение заключается в том, что струя мантийного материала с низкой плотностью приподнимает кору, расположенную на флангах рифта (об этом говорят поднятия морского дна вокруг горячих точек Исландии и островов Зеленого Мыса). Кроме того, добавление вулканического материала ведет к утолщению коры, которая в обычных условиях должна утоняться вследствие растяжения. Свой вклад вносят и другие факторы. Общий вывод таков: если при пятикратном растяжении над мантией с нормальной температурой кора быстро погружается на 2—3 км, то аналогичное растяжение над температурной аномалией, где мантия горячее на 50°С, фактически приводит к поднятию коры. Разумеется, в конечном итоге все заканчивается термальным погружением и поэтому многие вулканические окраины в настоящее время лежат ниже уровня моря.

Рифтогенез над высокотемператур-

ной мантией объясняет и состав вулканических слоев. Как свидетельствуют лабораторные данные, магма, выделяющаяся при аномально высокой температуре, содержит больше оксида магния, чем выплавка, образующаяся при нормальной температуре. Если в нормальных базальтах срединно-океанических хребтов содержание оксида магния составляет 10%, то некоторые лавы, излившиеся на ветви Северо-Атлантического рифта к западу от Гренландии (однако в зоне влияния Исландской мантийной струи), содержат до 20% оксида магния.

В свою очередь наличием пород с высоким содержанием магния можно объяснить некоторые особенности гравитационного поля и картины распространения сейсмических волн на окраинах Атлантического океана. Если в нижней половине "нормальной" океанической коры скорость сейсмических волн равна 6,8 км/с, то во многих местах вдоль вулканических окраин она значительно выше. Расчеты показывают, что скорость сейсмических волн в богатых магнием изверженных породах, внедрившихся в нижние части коры, будет выше 7,2 км/с, как это и наблюдается в действительности. Оксиды магния увеличивают и плотность пород; это может объяснить данные гравитационных наблюдений, из которых следует, что вдоль таких окраин плотность коры должна быть аномально высокой.

Покровные базальты континентов

Наша модель образования вулканических окраин соответствует и тем данным, которые получены за пределами Северной Атлантики. Как показывают реконструкции положения массивов суши и горячих точек на момент рифтообразования, другие рифтовые окраины, которые обрамлены мощными вулканическими отложениями, также сформировались над температурными аномалиями в мантии. В рамках модели наряду с вулканическими окраинами объясняется и наличие обширных покровных базальтов, которые протягиваются от окраин на сушу.

Например, 66 млн. лет назад погруженный континентальный блок, несущий на себе Сейшельские острова (значительная часть его была ниже уровня моря), отделился от западной части Индии. Как и в "молодой" Северной Атлантике, при рифтогенезе здесь образовалось огромное количество магмы, которая внедрилась в континентальную окраину; в настоящее время вулканические породы фор-

мируют подводное плато к востоку от Сейшельских островов, называемое банкой Сая-де-Мала, и образуют мощные толщи у западного побережья Индии. Кроме того, магма проникла на сотни километров в глубь суши, сформировав крупное базальтовое плато, так называемые Деканские траппы.

После этого события Индийский субконтинент продолжал дрейфовать на север, пока не столкнулся с Азией. Мантийная струя, вызывающая вулканизм, осталась далеко на юге и в настоящее время находится под вулканическим островом Реюньон. След в виде вулканических островов, подводных гор и хребтов на океанической коре, которая перемещалась над горячей точкой, указывает на то, что 66 млн. лет назад эта точка находилась непосредственно под разрывающимся рифтом.

Столь же мощные покровные базальты вторгаются на сушу на разных участках Атлантического побережья Южной Америки и Африки; сейсмическое профилирование выявило здесь слои вулканических пород, типичные для вулканических окраин. Южная Атлантика стала раскрываться 125 млн. лет назад между двумя массивами суши у их южных окончаний. Конец трещины неуклонно продвигался на север и весь процесс раскрытия занял примерно 5 млн. лет. В течение этого времени температурная аномалия, называемая горячей точкой Китового хребта, находилась непосредственно под центральной частью рифта. При декомпрессии над аномалией выделялось большое количество лавы, излившейся в Африке; еще больше базальтов, примерно 2 млн. км³, образовалось в Южной Америке, где они, заполнив долины глубиной до 300 м, перелились через их края. По сравнению с Деканскими траппами время извержения в этом регионе установлено не столь точно, но, по всей видимости, вулканическая активность длилась недолго и ее пик приходился на время 121—120 млн. лет назад, т. е. не момент разделения массивов суши.

Еще более древним примером покровных базальтов, образовавшихся при рифтовом вулканизме, являются базальты, связанные с распадом Гондваны — суперконтинента, который включал в себя Африку, Антарктиду, Южную Америку, Индию и Австралию. Примерно 170 млн. лет назад непосредственно над мантийной струей, которая в настоящее время находится в южной части Индийского океана, между Африкой и Антарктидой образовался рифт. За счет декомпрессионного плавления образовался разрез вулканических пород мощностью 10 км, недавно обнаруженный на окраине Антарктиды, а наличие покровных базальтов

свидетельствует о том, что магма проникла и в глубь суши.

Мантийные струи и рифтогенез

Мы предполагали, что образование огромного количества магмы обусловлено растяжением и утонением литосферы и поэтому является пассивным процессом. В действительности мантия играет активную роль: большая по объему выплавка возможна только в том случае, когда мантийная струя выносит из глубин мантии много аномально горячего материала. Может ли сама мантийная струя каким-либо образом влиять на процесс рифтогенеза?

Дж. Тузо Вильсон из Торонтского университета первым предположил более 20 лет назад, что горячие точки могут вызывать раскол литосферы и инициировать образование рифтов. Однако выплавка, активно устремляющаяся вверх из мантийной струи в литосферу, не способна стать непосредственной причиной образования рифта, поскольку интенсивное плавление не начинается до тех пор, пока мантийный материал не поднимется над основанием литосферы, не затронутой процессом рифтообразования. Более того, горячие точки не являются обязательным фактором рифтогенеза: "нормальные", невулканические окраины, такие как Бискайская окраина, сформировались достаточно далеко от какой бы то ни было мантийной струи.

Но хотя мантийные струи и не являются движущим механизмом рифтогенеза, они могут способствовать этому процессу благодаря воздыманию коры на 1—2 км, так как под действием силы тяжести плиты соскальзывают с поднятия в разные стороны и расходятся. По этой причине появление мантийной струи может сыграть решающую роль в образовании рифта. В Северной Атлантике, например, растяжение и рифтогенез в небольших масштабах имели место за многие десятки миллионов лет до того, как 57 млн. лет назад между Гренландией и Северной Европой сформировался развитый океанический рифт. Спускным механизмом в данном случае могло быть появление Исландской струи из глубин мантии. Первые признаки этой мантийной струи — лавовые потоки в северо-западной части Британских островов — появились всего за 5 млн. лет до начала раскола континентов. (Появление мантийной струи отчетливо зафиксировалось на другой (западной) стороне Гренландии, в Девисовом проливе и в море Баффины. Рифт спокойно раскрывался там на

протяжении 30 млн. лет, но примерно 58 млн. лет назад, с появлением грибообразной струи горячего материала, там образовались мощные толщи вулканитов.)

Если новая мантийная струя инициирует рифтогенез, то эволюция струи может объяснить разницу в мощностях земной коры на рифтовых окраинах и в прилегающих океанических участках. В Северной Атлантике, например, мощность вулканических слоев на рифтовых окраинах превышает 15 км. Они переходят в образовавшуюся после раскрытия рифта океаническую кору, мощность которой колеблется от 10 до 12 км; это больше мощности "нормальной" океанической коры, но меньше той мощности, которая была бы, если бы температура в мантии оставалась постоянной. (Заметим, что исландская горячая точка до сих пор находится непосредственно на срединно-океаническом хребте.)

Уменьшение мощности коры, т. е. по сути дела уменьшение количества магмы, излившейся в рифте, вероятно, отражает особенности структуры мантийной струи. Компьютерное моделирование дает основание предполагать, что образование мантийной струи начинается с возникновения пузыря расплавленного материала, температура которого на 50–100°С выше, чем температура конечного стационарного потока. Кроме того, пузырь, который формирует "шляпку" грибообразной струи, имеет больший радиус, чем развивающаяся впоследствии струя. Более высокая температура и больший объем материала, достигающего кровли мантии при раскрытии рифта, должны усиливать начальное плавление и приводить к образованию вулканических окраин исключительно большой мощности. После того как первоначальный горячий пузырь сменится стационарным потоком мантийного материала, мощность образующейся коры становится меньше.

Рост континентов

Поскольку на континентах, которые раскалываются вблизи горячих мантийных струй, происходят массивные излияния лав, вулканизм в рифтах должен играть гораздо большую роль в эволюции Земли, чем представлялось ранее. Привлекая к рассмотрению этот процесс, можно, например, частично ответить на вопрос о том, как происходил рост континентов. На основании нашей модели образования выплавки, а также с учетом данных, полученных в Северной и Южной Атлантике и в Индии,

мы показали, что при раскрытии рифта на континенте вблизи горячей мантийной струи всякий раз выделяется около 10 млн. км³ расплавленной породы. Внедряясь в континентальную кору и подслаивая ее, изверженный материал увеличивает объем континентов.

По нашим оценкам, вулканический рифтогенез в среднем происходит каждые 30 млн. лет. Следовательно, в последние геологические эпохи в ходе этого процесса к континентам каждый год в среднем может добавляться 1/3 км³ материала. На ранних этапах истории Земли ее мантия, вероятно, была горячее, чем в настоящее время, поэтому при рифтогенезе и декомпрессии генерировалось большее количество выплавки. Средняя скорость роста континентов, после того как была сформирована Земля, составляла, вероятно, 1 км³ в год, следовательно, вулканический рифтогенез изначально мог являться основным источником роста континентов. Остается непонятным высокое содержание оксида магния в выплавке, образующейся при вулканическом рифтогенезе: оно не согласуется ни с наблюдаемыми

значениями, ни с сейсмическими характеристиками континентальной коры.

Вспышки вулканизма, вне зависимости от того, какую роль они играли в истории Земли, могут занять определенное место среди других геологических процессов в рамках униформизма — понятия, основанного на том, что геологическое прошлое можно объяснить на основе тех же процессов, которые преобразуют Землю и в настоящее время. Колоссальные масштабы некоторых извержений, главным образом, тех, что создали Деканские траппы, дали основание некоторым исследователям искать причины этого за пределами Земли, например, связывать их ударом метеорита. Но мы полагаем, что необходимость в привлечении подобного рода катастроф отсутствует. Мощные разрывы вулканических пород, образовавшихся в морских условиях, покровные базальты на суше и, вероятно, даже массовое вымирание — все это можно объяснить с позиции взаимодействия обычных процессов, происходящих на Земле.

столь значительного количества информации? По мнению директора Национального центра космических данных Дж. Грина, выделяемые на эти цели финансовые средства недостаточны. НАСА планирует увеличить бюджет центра, составивший в этом году 3,2 млн. долл., на 1,5 млн. долл. в будущем году. Грин считает, что указанная сумма явно недостаточна для проведения всех необходимых мероприятий. Из-за постоянной нехватки средств, испытываемой НАСА, продолжает он, на обработку данных всегда выделялись недостаточные ассигнования. «Основной задачей НАСА всегда было скорейшее создание приборов и запуск их в космос», — отмечает Грин. И это правильно, поскольку без этого в распоряжении ученых не будет вообще никаких данных.

Тем не менее НАСА в настоящее время прилагает усилия для расширения своих ресурсов обработки данных. Оно провело реорганизацию электронных систем связи с исследовательскими институтами, в результате чего появилась возможность передавать большее количество информации в большее число мест за более короткое время. Исследователи работают над созданием программных систем, которые будут выполнять автоматическую сортировку поступающих необработанных данных с тем, чтобы впоследствии можно было легко найти требуемую информацию. Подобные системы, поясняет Грин, дадут возможность исследователю получить доступ к данным спектроскопических наблюдений, полученным системой EOS только при облачной погоде в тропических областях, не просматривая всю базу данных.

Национальный центр космических данных планирует добавить к существующим в настоящее время системам памяти на магнитных лентах и дисках устройства типа музыкального автомата, в которых используются оптические диски. Каждое такое устройство может хранить 100 млн. байт и способно выдавать информацию исследователю, находящемуся в центре или подключившемуся к компьютерной сети.

По словам Грина, руководство НАСА поддерживает тесные контакты с учеными, занимающимися космическими исследованиями, и специалистами по электронной обработке данных с целью решения возникшей проблемы. К счастью, говорит Грин, Национальный центр данных размещается в здании Центра космических полетов им. Годдарда в Гринбелте, поблизости от находящегося в Форт-Миде Агентства национальной безопасности — крупнейшей организа-

Наука и общество

Космические объемы космических данных

ПОСЛЕ многих лет интенсивного сбора новых данных специалистами по космическим исследованиям США в ближайшие годы может возникнуть ситуация, когда они не будут знать, что делать с этими данными.

Дело в том, что за последние десятилетия в Национальном центре космических данных, который представляет собой главный архив Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), где сосредоточены данные, собранные научными космическими аппаратами, начиная с межпланетной станции «Пионер» и кончая спутником IUE (International Ultraviolet Explorer), было накоплено шесть триллионов ($6 \cdot 10^{12}$) байт данных (один байт состоит из восьми двоичных единиц — битов). Этот объем информации примерно вдвое превышает объем информации, содержащейся в 19 млн. томов Библиотеки конгресса США.

В конце апреля 1989 г. корабль многоразового использования вывел в космос аппарат «Магеллан», который отправился к Венере. Он должен в течение трех лет выполнить дистан-

ционное картографирование поверхности этой планеты, в результате чего к имеющимся данным добавится еще три триллиона байтов, и объем информации возрастет на 50%.

Однако объем информации, которая будет передана с аппарата «Магеллан», ничтожен по сравнению с тем, что поступит с Космического телескопа Хаббла, намеченного к запуску в 1990 г. С него будет поступать несколько триллионов байт данных в год и, следовательно, за 15 лет работы телескопа объем базы данных НАСА увеличится более чем в 5 раз.

Однако настоящее наводнение информации начнется тогда, когда НАСА разместит в середине 90-х годов на околоземной орбите систему EOS (Earth Observing System). Огромное количество датчиков, которыми планируется оснастить эту систему, будет передавать триллион байтов данных на несколько дней. Кроме этого, космические аппараты Cosmic Background Explorer, направляемый к Юпитеру зонд «Галилей», космическая гамма-обсерватория (Gamma Ray Observatory) и другие планируемые к запуску аппараты будут также передавать на Землю огромный объем информации.

Готовится ли НАСА к приему

ции, занимающейся сбором разведывательной информации.

Столкновения галактик

НЕДАВНО с помощью моделирования на суперкомпьютере изучен процесс столкновения обычных галактик и показано, что при этом рождаются так называемые эллиптические галактики.

Более двух третей всех галактик во Вселенной, в том числе подобные нашему Млечному Пути спиральные галактики, имеют примерно форму диска. Напротив, эллиптические галактики могут иметь различную форму, начиная от эллипсоида и кончая сферой. Они обычно больше спиральных галактик и имеют «активное ядро» — центральные области, которые излучают огромное количество энергии.

Еще недавно многие исследователи полагали, что эллиптические галактики представляют собой реликты начального этапа образования галактик, а дисковые галактики образовались позднее. Однако теперь некоторые астрофизики выдвигают альтернативную идею: они считают, что вначале образовались дисковые галактики, а уже затем в результате их столкновений стали возникать эллиптические. Моделирование на компьютере, выполненное Дж. Барнсом и Л. Хернквистом из Института высших исследований в Принстоне, подтверждают новую гипотезу.

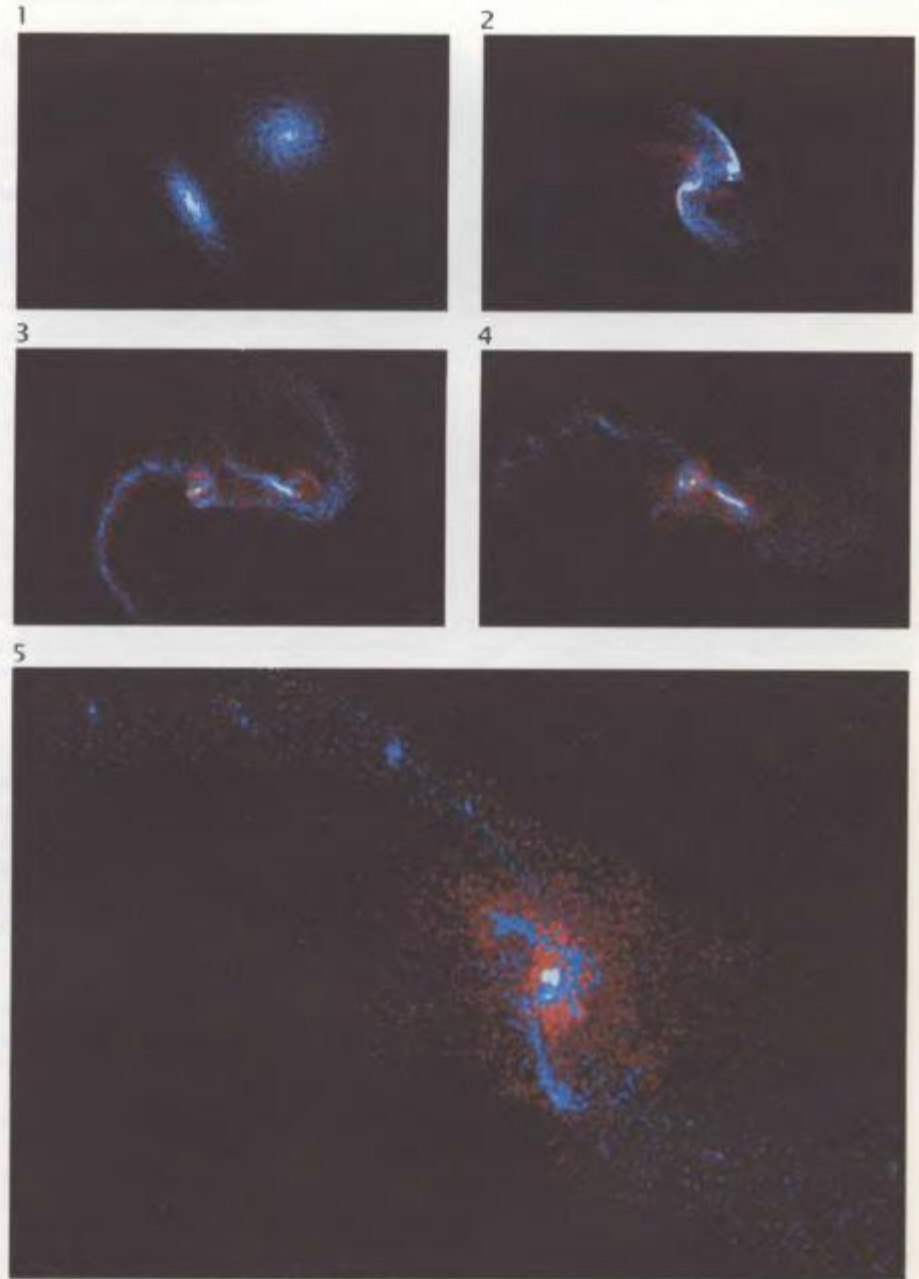
Предпосылкой открытия послужили исследования Барнса, который в течение нескольких лет работал над созданием компьютерной программы, моделирующей воздействие гравитационного поля звезд и «темного вещества» (которое, как считают, составляет до 90% полной массы большинства галактик) на взаимодействие двух и более галактик. Недавно Барнс обнаружил, что если две галактики сближаются на расстояние, меньшее нескольких диаметров галактик (для Млечного Пути эта величина составляет 100 тыс. св. лет), то они «захватывают» друг друга гравитационным полем и через некоторое время сталкиваются. Примерно через миллиард лет после начала столкновения две галактики могут объединиться в одну эллиптическую галактику.

Хернквист модифицировал модель Барнса, добавив в нее межзвездный газ, и показал, как можно объяснить появление у эллиптических галактик сверхактивных ядер. Согласно современной теории, единственным механизмом образования активного ядра, светимость которого превышает светимость всей остальной галактики, является аккреция огромного коли-

чества газа на черную дыру. Вопрос в том, откуда берется этот газ. Расчеты Хернквиста показали, что при столкновении двух дисковых галактик огромное количество газа выталкивается в центральную область вновь образующейся эллиптической галактики. По мнению Хернквиста, высокая концентрация газа в указанной области может ускорить образование черной дыры и обеспечить впоследствии непрерывную аккрецию вещества на нее.

По мнению Ф. Швейцера из Института Карнеги в Вашингтоне, работа

Барнса и Хернквиста сняла многочисленные вопросы, связанные с теорией столкновений эллиптических галактик. Он полагает, что проведенное моделирование поможет пролить свет на будущее нашей Галактики. В настоящее время, поясняет Швейцер, наш Млечный Путь сближается со своим ближайшим соседом — галактикой Туманность Андромеды, имеющей форму диска, — со скоростью 120 км/с. Если сближение будет продолжаться с такой же скоростью, то через 5 млрд. лет две галактики могут столкнуться.



СТОЛКНОВЕНИЕ спиральных галактик, содержащих звезды (красные), газ (синий) и «темное вещество», в модели Дж. Барнса и Л. Хернквиста из Института высших исследований в Принстоне. В результате слияния галактик возникает объект, напоминающий эллиптические галактики и состоящий из плотного ядра (белое) и двух протяженных изогнутых «антенн». Моделирование выполнено на суперкомпьютере в Питтсбургском вычислительном центре.

Желудочно-кишечный тракт в процессах роста и размножения

Желудочно-кишечный тракт — самая большая эндокринная железа организма. Он играет важную роль в перестройке обмена веществ в ходе беременности, а также роста плода и ребенка

КЕРСТИН УВНЕС-МОБЕРГ

НА ПЕРВЫЙ взгляд желудочно-кишечный тракт — это просто длинная извитая трубка, внутри которой перерабатывается поступившая в организм пища. Переработка состоит в том, что пища расщепляется на молекулы питательных веществ, которые, всасываясь, через ее стенки попадают в кровь. На самом деле все гораздо сложнее. Желудочно-кишечный тракт является, помимо прочего, самой большой эндокринной железой, гормоны которой существенно влияют не только на процесс пищеварения, но также на метаболизм всосавшихся веществ и даже на эмоции и поведение.

Эти функции оказываются особенно важными в периоды жизни, связанные с ростом и размножением. Любой организм, когда он растет, нуждается в усиленном питании. У многих видов животных молодые особи едят относительно больше; так, ребенок потребляет калорий (из расчета на 1 кг веса) в 4 раза больше, чем взрослый человек. Потребность в пище увеличивается и при размножении, которому часто предшествует период повышенного поглощения и накопления энергии. Роль пищеварения для размножения столь значительна, что последнее просто невозможно без адекватного питания.

У млекопитающих, включая человека, основное бремя размножения несут особи женского пола. Мужчины имеют по существу только один период роста, начинающийся в детстве и завершающийся с юностью. У женщин же процесс роста возможен и в зрелом возрасте, притом неоднократно. Это происходит во время беременности. С ранних сроков беременности женщина набирает вес, запасая в виде жировых отложений энергию, необходимую для развития плода и последующих повышенных затрат орга-

низма, связанных с выработкой молока и кормлением ребенка грудью. От потребления и накопления энергии зависит способность человека к размножению. Если женщина слишком худая — из-за голода, самоограничений в питании или чрезмерной физической нагрузки, — то у нее не происходит овуляции и в этом состоянии она бесплодна (см. статью: Фриш Р. Полнота и плодовитость, «В мире науки», 1988, № 5).

Коль скоро усиленное питание является необходимым условием роста, а пища усваивается в желудочно-кишечном тракте, в периоды размножения и интенсивного роста требуется, чтобы желудок и кишечник функционировали оптимально. Это достигается путем сложной перестройки работы всех образующихся в желудочно-кишечном тракте (гастроинтестинальных) гормонов. В нашей лаборатории в Королевском институте в Стокгольме и в ряде других лабораторий изучалось взаимодействие этих гормонов у беременной женщины, у плода, новорожденного, а также у матери и ребенка в период кормления грудью.

ДЛЯ ТОГО чтобы оценить роль желудочно-кишечного тракта в процессах роста и размножения, следует прежде всего рассмотреть нормальные функции его гормонов. Эти гормоны представляют собой полипептиды, т. е. короткие цепочки из аминокислот (от 10 до 100). Они синтезируются в специальных эндокринных клетках, отростки которых — микроворсинки — наподобие щеточки выдаются в полость желудка и тонкого кишечника. Когда пища поступает в пищеварительный тракт, различные эндокринные клетки под действием растяжения стенки кишечника либо самих питательных ве-

ществ, либо понижения pH выделяют свои гормоны непосредственно в желудочно-кишечный тракт и в кровь. Активность эндокринных клеток в желудке и кишечнике, кроме того, регулируется вегетативной нервной системой. Возбуждение блуждающих нервов (принадлежащих к парасимпатической нервной системе) способствует высвобождению гормонов, усиливающих пищеварение. Повышение же активности чревных нервов (относящихся к симпатической нервной системе) оказывает противоположный эффект.

Гастроинтестинальные гормоны влияют на моторику желудочно-кишечного тракта, а также на секрецию пищеварительных ферментов и соляной кислоты. Например, гастрин, вырабатываемый в нижнем отделе желудка, усиливает пищеварение в желудке, как стимулируя его механическую активность, так и усиливая секрецию соляной кислоты. Сходный по химическому строению холецистокинин, выделяемый клетками верхней части тонкой кишки, угнетает выход пищи из желудка, продлевая тем самым ее обработку и всасывание питательных веществ в кровь. Этот гормон, кроме того, стимулирует высвобождение желчи из желчного пузыря и секрецию ферментов поджелудочной железы. Секретин, образующийся там же, усиливает производство в поджелудочной железе бикарбонатов, служащих для нейтрализации кислого желудочного сока. Недавно установлено, что перечисленные полипептиды стимулируют также рост органов, на активность которых они влияют. В частности, они вызывают утолщение слизистой оболочки, выстилающей желудочно-кишечный тракт. Иными словами, в кишечнике эти факторы действуют как гормоны роста.

Полипептид соматостатин тоже является гастроинтестинальным гормоном, однако он не усиливает пищеварение. Впервые это вещество было выделено из мозга, а именно из гипоталамуса. Сегодня известно, что оно синтезируется и в желудочно-кишечном тракте. Особенно много клеток, вырабатывающих соматостатин, находится в желудке и верхней части тонкого кишечника.

Соматостатин оказывает на пищеварительный тракт угнетающее воздействие: уменьшает его механическую активность, подавляет секрецию соляной кислоты в желудке, выброс желчи из желчного пузыря, всасывание питательных веществ в стенку кишечника, а также высвобождение некоторых гормонов, в том числе гастрина и холецистокинина. Кроме того, соматостатин противодействует влиянию гастрина и холецистокинина в их стимуляции процессов роста в кишечнике. Поскольку соматостатин — тормозный агент, нервная регуляция его секреции противоположна таковой стимулирующих гормонов: блуждающие нервы угнетают выброс соматостатина, а чревные, наоборот, усиливают.

ДЛЯ ВСОСАВШИХСЯ в кишечнике питательных веществ существуют два основных пути метаболизма. С одной стороны, идут анаболические процессы — построение из мелких молекул более крупных. Последние могут служить материалом для роста организма или запастись для дальнейшего использования. С другой стороны, происходит катаболизм — распад питательных веществ с выделением энергии. В ряде состояний, скажем при физической нагрузке или эмоциональном стрессе, потребность организма в энергии повышена. Обеспечение энергией достигается путем усиления катаболизма в печени, мышцах и жировой ткани в результате активации симпатической нервной системы и надпочечников.

Напротив, когда нужно запасти энергию, после принятия пищи преобладают анаболические процессы и питательные вещества откладываются в печени и жировой ткани. Эти процессы стимулируются гормоном инсулином, который высвобождается в ответ на повышение уровня глюкозы в крови после еды. Кроме того, поглощение пищи приводит к активации парасимпатической нервной системы, а следовательно, и эндокринного аппарата кишечника. Гастрин, холецистокинин и секретин стимулируют глюкозозависимый выброс инсулина и соответственно анаболическую направленность мета-

болизма. Соматостатин же тормозит поглощение и запасание питательных веществ.

Важность влияния кишечных гормонов на метаболизм интересно иллюстрируется некоторыми эволюционными данными. Так, С. Фалкмер в Королевском институте показал, что поджелудочная железа, вырабатывающая гормон инсулин, развивается из кишки. У примитивных позвоночных отдельной поджелудочной железы нет, а инсулин производится энтокринными клетками кишечника, которые выделяют гормон в кровеносное русло после прямого контакта с кишечным содержимым.

Гастроинтестинальные гормоны действуют не только на метаболические, но и на психические процессы. Так, во время стресса, способствующего катаболизму, повышается уровень бодрствования. А период после усвоения пищи, когда происходит запасание питательных веществ, характеризуется, наоборот, сонливостью и чувством комфорта. Возникновение этого психического состояния после еды в некоторой степени обусловлено желудочно-кишечным трактом. В опытах на крысах в результате введения холецистокинина снижалось потребление пищи; при этом, как обнаружили Р. Менсбах из Университе-



КОРМЯЩАЯ МАТЬ И РЕБЕНОК на хранящейся в Национальном музее в Стокгольме картине «Мадонна с младенцем» кисти фламандского художника конца XV в., известного под именем «Мастер легенды о Св. Екатерине». Современные данные свидетельствуют о том, что кормление грудью создает гормонально обусловленный физиологический симбиоз матери и ребенка.

та шт. Вермонт в Берлингтоне и его коллеги, на электроэнцефалограмме появляются изменения, характерные для сна. Перерезка блуждающих нервов снимала эффект холецистокинина. Значит, передача такой информации от желудочно-кишечного тракта к мозгу, возможно (по крайней мере у крыс), осуществляется по нервным путям.

НОРМАЛЬНАЯ активность желудочно-кишечного тракта изменяется в ходе беременности, что во многом определяет прибавку веса. По данным исследований, осуществленных в центрах охраны материнства в Швеции, было установлено, что вес женщины при беременности увеличивается приблизительно на 15 кг. Часть этого прироста приходится на рост плода и матки и на увеличение объема крови, но по крайней мере 4 кг обусловлены отложением жира.

Проще всего объяснить прибавку веса в ходе беременности повышенным потреблением пищи (как говорят в народе: «Она ест за двоих»). На самом деле этот фактор не единственный. Как упоминалось выше, женщины прибавляют в весе уже в первые три месяца беременности, когда большинство из них чувствуют тошноту и соответственно мало едят. Значит, должны действовать и другие механизмы, вызывающие прибавку в весе. Сейчас становится ясно, что ведущую роль в этом играют гормоны желудочно-кишечного тракта.

Мною с коллегами, а также другими авторами показано, что у беременных женщин после еды повышается выброс холецистокинина. В опытах с беременными собаками мы проследи-

ли изменения уровня холецистокинина в плазме крови. Оказалось, что максимум концентрации этого гормона приходится на первую треть беременности. Далее уровень постепенно снижается, оставаясь тем не менее выше нормального вплоть до родов.

Изменение содержания гормонов в крови влечет за собой несколько следствий. Во-первых, повышение уровня холецистокинина и снижение соматостатина благоприятствуют пищеварению. Во-вторых, облегчаются анаболические процессы и ускоряется прирост веса, поскольку в крови увеличивается содержание гормонов, способствующих глюкозозависимому высвобождению инсулина, а содержание соматостатина снижается. Наконец, подъем концентрации холецистокинина после еды приводит — по-видимому, благодаря передаче информации в мозг по волокнам блуждающих нервов — к сонливости и появлению чувства утомленности, что характерно на ранних сроках беременности. Это состояние адаптивно, поскольку в результате уменьшается физическая активность, а тем самым экономится энергия и создаются условия для ее запасаения. В развитых промышленных странах многие женщины работают в течение почти всей беременности. Несомненно, физиологически это неправильно.

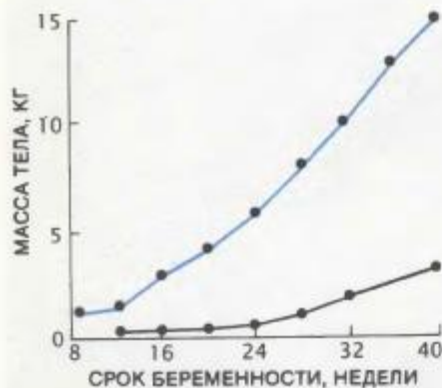
Для ранних сроков беременности характерна не только утомляемость, но и другие неприятные симптомы: сильное ощущение голода, чередующееся с тошнотой, низкое кровяное давление, головокружение. Участие желудочно-кишечного тракта в этих проявлениях вполне ясно. Часто возникающее чувство голода и головокружения могут вызываться падением уровня глюкозы в крови, обусловленным частично высвобождением инсулина под действием холецистокинина и других гормонов. Тошнота и неприятные ощущения в области желудка объясняются, скорее всего, его замедленным опорожнением из-за высокого уровня холецистокинина.

ЧТО ВЫЗЫВАЕТ изменения в эндокринном аппарате желудочно-кишечного тракта в ходе беременности? Вероятно, одним из пусковых механизмов является повышенная активность блуждающих нервов, которые, как отмечалось выше, модулируют высвобождение гастроинтестинальных гормонов. К. Такеути из Фармакологического колледжа в Киото показал, что у беременных крыс перерезка блуждающих нервов приводила к резкому снижению повышенной секреции соляной кислоты.

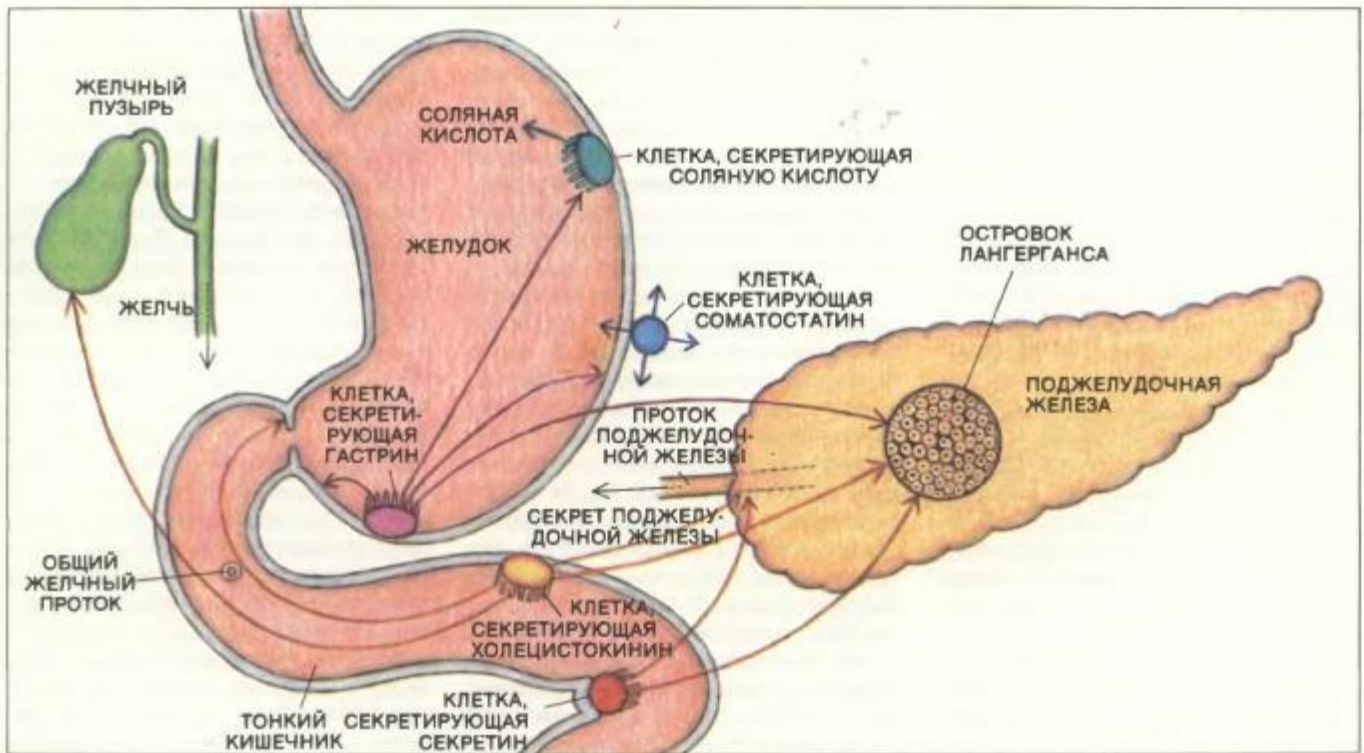
Почему это происходит? На активность блуждающих нервов влияет (помимо прочих факторов) нейропептид окситоцин, вырабатываемый в ядрах гипоталамуса. Часть нервных волокон, выделяющих окситоцин, оканчивается в гипофизе, где пептид выбрасывается в кровеносное русло. Другая часть волокон подходит к двигательному ядру блуждающего нерва в стволе мозга; секретируя окситоцин, повышает активность этого нерва (см. нижний рисунок на с. 49). Выделение окситоцина сильно возрастает под влиянием стероидного гормона эстрогена, уровень которого увеличивается при беременности. Кроме того, эстроген и другой стероидный гормон — прогестерон могут оказывать и местное действие на секрецию гастроинтестинальных гормонов.

Современный человек унаследовал генетический материал и физиологические особенности своих предков. Тысячелетиями в условиях ограниченной пищевых ресурсов были жизненно важны физиологические механизмы, обеспечивающие при беременности депонирование энергии, необходимой для нормального созревания плода и развития здорового ребенка. В современных развитых индустриальных странах с характерным для них достатком продуктов питания у женщин все еще сохраняется та же врожденная способность к снижению энергозатрат в период беременности. Теперь, однако, эта способность играет отрицательную роль, проявляясь неприятными «симптомами беременности», а также риском избыточной прибавки веса. В общем можно сказать, что легкость, с которой большинство женщин набирают вес, и высокая частота ожирения по сравнению с мужчинами, возможно, отражают скрытую животворную способность женского организма запасать энергию — способность, которая полностью раскрывается в период активного размножения.

ПРИБАВКА в весе у беременной женщины существенно уступает скорости роста ребенка. За первые 6 месяцев жизни вес новорожденного увеличивается вдвое. Соответственно велико и потребление грудным ребенком пищи. Шестинедельный малыш весит около 4 кг и выпивает примерно 650 мл молока в день. Для взрослого человека весом 65 кг пропорциональный объем молока составил бы 10 л! Среднее потребление энергии (ккал/кг веса) у ребенка в 4 раза выше, чем у взрослого. Чтобы справиться с таким количеством пищи и энергии, желудочно-кишечный тракт у ребенка должен быть относительно больше, а

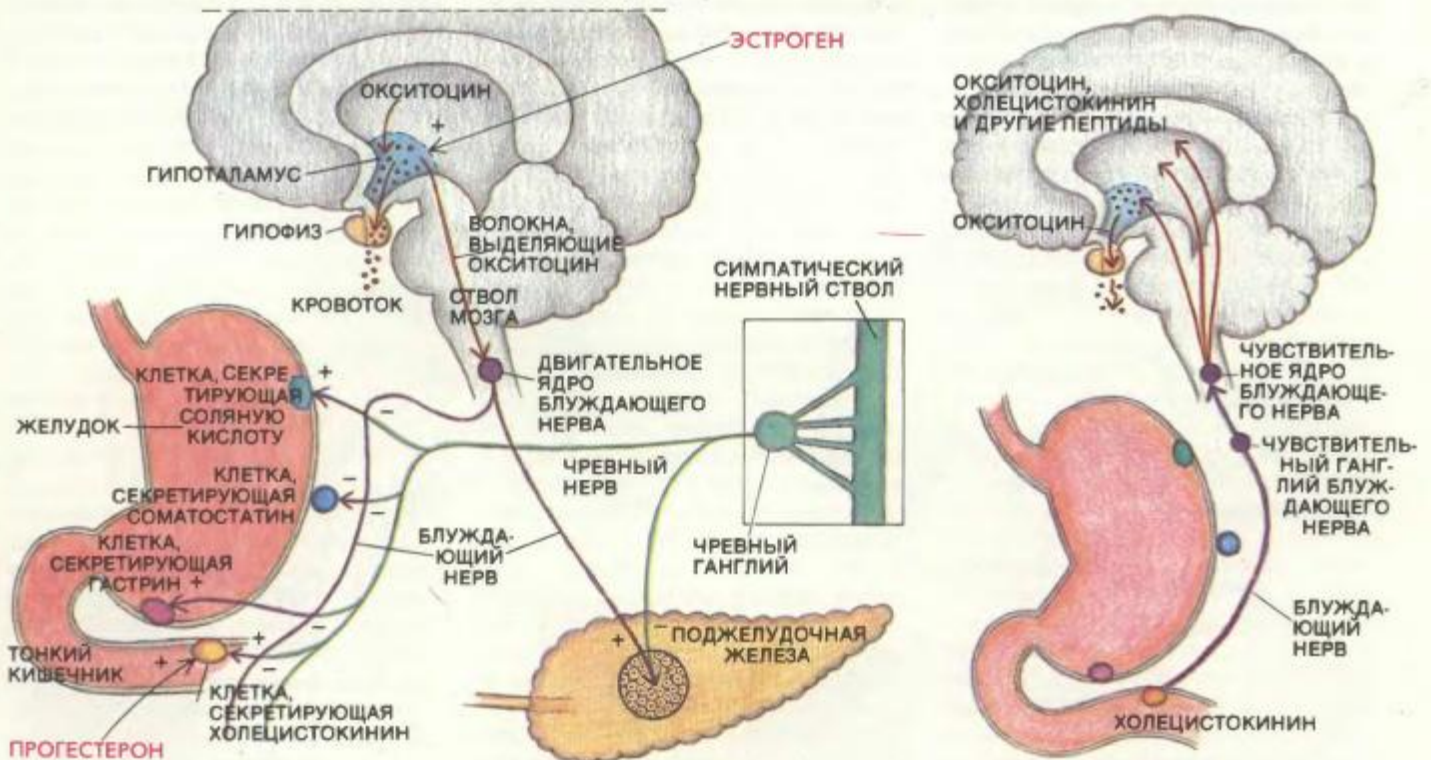


БЕРЕМЕННАЯ ЖЕНЩИНА начинает накапливать жировые запасы и прибавлять в весе (цветная кривая) в первые 3 месяца после зачатия, когда она еще относительно мало ест, а масса плода (черная кривая) существенно не возрастает. Здесь представлены средние данные, полученные недавно при обследовании женщин в Швеции.



ГАСТРОИНТЕСТИНАЛЬНЫЕ ГОРМОНЫ секретируются в пищеварительный тракт и кровеносное русло эндокринными клетками стенок желудка и тонкого кишечника. Гастрин, холецистокинин и секретин повышают секрецию инсулина поджелудочной железой. Гастрин также стимулирует в желудке выделение соляной кислоты, рост клеток

слизистой и механическую активность. Холецистокинин тормозит опорожнение желудка, активизирует выброс желчи из желчного пузыря и секрецию пищеварительных ферментов поджелудочной железой. Секретин стимулирует выделение этой железой бикарбонатов. Соматостатин угнетает секрецию гастроинтестинальных гормонов.



НЕРВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ секреции гормонов желудочно-кишечного тракта осуществляется блуждающими и чревными нервами. Окситоцин возбуждает волокна блуждающих нервов, которые стимулируют (+) или угнетают (-) секрецию гормонов эндокринными клетками и выброс инсулина поджелудочной железой. Чревные нервы действуют противоположно. При беременности повышен уровень эстрогена, который активизирует выделение окситоцина, усиливая действие блуждающих нервов на секрецию гастроинтестинальных гормонов и инсулина. Прогестерон местно стимулирует выброс холецистокинина.

НЕРВНЫЕ СИГНАЛЫ поступают от пищеварительного тракта к мозгу. Холецистокинин, выделяясь в тонком кишечнике, активирует чувствительные волокна блуждающих нервов, направляющиеся в мозг. Это влияет на поведение матери, в частности, вызывает у нее сонливость.

пищеварение активнее. Поскольку в детском возрасте большая часть питательных веществ направляется по анаболическому пути обмена для роста, следует ожидать, что активность эндокринного аппарата, способствующего выбросу инсулина, особенно высока.

Это предположение подтверждается наблюдениями А. Лукаса из Отдела питания фирмы Dupl при Совете медицинских исследований в Кембридже, А. Эйнсли-Грина из Оксфордского университета, а также нашими данными. Оказалось, что уровень гастрина у новорожденного в 5—10 раз выше, чем у взрослого. Причем повышение содержания гастрина нельзя рассматривать как вторичное, т. е. происходящее в ответ на значительное поступление пищи. В течение первых нескольких дней жизни ребенок получает при грудном кормлении очень мало молока, и рост концентрации гастрина в крови предшествует началу потребления больших количеств пищи.

Очень раннее повышение уровня гастрина у новорожденного можно, по крайней мере частично, объяснить предварительной стимуляцией желудочно-кишечного тракта во внутриутробный период. Хотя плод получает питание пассивно, через плаценту, его желудочно-кишечный тракт уже «тренируется». Известно, что время от времени плод заглатывает амниотическую жидкость. По данным Х. Прехтля из Государственного уни-

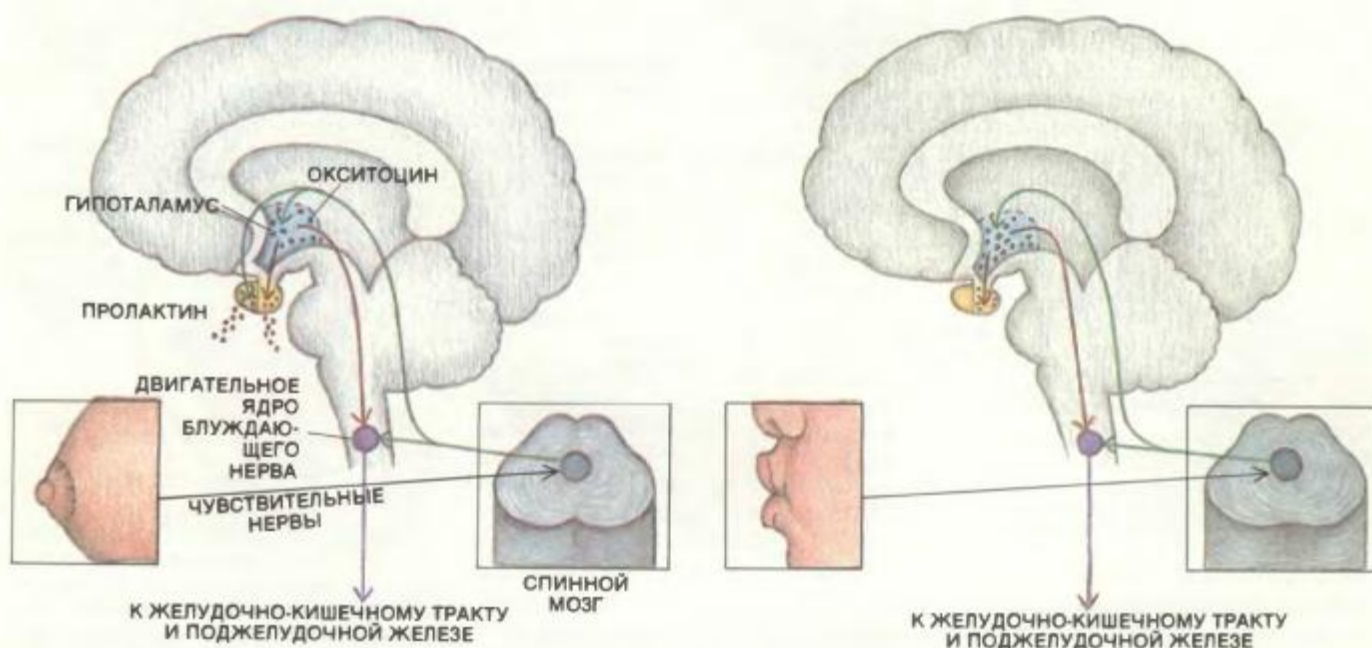
верситета в Гронингене (Нидерланды), глотательные движения плода можно наблюдать при помощи ультразвукового сканирования уже в первые 3 месяца беременности. В состав амниотической жидкости, содержащей множество различных веществ, входят эпидермальный фактор роста и гастрин, стимулирующие созревание желудочно-кишечного тракта.

Важность заглатывания амниотической жидкости для развития желудочно-кишечного тракта плода была продемонстрирована С. Мелвиллом из Медицинской школы Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. В опытах на кроликах он наблюдал тяжелые нарушения развития желудочно-кишечного тракта после перевязки пищевода плода. Но если такому плоду ввести в кишечник бычьей амниотическую жидкость, то этих нарушений не возникает. А.-М. Видстрём, Я. Винберг и я изучали содержимое желудка у детей непосредственно после рождения. Результаты этой работы позволили заключить, что у плода за поглощением амниотических вод следует секреция гастрина, соматостатина и соляной кислоты желудка. По-видимому, временные характеристики выделения этих веществ в период внутриутробного развития такие же, как у новорожденного после потребления пищи.

Вторая причина высокого уровня гастрина вскоре после рождения может быть связана с сосанием молока. При этом у ребенка возбуждаются

чувствительные нервы в области рта, что приводит к возбуждению блуждающих нервов и в результате к выделению гастрина и других гастроинтестинальных гормонов. Дж. Марчини и я изучали выделение этих гормонов в связи с сосанием молока путем непрерывной регистрации уровней гормонов в плазме крови. Когда ребенок берет грудь, в крови у него возрастает содержание гастрина, холецистокинина и инсулина. Первый пик концентраций этих гормонов обусловлен, по всей видимости, активностью блуждающих нервов. Важно, что такой же пик возникает, если дети просто сосут соску. Второй, более продолжительный подъем уровней гормонов появляется, когда пища попадает в желудок и кишечник. Но он, вероятно, увеличивается активностью блуждающих нервов, вызванной сосанием.

Есть убедительные данные в пользу того, что сам процесс сосания имеет физиологические и психические эффекты. Дж. Бернбаум из Медицинской школы Университета шт. Пенсильвания обнаружила, что новорожденные, которых приходится кормить через носовую катетер, растут быстрее, если им одновременно дают сосать пустышку. Сосание пустышки, как и кормление грудью, успокаивает ребенка, делает его сонливым; причиной этого, вероятно, является повышение уровня холецистокинина в крови. Между прочим, детские соски зачастую необоснованно критикуют,



КОРМЛЕНИЕ ГРУДЬЮ возбуждает блуждающие нервы через рецепторный аппарат, расположенный у матери (слева) в области сосков, а у ребенка (справа) в области рта. Импульсация блуждающих нервов повышает у матери уро-

вень пролактина и окситоцина, стимулируя секрецию молока, а также изменяет содержание гастроинтестинальных гормонов у матери и ребенка, координируя их метаболизм.

как негигиеническое и «балующее ребенка» средство. В действительности же все обстоит как раз наоборот. Сосание пустышки оказывает на грудных детей нормальное физиологическое воздействие. И кроме того, на заре становления человеческого общества процесс кормления грудью имел совсем иной характер. Каждый час ребенок сосал несколько раз, причем как днем, так и ночью. Такой режим грудного вскармливания до сих пор можно наблюдать в племенах, занимающихся охотой и собирательством. Возможно, сосанием пустышки компенсируется сокращение общего времени сосания, которое предполагает принятый ныне жесткий режим кормления грудного ребенка.

Когда дети болеют, то вне зависимости от диагноза рост замедляется и появляются различные желудочно-кишечные симптомы: застой в желудке, запоры, иногда рвота. В нашей работе с Марчини и Винбергом было обнаружено 10-кратное превышение уровня соматостатина у таких детей по сравнению со здоровыми. При стрессе, в том числе связанном с болезнью, повышается активность симпатической нервной системы и мобилизуются энергетические ресурсы организма. В то же время функционирование желудочно-кишечного тракта угнетается частично за счет повышения выброса соматостатина. Этот гормон не только подавляет механическую и секреторную активность желудочно-кишечного тракта, но и снижает выброс гормонов, стимулирующих анаболические процессы запасания энергии. Возможно, при заболевании именно из-за соматостатина замедляется рост и нарушается пищеварение. Здесь опять прослеживается связь между ростом организма и функционированием пищеварительного тракта, — правда, в данном случае она играет отрицательную роль.

СФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ точки зрения лактация (секреция молока и кормление грудью) — это продолжение беременности: материнские эндокринная и пищеварительная система по-прежнему обеспечивают ребенка питанием. Главное отличие заключается в том, что в организме матери энергия запасается в специальное депо — молочные железы и ребенок получает питательные вещества уже не через плаценту, а с молоком.

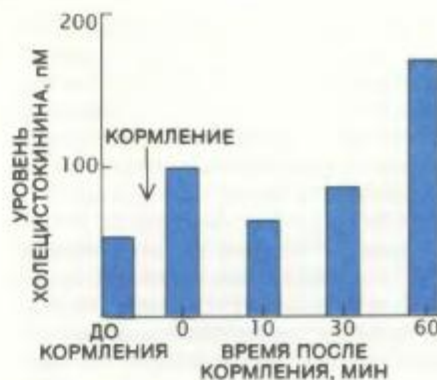
В период лактации женский организм нуждается в энергии даже больше, чем при беременности. Подсчитано, что у кормящей женщины поступление энергии должно на 25% превышать нормальную потребность. Как это обеспечивается? Наиболее про-

стой путь — увеличение аппетита и потребление большего количества пищи, что и наблюдается в действительности. В экспериментах на крысах показано, что, когда детеныши сосут, самка ест больше.

Однако дополнительных источников пищи в период кормления грудью может не оказаться. Значит, должны существовать иные, кроме чувства голода, физиологические механизмы, обеспечивающие энергетические нужды матери и ребенка. Один из путей уменьшения зависимости матери от питания — использование энергии тех запасов жира, которые накапливаются в ходе беременности. Такой жир имеет тенденцию откладываться в области бедер и ягодиц. В нормальных условиях жир из этих депо довольно мало используется в качестве источника энергии. Физиологический механизм, облегчающий мобилизацию жира, запасенного во время беременности, при кормлении грудью, был выявлен П. Бьёрнторпом из Салгресской больницы в Готенберге. Оказывается, при лактации местно в области бедер и ягодиц уменьшается активность фермента липопротеинлипазы, которая способствует отложению жира в запас.

Однако не у всех кормящих матерей имеются запасы жира, накопленные в ходе беременности. Значит, должны существовать еще и такие физиологические механизмы, которые обеспечивают более экономный расход энергии в материнском организме и сохраняют ее для нужд ребенка. Недавно несколько исследователей нашли несоответствие между расчетной идеальной прибавкой поступления энергии для обеспечения лактации (у женщин 25%) и действительным средним потреблением калорий у кормящих крыс (у них отсутствовали жировые запасы) и женщин, не накопивших жир за время беременности или длительно кормивших грудью. В другом исследовании, проведенном И. Иллинуортом с сотрудниками из Найнзлесской больницы и Медицинской школы в Данди (Великобритания), показано, что в покое поперечно-полосатые мышцы (которые в норме после еды выделяют тепло) у кормящих женщин образуют меньше тепла, чем у не кормящих. Эта экономия может частично объяснить компенсацию энергетических затрат женского организма при кормлении молоком.

ИТАК, на случай повышенных энергозатрат в связи с беременностью и лактацией существуют специальные физиологические механизмы мобилизации и запасания энергии.



УРОВЕНЬ ХОЛЕЦИСТОКИНИНА у ребенка изменяется в связи с кормлением грудью. Начальный подъем — это ответ на сосание. Содержание гормона повторно увеличивается, когда эндокринные клетки возбуждаются поступлением питательных веществ.

Тем не менее очень важным фактором дополнительной поставки энергии служит повышение активности эндокринного аппарата желудочно-кишечного тракта. Этот рост активности не только возникает вторично, под влиянием увеличения поступления пищи, но и обусловливается сосанием молока младенцем. А. Линден, М. Эрикссон, К. Свеннерстен, А. М. Видстрём и я показали, что у женщин, а также у крыс, свиней, собак и коров за каждым периодом сосания молока следуют высвобождение гастрина, инсулина, холецистокинина и уменьшение уровня соматостатина. Изменения эндокринной активности являются рефлекторным ответом на сосание, осуществляющимся при участии блуждающих нервов. Если перерезать последние у лактирующих крыс, эти изменения исчезают. Скорее всего, в ответ на сосание молока возрастает активность всей парасимпатической системы. Это противодействует симпатической активности и в результате в мышцах образуется меньше тепла, поскольку данный катаболический процесс регулируется симпатической нервной системой.

Высвобождение гормонов желудочно-кишечного тракта при сосании приводит к важным физиологическим последствиям. Во-первых, создаются условия, благоприятствующие пищеварению. Слизистая всего желудочно-кишечного тракта утолщается, чтобы справиться с выполнением усиленных метаболических функций при лактации. Во-вторых, энергия не расходуется в катаболических процессах, а накапливается в организме. Она направляется в специальные энергетические депо — молочные железы, что регулируется гормоном гипофиза пролактин.

тином. При повышении уровня пролактина уменьшается число рецепторов инсулина в жировой ткани и тем самым сокращается поступление в нее питательных веществ. Одновременно растет количество таких рецепторов в молочных железах, что приводит к накоплению здесь субстратов.

Влияние сосания на высвобождение гормонов желудочно-кишечного тракта приводит к оптимальному соотношению между приходом и расходом энергии в материнском организме при лактации, поскольку выработка молока регулируется самим сосанием. Б. Алгерс из Ветеринарного университета в Скаре и я установили, что у свиней, когда поросят сосут молоко, у матери уровень пролактина растет, а соматостатина снижается; причем выраженность этих изменений зависит от степени стимуляции вымени: чем больше поросят, тем более продолжительны гормональные сдвиги. Еще один факт, обнаруженный мною и Видстрём, свидетельствует о важности эндокринного аппарата желудочно-кишечного тракта для лактации: обусловленное сосанием снижение уровня соматостатина у кормящих женщин в высокой степени коррелирует по величине с количеством молока, полученного ребенком.

В заключение следует отметить, что лактация влияет даже на поведение матери. Так, женщины в процессе кормления грудью ощущают сонливость. А у кормящих самок крыс во время питания детенышей на электроэнцефалограмме обнаруживаются изменения, характерные для сна. Считают, что этот психический эффект обусловлен выделением холецистокинина в пищеварительном тракте в ответ на сосание и его действием на блуждающие нервы. То, что кормление грудью оказывает на женщину успокоительное действие, может служить разным целям. Прежде всего таким образом достигается экономия энергии. Кроме того, это, по-видимому, способствует тому, что мать остается возле своего потомства.

Интересно, что сосание молока вызывает посредством активации блуждающих нервов выделение гормонов желудочно-кишечного тракта и у ребенка, и у матери. В зависимости от частоты и интенсивности сосания у обоих происходят сходные изменения в желудочно-кишечном тракте и тем самым их метаболизм синхронизируется. Иными словами, своего рода симбиотические отношения между матерью и ребенком затрагивают не только психические, но и физиологические процессы.

Сладкий успех

ОТКРЫТИЕ, сделанное почти одновременно несколькими независимыми исследовательскими группами, стало существенным шагом вперед в понимании важной проблемы изучения метаболизма: в чем заключаются процессы, составляющие каскад, начинающийся со связывания гормона инсулина с его рецептором на жировых и мышечных клетках и завершающийся поглощением клетками глюкозы из крови? Поглощение глюкозы — очень существенный процесс: он обеспечивает источником энергии значительную долю клеток организма и препятствует накоплению глюкозы в крови (повышенный уровень глюкозы связан с диабетом).

Исследователям удалось выделить ген белка (и таким образом доказать, что этот белок существует), известного в роли переносчика глюкозы, который, по-видимому, критически важен на конечных этапах каскада. В ответ на поступивший к клетке извне инсулин, который служит сигналом, молекулы белка-переносчика направляются из внутренней области клетки к мембране, где они «ввозят» глюкозу внутрь.

Поиски гена, кодирующего белок — переносчик глюкозы, начались в прошлом году, чему способствовала работа Д. Джеймса и П. Пилча из Медицинской школы Бостонского университета, которые изучали активность белка, считавшегося единственным переносчиком глюкозы в жировых и мышечных клетках. Первоначально этот белок был идентифицирован в эритроцитах, а затем обнаружен и в различных других клетках. Показано, что данный белок отвечает на инсулин, перемещаясь из внутренней области клетки, а именно из оргanelл, называемых микросомами, к плазматической (поверхностной) мембране клетки. Джеймс и Пилч надеялись, что анализ белков микросом даст ключ к механизму перемещения белка — переносчика глюкозы к мембране и, быть может, объяснит, почему очень небольшое количество молекул переносчика с легкостью обеспечивает все поглощение глюкозы клетками, стимулированными инсулином. К своему удивлению, они обнаружили, что один из видов моноклональных антител, полученных с целью различать микросомальные белки, связывался с белком, весьма похожим на известный переносчик глюкозы: он оказался таких же размеров и в жировых клетках в ответ на

инсулин перемещался из микросом к плазматической мембране. Собственно, этого вновь открытого белка в мембране больше, чем «эритроцитарного» переносчика.

Чтобы с определенностью доказать, что Джеймс и Пилч действительно обнаружили второй, потенциально более важный переносчик глюкозы, нужно было выделить и охарактеризовать его ген. Это удалось сделать по меньшей мере пяти исследовательским группам. Джеймс (сейчас он сотрудник Медицинской школы Университета Джонса Гопкинса) и его коллега М. Меклер клонировали крысиный ген и показали, что по нуклеотидной последовательности он родствен гену «эритроцитарного» переносчика, но явно отличен от него. Такие же результаты получили М. Бирнбом из Медицинской школы Гарвардского университета и независимо Х. Лодиш с коллегами из Института медико-биологических исследований Уайтхеда. Как установили М. Дэниел Лэйн и его сотрудники из Медицинской школы Университета Джонса Гопкинса и Медицинской школы Университета Восточной Каролины, сходную нуклеотидную последовательность имеет мышинный ген. Г. Белл из Чикагского университета с коллегами из ряда учреждений выявили подобную последовательность в ДНК человека. Бирнбом убедительно показал, что белок, кодируемый клонированной ДНК, действительно осуществляет транспорт глюкозы.

Сейчас исследователи рассчитывают идентифицировать молекулы, взаимодействие которых с этим переносчиком имеет значение в регуляции ответа на инсулин. Они также изучают роль переносчика глюкозы в развитии диабета, независимого от инсулина, который, как правило, появляется в зрелом возрасте. По мнению Бирнбома, весьма важна, в частности, возможность того, что врожденный дефект белка-переносчика в некоторых случаях обуславливает предрасположенность к диабету.

Солнце на службе экологии

БОЛЬШАЯ часть усилий ученых, направленных на то, чтобы обуздать свободную энергию, которая ежедневно поступает на землю в виде солнечного света, связана с преобразованием ее в электрическую энергию. В рамках совместной программы ученые Института солнечной энергии (ИСЭ) в Голдене (шт. Колорадо) и

Национальной лаборатории Сандия в Альбукерке разрабатывают способы использования солнечной энергии для различных целей, например чтобы разрушать токсические вещества в промышленных отходах или в грунтовых водах.

К. Тинер из лаборатории Сандия отработывает процесс очистки воды, загрязненной органическими веществами, такими как трихлорэтилен. Воду смешивают с диоксидом титана, который служит катализатором, и под давлением пропускают через трубы Пирекса, находящиеся в фокусе зеркала, имеющего форму желоба. Под действием солнечного ультрафиолетового излучения образуются реактивные гидроксильные радикалы и ионы пероксида, которые превращают треть загрязняющих компонентов в неопасные для здоровья вещества за 20 с, — в течение времени, пока эти компоненты проходят над зеркалом, длина которого равна 40 м, а ширина немногим более 2 м. Диоксид титана легко отфильтровывается для повторного использования.

Как заявил Тинер, проводящий широкомасштабный эксперимент с установкой из нескольких зеркал, неоднократное пропускание загрязненной воды через желоб может снизить концентрацию присутствующих в ней загрязняющих веществ с нескольких частиц на миллион до нескольких частиц на миллиард. Тинер надеется, что в будущем можно будет построить такое сооружение, которое без участия человека сможет осуществлять детоксификацию воды и самостоятельно выключаться в пасмурную погоду. Он также полагает, что этот метод можно будет применить и для очистки грунтовых вод, проходящих, например, вблизи зараженных токсичными веществами промышленных отстойников, и стоит это будет не более 0,5 цента на 1 тыс. литров.

Но даже при этих достоинствах, как говорит Тинер, данный процесс, основанный на использовании солнечного излучения, вряд ли окажется более экономичным по сравнению с традиционным методом очистки воздушной отгонкой, при которой воздух пропускается сквозь загрязненную воду и выносит органические включения. В отличие от воздушной отгонки, однако, метод, разработанный сотрудниками лаборатории Сандия, разрушает вредные включения, а не выводит их в атмосферу, и таким образом, этот метод может оказаться более конкурентоспособным по мере все большего ужесточения стандартов.

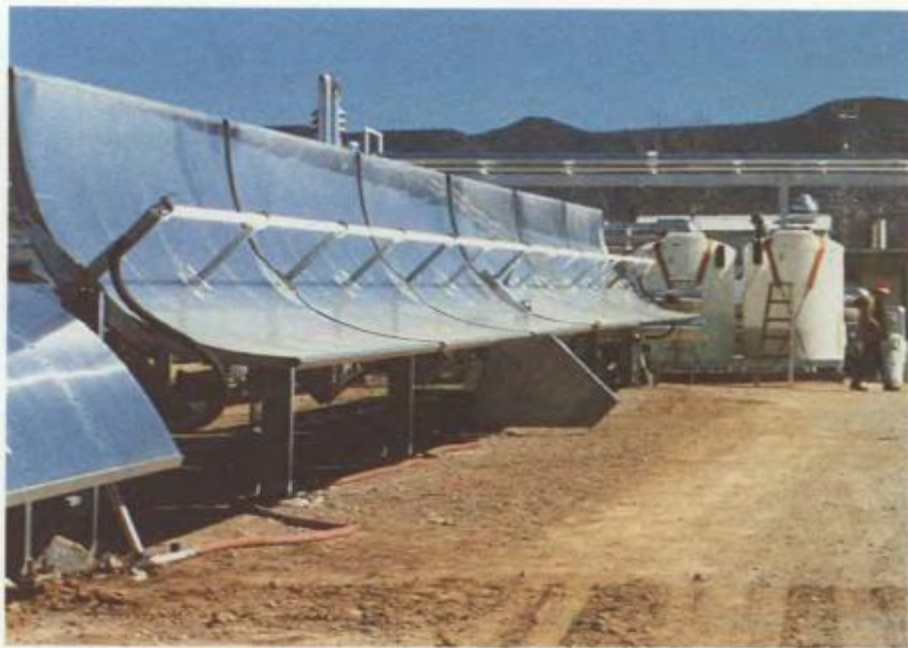
Сотрудник лаборатории Сандия

Дж. Фиш разрабатывает также технологию превращения органических отходов в топливо. Пока эта разработка находится в самой начальной стадии. Новая технология основана на использовании солнечного тепла, а не ультрафиолетового излучения. Катализатор, в качестве которого предполагается использовать родий, помещается в камеру в фокусе рефлектора, имеющего форму блюда. В зоне фокуса температура достигает 800—1000 °С — достаточно высокая, чтобы катализатор превращал органические вещества, которые под давлением пропускаются через камеру, в такие газы, как монооксид углерода и водород. Затем создаются условия, при которых эти газы реагируют, и в результате получается метанол, входящий в состав горючего. Этот процесс отработывается с применением метана, который используют в качестве исходного газа, но в конце концов Фиш намеревается производить горючие вещества из хлорированных углеводородов, являющихся вредными отходами. Содержащийся в отходах хлор можно превратить в хлористоводородную (соляную) кислоту, которая используется во многих промышленных процессах.

Сотрудник ИСЭ Дж. Торнтон, который возглавляет работу по совместной программе, продемонстрировал еще одну солнечно-химическую технологию, в которой не нужно ис-

пользовать никакого катализатора. В солнечной печи на ракетном полигоне «Уайт-Сэндз» в Нью-Мексико, он за счет фокусировки получил излучение в 300 раз мощнее солнечного; свет был сфокусирован на кварцевом сосуде, содержащем одну из форм диоксида. Сфокусированная солнечная энергия разрушает 99,9999% диоксида и превращает его в относительно безвредные соединения. Работа этой установки отвечает требованиям стандартов Управления по охране окружающей среды для промышленных очистных сооружений, используемых в настоящее время для разрушения диоксида, некоторые формы которого высокотоксичны. Как отмечает Торнтон, использование ультрафиолетового солнечного излучения позволяет весьма эффективно разрушать диоксин при температурах всего лишь 750 °С, т. е. на несколько сот градусов ниже той, которую приходится создавать в обычных очистных установках.

Метод Торнтона от практической реализации отстоит дальше, чем технология, разработанная сотрудниками лаборатории Сандия: к настоящему времени ему удалось проверить свой метод всего лишь на нескольких миллиграммах диоксида. И все же, по его расчетам, уже в ближайшие 5 лет первые солнечно-химические технологии могут быть готовы для промышленного использования.



ЖЕЛОБООБРАЗНЫЕ ЗЕРКАЛА фокусируют солнечный свет на трубах, через которые пропускается вода, содержащая вредные вещества. Под действием солнечного ультрафиолетового излучения возникает химическая реакция, в результате которой содержащиеся в воде вредные органические вещества разрушаются. Фотография публикуется с любезного разрешения Национальной лаборатории Сандия.

Образное мышление в ледниковую эпоху

Около 35 000 лет назад наши предки, жившие на территории Европы, стали изготавливать первые нательные украшения и предметы, отображающие окружающий мир. Этому предшествовал длительный, протяженностью 2,5 млн. лет период, для которого характерны не столь значительные нововведения в материальной культуре человека

РЭНДОЛЛ УАЙТ

АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ свидетельства существования человека и его предшественников-гоминид, относящиеся к периоду протяженностью 2,5 млн. лет, носят чисто утилитарный характер и представлены каменными орудиями. В последующий период, начавшийся примерно 35 000 лет назад, в материальной культуре людей, живших на территории Европы, произошли кардинальные изменения. Наряду с новыми видами каменных орудий и изделий из кости и рога впервые появляются предметы символического характера. Они включают в себя как украшения в форме бус или подвесок, так и первые изображения, двумерные или трехмерные, отражающие окружающий мир. Этот «культурный взрыв», ознаменовавший начало периода, который получил название «ориньякского», отмечен одновременно на обширных территориях Западной и Восточной Европы. Почему?

Долгое время считалось, что ответ на этот вопрос не выходит за рамки биологии: с развитием анатомически более совершенного человека современного типа (*Homo sapiens sapiens*) происходило вытеснение предшествующей неандертальской стадии эволюции и вступали в действие новые важные особенности нервной системы человека. Работы последних лет, однако, ставят этот вывод под сомнение. На сегодняшний день кажется более вероятным, что *Homo sapiens sapiens* появился 100 или более тысяч лет назад и переместился в Европу за несколько тысячелетий до начала ориньякского периода. На протяжении большей части этого периода представители нашего собственного подвида не имели в своем обиходе ничего такого, что можно было бы на-

звать символическим. Следовательно, появление украшений и изображений связано не с биологическими, а с культурными процессами. Изучение первых украшений и изображений позволяет глубже понять суть этой основной вехи культурной эволюции.

НАЧАЛО ориньякского периода в Европе, по обычному представлению, совпадает с более широким переходом от среднего к верхнему палеолиту. Пока появление человека современного типа датировалось примерно 35 тыс. лет назад, этот переход можно было соотнести с возникновением *Homo sapiens sapiens*. Однако в последние годы на Ближнем Востоке и в Южной Африке обнаружены скелетные остатки *Homo sapiens sapiens* возрастом примерно в 90 тыс. лет. Исследования митохондриальной ДНК позволяют предположить, что все современные человеческие популяции появились в Африке, причем сравнительно недавно — от 50 до 250 тыс. лет назад. Это означает, что все популяции современного человека, возможно, произошли от групп, распространившихся из Африки после этого времени.

В Западной Европе распространение этих групп завершилось, по видимому, около 30 тыс. лет назад, когда более мощные и массивные неандертальцы были вытеснены более грацильными (изящными) людьми современного типа. Этот процесс завершился довольно быстро — через каких-нибудь 5 тыс. лет. К моменту его окончания обычай украшать тело (характерный ныне для всех человеческих обществ) стал широко распространенным в Европе, а также в столь отдаленной части света, как Австралия. Наибольшее количество свиде-



МАМОНТ, вырезанный из бивня мамонта в Фогельхерде (ФРГ) от 34 до

тельств получено с ориньякских стоянок во Франции, Бельгии и Германии. Эти свидетельства стали объектом пристального изучения с моей стороны и со стороны других археологов. В данной статье описываются самые ранние из известных украшений и делается попытка понять их связь с другими культурными традициями в период перехода к верхнему палеолиту, включая первые изображения природных объектов.

Появление первых украшений в большом количестве приходится на начальные стадии ориньякского периода, длившиеся от 34 до 30 тыс. лет назад. В тех же культурных слоях, из которых происходят украшения, обнаружены следы хорошо развитых технологий по обработке камня, кости и рога. Каменные орудия включа-

ют тончайшие кремневые пластинки, а также изготовленные из них приспособления для гравировки и нанесения орнамента. Орудия из кости и рога включают шилья, наконечники копий и ложила. Подобный набор орудий помогал существовать относительно небольшим группам, промышлявшим охотой на крупных травоядных, таких как северный олень, мамонт, дикая лошадь, бизон и благородный олень. Этим же периодом датируются первые важные свидетельства речного рыболовства и охоты на птиц.

На сотнях стоянок, принадлежавших ориньякским охотникам, археологи часто находят предметы, которые интерпретируются ими как бусы или подвески. Эти предметы изготовлены из разных материалов, в том числе из мягких пород камня, рако-

вин, зубов и чаще всего из бивней мамонта. Многие из них имеют отверстие для подвешивания, и, как известно из последующего культурного периода (названного «граветт»), такие бусы и подвески действительно использовались в качестве нательных украшений. На стоянке Сунгирь, неподалеку от Москвы, возраст которой составляет 28—24 тыс. лет, были найдены тысячи тщательно обработанных бусин из бивня мамонта и зубы с проделанными в них отверстиями: соединенные в длинные нити эти предметы покрывали останки нескольких людей.

Еще раньше — в позднем ориньяке — прослеживается связь украшений с погребениями. Одна из наиболее известных ориньякских стоянок, где были обнаружены украшения, — это



32 тыс. лет назад во время ориньякского периода. Среди находок, относящихся к этому периоду, впервые появля-

ются нательные украшения и двумерные изображения.

Кро-Маньон в долине Везер на юго-западе Франции. Железнодорожные рабочие обнаружили там в 1868 г. четыре взрослых скелета и один скелет плода человека вместе с многочисленными прорезными раковинами и подвеской, изготовленной из бивня мамонта. Возраст этих предметов и людских останков составляет примерно 28 тыс. лет, что соответствует концу ориньякского периода.

ОДНАКО самые первые нательные украшения, датированные началом ориньяка, найдены вне связи с погребениями. Бусы и подвески сотнями обнаружены на стоянках, в местах обитания ранних представителей *Homo sapiens sapiens* в Европе. Роберт Гарджетт из Калифорнийского университета в Беркли недавно подверг сомнению представление о том,

что неандертальцы хоронили своих мертвых (см. заметку «Серьезные сомнения» в рубрике «Наука и общество», «В мире науки», 1989, № 8). Если Гарджетт прав, первые погребения, по-видимому, появились в Европе лишь после того, как туда пришел *Homo sapiens sapiens*. Так или иначе, первые украшения следует рассматривать вне связи с погребениями. Это усложняет процесс интерпретации, так как вне «контекста погребения» трудно связать различия в нательных украшениях с такими социально значимыми признаками, как возраст и пол.

Прежде чем перейти к интерпретации, я хотел бы остановиться на том, где именно были найдены украшения, т. е. на классификации ориньякских стоянок, а также на способах изготовления украшений. Хотя декоративные

предметы при раскопках встречаются довольно часто, их распространенность на различных стоянках сильно варьирует. На некоторых стоянках находят очень мало украшений, на других — сотни. На многих из тех стоянок, где украшения находят в больших количествах, обнаруживают также отходы от их производства и незавершенные работы. Эти находки свидетельствуют о том, что украшения изготавливались на самой стоянке, и позволяют археологам реконструировать последовательность технологических операций.

Одна из самых поразительных особенностей ориньякских украшений — это то, что они изготавливались в основном из материалов, «экзотических» для данной стоянки. В ориньякский период возможности людей по переноске материалов на большие



ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУС в ориньякский период на юго-западе Франции был реконструирован автором. Вначале изготавливали палочки из бивня мамонта (1), на которых в местах разлома делались круговые насечки. После разламывания из каждой палочки получалось несколько «заготовок» (2). Заготовки обрабатывались таким образом,

чтобы на одном конце образовалась толстая «луковица», а на другом — тонкий «стебель» (3, 4). Затем продельвались отверстия (5) и заготовки тщательно шлифовались и полировались, в результате получались гладко отполированные бусины (6).

расстояния, по-видимому, сильно возросли. Некоторые породы камня, раковины и кость найдены археологами на стоянках, удаленных на сотни километров от тех мест, где они встречаются в природе. Пока неизвестно, каким образом такие редкие и необычные материалы попадали на стоянку (после длительных экспедиций в места их добычи или же с помощью развивающегося обмена), интересно, однако, другое — в большинстве случаев они шли на изготовление украшений, а не орудий или оружия.

Это обстоятельство, несомненно, свидетельствует о том, что люди ориньякского периода высоко ценили «заграничные» материалы и использовали их для социально-демонстративных целей. Но это еще не все. Больше всего экзотических материалов обнаруживают на тех стоянках, где много украшений. Почему некоторые стоянки столь богаты украшениями и экзотическими материалами, пока не ясно. Возможно, что эти стоянки служили местом, где происходил обмен высокоценившимися материалами, привлекавший сюда группы людей из отдаленных местностей. Каковы бы ни были другие объяснения, кажется бесспорным, что они были местом, где обладание украшениями имело основное значение.

Независимо от того, насколько экзотические материалы были сконцентрированы на отдельных стоянках, процесс превращения их в украшения, по-видимому, имел сложную концептуальную основу. Изготовители украшений не довольствовались выбором случайного сырья. Наоборот, они тщательно выбирали тот или иной материал. Например, зубы животных с проделанными в них отверстиями относятся к одной большой категории украшений, однако если из них делались подвески, использовались зубы только некоторых видов животных. Чаще всего это были зубы хищников, хотя, например, на стоянке Младеч в Чехословакии найдено большое количество зубов бобра с проделанными в них отверстиями. И все же на большинстве ориньякских стоянок предпочтение отдавалось хищникам, таким как лисица, волк, гиена и медведь.

ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ вероятным, что путем выбора зубов животных определенных видов создатели ориньякских украшений как бы пытались наделять себя некоторыми отличительными качествами этих животных. «Операция» над понятиями, когда часть становится олицетворением целого, называется метонимией; это явление хорошо известно в литературе и мифологии. У Гомера, например,



ПОДРАЖАНИЕ предметом, встречающимся в природе, — одно из отличий ориньякских украшений. Подвеска слева — это клык благородного оленя, в котором проделано отверстие. Справа — его имитация из известняка. Обе находки обнаружены на стоянке Тру-Магрит в Бельгии и насчитывают около 30 тыс. лет.

парус иногда означал корабль. Более того, метонимические основы появления нательных украшений хорошо известны антропологам по аналогам, существующим в сегодняшних небольших сообществах, члены которых располагают как материальными, так и ритуальными средствами отождествления себя с определенными видами животных. Тот факт, что в ориньякскую эпоху были выбраны хищники, хорошо согласуется с этим объяснением: судя по остаткам животных, обнаруживаемым среди отбросов, люди существовали в это время в основном за счет охоты.

Если концептуальная основа ориньякских украшений представляется достаточно сложной, то технологические приемы, позволившие реализовать эти концепции, варьируют от довольно изощренных до совсем простых. К простейшим украшениям относятся морские ракушки и зубы животных. Ракушки и корни зубов животных редко превосходят по толщине 0,2 см. Ориньякские мастера сначала долбили их с двух сторон, а потом с помощью острого предмета проделывали в них отверстие. Сверление почти никогда не использовалось, за исключением тех случаев, когда материал был очень мягким. Действительно, в раннем ориньякском инвентаре отсутствуют тонкие кремневые сверла, которые обычно обнаруживают на более поздних стоянках. Еще один технологический прием заключался в том, что вокруг корня зуба делалась бороздка, вероятно, служившая для привязывания нити.

Бивни мамонта, в отличие от раковин, некоторых видов зубов и кости требовали более сложных методов

обработки. Ориньякские мастера сначала делали из кусков бивней заготовки «приемлемого» размера, предназначенные для собственных производственных нужд. Критерий «приемлемости» сильно варьировал в разных районах и в конечном итоге зависел от региональных эстетических различий. То, о чем я буду говорить ниже, относится в основном к юго-западу Франции — главному району моих исследований, где сосредоточена большая часть стоянок, на которых обнаружено много украшений.

Изготовление костяных бусин на юго-западе Франции начиналось с получения длинных «брусков» мамонтова бивня. Заготовки этих брусков, по-видимому, приносили издалека, так как на французских стоянках найдено очень мало неиспользованных фрагментов бивня, а кости мамонта вообще отсутствуют. Бруски откалывали по всей длине бивня, с наружного его слоя, образованного концентрическими пластинами. Этот слой представлял собой наилучший материал для ориньякских мастеров. Неслоистая сердцевина бивня была очень твердой и либо выбрасывалась, либо иногда (на стоянках, обнаруженных в ФРГ) шла на изготовление фигурок животных.

Из брусков затем вытачивали карандашеобразные палочки, каждую из которых делили на сегменты путем нанесения насечек по окружности на расстоянии 1—2 см друг от друга. Сегменты отламывали, и таким образом получались заготовки для бусин. В местах отлома тонкие слои слоновой кости всегда были перпендикулярны тому направлению, в котором должно пройти отверстие. Это направление специально выбиралось



СКУЛЬПТУРНАЯ ФИГУРКА, найденная на стоянке Фогельхерд (ФРГ), как полагают, изображает животное из семейства кошачьих, о чем свидетельствует, в частности,

форма хорошо различимого уха. Шерсть показана точками. Фигурка возрастом примерно в 32 тыс. лет изготовлена из бивня мамонта.

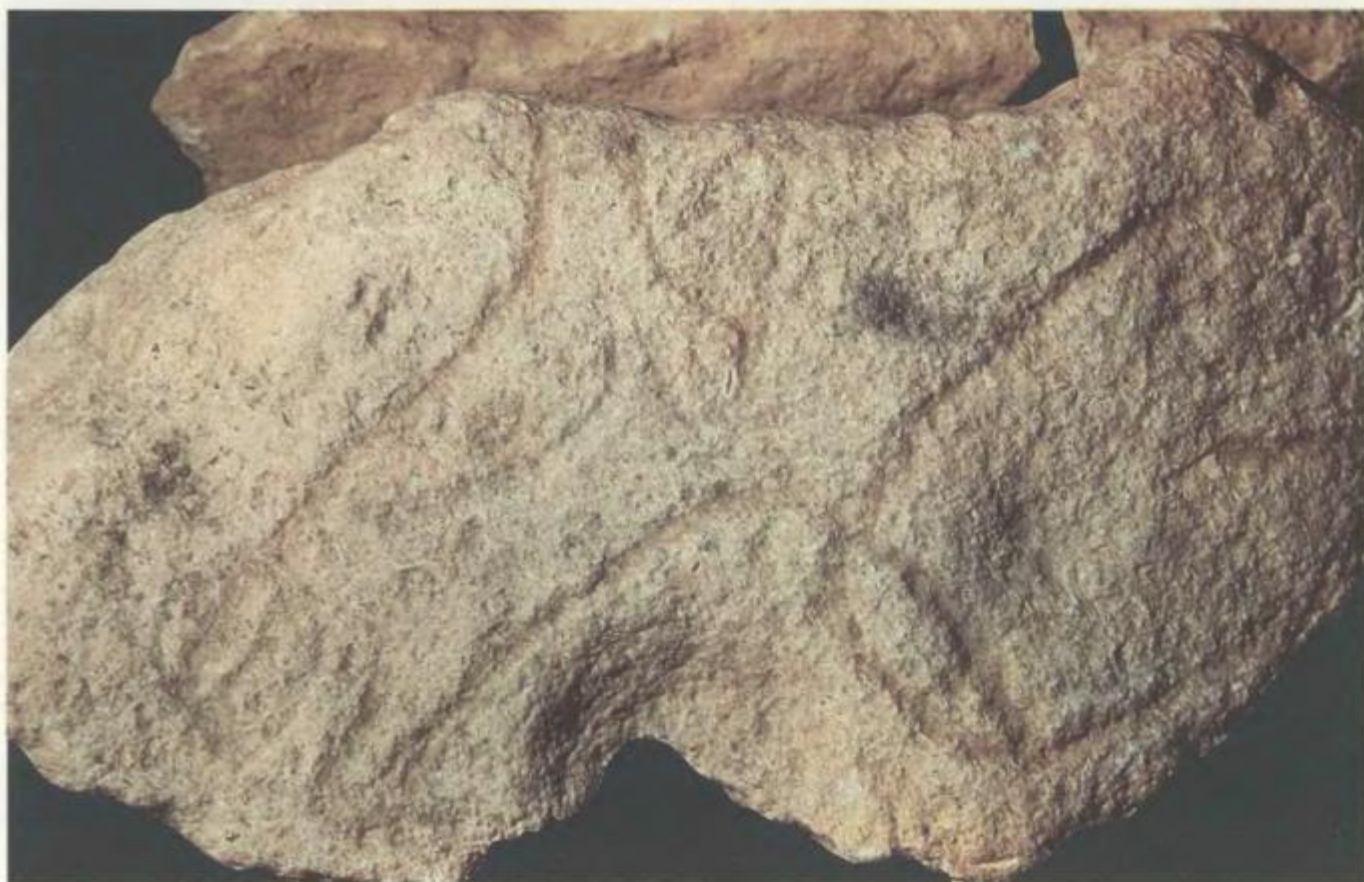
так, чтобы один конец заготовки мог быть истончен за счет отделения наружных пластин, сперва с одной стороны, потом — с другой.

В РЕЗУЛЬТАТЕ указанных операций появлялась как бы «начерно» сделанная бусина с тонкой верхней частью («стебель») и толстой округ-

лой нижней («луковица»). На этом этапе заготовка в какой-то степени напоминала некоторые виды зубов животных, в частности редуцированные клыки благородного и северного оленей. Эта мимикрия и составляет, по моему мнению, цель всего процесса. (Как мы убедимся, подражание природным формам и узорам являет-

ся характерной чертой раннеориньякских изображений.) Истончение заготовки почти всегда приводило к тому, что в ее верхней части она становилась не толще 0,2 см, после чего в ней проделывали отверстие в месте перехода стебля в луковицу.

Затем бусину шлифовали и тщательно полировали. В результате



ИЗОБРАЖЕНИЕ, вырезанное на плоском куске известняка, обычно интерпретируется как голова лошади. Отдельная фигура справа выглядит более абстрактно. Изображение

было обнаружено в 1927 г. на стоянке Абри-Селье во Франции. По оценке археологов, оно сделано около 32 тыс. лет назад.

этих операций (которые обычно не связывают с палеолитической технологией) удавалось более половины исходной массы заготовки. В частности, стебель почти полностью исчезал в процессе шлифовки, а луковица становилась круглой и гладкой. Знакомая с изделиями ориньякских мастеров, многие задают один и тот же вопрос: как им удавалось делать такие аккуратные дырочки? В действительности они этого не умели, но скрывали свое неумение тем, что сначала проделывали отверстие, а затем шлифовали его края.

Как носились эти изделия? Возможно, в виде ожерелий или браслетов. Возможно также, что бусины нашивались на одежду, образуя узор или орнамент. Однако тщательное изучение бусин показало, что большинство из них не имеет повреждений или следов износа. Если бы их нашивали на одежду каждую в отдельности, то некоторые из бусин были бы повреждены или потеряны. Иногда в одном месте обнаруживают «комплекты» из двух бусин — по предположению, серьги. Находят также клинообразные бусины, служившие, вероятно, пуговицами или опять-таки серьгами. Несомненно, существовали разные способы прикрепления украшений, соответствовавшие их разнообразию, однако в настоящее время мы почти ничего не знаем о том, как носились эти первые украшения.

Нет пока определенного ответа и на вопрос, что означало внезапное, почти взрывное появление украшений в развитии социальных отношений в ледниковую эпоху. Возможно, что подойти к его решению поможет информация о современных небольших обществах. В таких обществах украшения служат для идентификации социальной значимости. Пол, социальный и экономический статус, принадлежность к группе — все это выражается с помощью украшений или другой нательной орнаментики (например, татуировки). По мнению Теренса Тернера из Чикагского университета, тело в современном обществе — это «символическая сцена», на которой разыгрывается драма социализации. Эта символическая драма носит универсальный характер, так как разыгрывается во всех человеческих обществах.

Если украшение служило средством выражения социальной принадлежности, то что означало его первоначальное появление? На этот вопрос пока предлагается два возможных ответа. Первый заключается в том, что появление нательных украшений связано с возникновением самих социальных категорий. Другими словами, именно в ориньякскую эпоху стали впервые



ТОЧЕЧНЫЙ ОРНАМЕНТ присутствует на многих ориньякских украшениях. Изображенные здесь предметы обнаружены на стоянке Абри-Бланшар (юго-запад Франции) и насчитывают около 32 тыс. лет. Предмет в середине интерпретируется некоторыми антропологами как рыба или тюлень. По мнению Александра Маршака, рисунок из точек на пластине, изображенной внизу, представляет собой лунный календарь. Однако наличие такого же орнамента на других ориньякских предметах свидетельствует скорее об эстетическом, чем о понятийном замысле.

проявляться и закрепляться различия социального статуса. Второй возможный ответ состоит в том, что ранний ориньяк — это тот период, когда «изобразительная техника» впервые могла быть использована для отражения нарождающихся социальных различий. Эти два объяснения, разумеется, не являются взаимоисключающими: возможно, что социальное разграничение увеличивалось параллельно развитию способов его выражения.

К СОЖАЛЕНИЮ, археологические данные — в особенности при отсутствии погребений — недостаточны для того, чтобы четко разграничить возможные варианты. Однако ясно, что ранний ориньяк характеризуется поразительными достижениями в развитии изобразительных прие-

мов. Ориньякские стоянки с обилием украшений содержат также самые ранние произведения искусства — гравированные и раскрашенные плитки из известняка, фигурки из бивня мамонта, рога и камня, украшенные загадочным образом.

Самые ранние графические изображения представляют собой воспроизведение природных форм или простые узоры, которые выглядят более абстрактными. Репрезентативные образы включают изображения животных, гравированные или нарисованные, а также гравировки, изображающие женские гениталии. Хотя многие археологи не согласны с подобной интерпретацией, она подтверждается двумя фаллическими изображениями: скульптурой из рога и гравировкой на известняке. Среди более абстрактных мотивов — орна-



АНТРОПОМОРФНАЯ ФИГУРКА, вероятно, изображающая женщину, была вырезана из бивня мамонта. Высотой всего лишь 5 см эта фигурка была найдена в Абри-Селье (Франция). Отчетливо видны голова и линия волос. Парные насечки обычны для ориньякских предметов; назначение их неизвестно.

менты, выполненные с помощью скрещенных штрихов, зазубрин, насечек и выдолбленных точек. Наличие подобных абстрактных изображений, найденных на многих стоянках на обширных территориях, свидетельствует, по-видимому, о существовании знаков и символов, общих для членов локальных социальных групп и появившихся, возможно, именно в ориньякском периоде.

Согласно моей гипотезе, даже самые абстрактные из орнаментов могут в действительности изображать природные объекты. Один из наиболее известных декорированных ориньякских предметов — пластинка из бивня мамонта, найденная в скальном навесе Абри-Бланшар на юго-западе Франции. На одной стороне пластинки нанесен орнамент из точек, представляющий, по мнению исследователя Александра Маршака, древнейший лунный календарь. Многие археологи не согласны с подобной интерпретацией отчасти потому, что в Абри-Бланшар и на соседних стоянках найдено много предметов с похожим орнаментом, не имеющих ничего общего с календарем. По-видимому, более обоснованным является предположение, что создатели этих предметов преследовали чисто эстетические цели, а не пытались выразить какие-либо понятия.

Насколько я знаю, никто и никогда не говорил о том, что пластинку из Абри-Бланшар можно рассматривать как несущую изображение. И все же находки на соседней стоянке — Абри-де-ла-Сукетт подтверждают такую возможность. В Абри-де-ла-Сукетт было найдено 5 подвесок из бивня мамонта, испещренных рядами точек. Рассматривая их, я был поражен сходством с тем типом узора, который я видел ранее на атлантических морских ракушках, найденных на той же стоянке. Фактически подвески были точными копиями ракушек, украшенных такими же рядами точек. Возможно, что многие, если не все, предметы с точечным орнаментом демонстрируют естественные узоры в новом контексте, где они становятся формой декора.

ПЕРЕНОС каких-либо особенностей из одного контекста в другой составляет существенную деталь метафорической конструкции. Еще один предмет из Абри-де-ла-Сукетт, кажется, характеризуется даже большей метафоричностью, чем указанные подвески. Этот предмет — расщепленный у основания наконечник копыа, сделанный из рога северного оленя. Такие наконечники часто встречаются на ориньякских стоянках, но именно этот претерпел любо-

пытную модификацию. Заостренный конец был сточен и затуплен, что придавало ему сходство с мордой животного. Необычайно аккуратная дырочка проделана в том месте, где мог находиться глаз. Расщепленное основание напоминало пару лап. В целом же наконечник весьма походит на тюленя.

Если моя интерпретация верна, то наконечник представляет собой материальный аналог, или метафору морского млекопитающего. Мы видим здесь перенос характерных признаков животного (морда, глаз, лапы) на предмет, первоначально несколько напоминавший животное (главным образом, основанием, похожим на лапы). Поразительно, что останки тюленя были обнаружены на другой раннеориньякской стоянке в каких-нибудь 100 м от места нахождения наконечника. Стоянка Ла-Сукетт расположена в 200 км от моря, и хотя известно, что тюлени могут плавать вверх по реке на большие расстояния, их появление наверняка вызывало у ориньякских людей огромное любопытство.

Наконечник «тюлень» представляет собой редкое исключение из инвентаря стоянок, обнаруженных во Франции. Относительно немногочисленные изображения животных почти всегда выгравированы на известняке и обычно сработаны столь грубо, что их трудно идентифицировать. В противоположность этому на трех раннеориньякских стоянках в ФРГ (Фогельхерд, Гайсенклостерль и Хохленштайн-Штадель) найдено около 20 статуэток из бивня мамонта, многие из которых украшены абстрактным узором. Среди них есть настолько хорошо и реалистично выполненные, что ученые предполагают существование более ранних прототипов, которые пока еще не обнаружены.

Тот, кто ищет прототипы, склонен придерживаться той точки зрения, что древнейшее искусство должно было быть простым и детски непосредственным. Археологические находки, относящиеся к ориньякскому периоду, подтверждают, что древнейший рисунок был именно таким. Однако скульптурные изображения того времени более реалистичны и выразительны. Возможно, изобразить животное в трех измерениях было легче, чем в двух. Прошли тысячелетия, прежде чем первобытные художники научились рисовать двумерные изображения, подобные тем, что обнаружены в пещере Ласко, которая была разрисована спустя 17 тыс. лет после появления первых верхнепалеолитических изображений.

Изучив некоторые из ключевых достижений ориньякского периода —

развитие способов обработки материалов, появление нателных украшений и изобразительных приемов, — неизбежно возникает вопрос, были ли связаны эти достижения между собой. Я думаю, что ответ должен быть положительным. В основе этих достижений лежит возросшая способность мыслить специфическими визуальными образами и включать их в систему коммуникации. Этим можно объяснить бурный технологический прогресс, характерный для ориньякского периода. По мнению Хайди Кнехт из Нью-Йоркского университета, способность создавать двух- и трехмерные изображения расширила «дизайнерские возможности», что в свою очередь стимулировало быстрый прогресс в изготовлении новых орудий и оружия.

Развитие пространственного и образного мышления привело к появлению нателных украшений. С их помощью люди могли выражать социальные различия, которые иначе не были бы заметны. Социально значимые категории индивидуумов не имеют явных физических коррелятов, если таковые не устанавливаются самими людьми. Абстрагируя метонимическим или метафорическим образом некоторые формальные свойства природных объектов и наделяя ими определенные категории людей, ориньякцы сумели установить градации социального статуса, а также отдельных человеческих общностей. Свидетельства таких градаций до ориньякского периода отсутствуют.

ЭТО приобретенное умение выделять отличительные признаки, а затем использовать их в другом контексте имело огромное значение. Человек научился придавать своим орудиям такие качества природных объектов, как «заостренный» или «колющий». Абстрагировав понятие «колющий», т. е. отделив его от природного контекста, ориньякские мастера сумели визуальным образом представить и найти альтернативные решения для создания особого типа наконечника копья с шипами у основания. Этот вид образного мышления сейчас столь распространен в нашем технологическом мире, что трудно представить, что он появился сравнительно недавно и является одним из революционных культурных достижений.

О том, насколько решающим было развитие образного мышления, свидетельствует работа Брука Хайндла, в течение многих лет занимавшегося изучением истории науки в Нью-Йоркском университете. В исследованиях, посвященных промышленной революции, Хайндл подчеркивает значение этого типа мышления. Он



НАКОНЕЧНИК КОПЬЯ С РАСЩЕПЛЕННЫМ ОСНОВАНИЕМ, возможно, изображает тюленя. Основание наконечника (верхний рисунок) похоже на лапы. Верхняя часть наконечника сточена и в том месте, где должен находиться глаз, проделано отверстие (нижний рисунок). Наконечник, изготовленный из рога северного оленя, обнаружен в Абри-де-ла-Сукетт, неподалеку от Сержака (юго-запад Франции). Интересно, что останки тюленя найдены на другой ориньякской стоянке, расположенной менее чем в 100 м от первой.

отмечает, что почти все великие изобретатели мыслили образами, и указывает на важность рисунка в создании технических новшеств. Возможно, не случайно, что первые изображения появились в один из величайших в истории периодов рождения технологических и социальных новшеств.

Все эти достижения в той или иной форме были связаны с языком. Чтобы стать основой для дальнейших социальных и технических изменений, образцы должны быть доступны всем и сделаться предметом коммуникации. Язык вполне мог существовать и до верхнего палеолита, вероятно, в какой-то конкретной форме, тесно связанной со спецификой объектов природы. Революционные достижения этого периода предполагают новшества и в способах коллективного усвоения образов и манипулирования ими. Хотя определенные типы нейронных «блоков», несомненно, могли служить основой для осуществления этих новшеств, возникновение изображений, основанных на образ-

ном мышлении, не должно рассматриваться как достижение некоего порога развития нервной системы человека. Напротив, это был, скорее, культурный переход, основанный на установлении общих принципов изображения.

Первая реализация этих возможностей была по меньшей мере столь же важной с эволюционной точки зрения, как и первое использование огня или каменных орудий и имела весьма глубокие последствия. В отличие от своих предшественников-неандертальцев, практически не продемонстрировавших важных технологических изобретений за более чем 100 тыс. лет своего существования, люди ориньякского периода сумели с поразительной быстротой реализовать массу возможностей социального, технологического и мифологического характера. В значительной степени то быстрое развитие, которое продолжается и сегодня, является несомненным следствием формирования и коллективного усвоения образов, а также манипулирования ими.

Синтетические цеолиты

За последние 30 лет произошло коренное обновление нефтяной промышленности, вызванное внедрением искусственно полученных природных пористых минералов, известных под названием цеолиты. Работы по синтезу новых, имеющих практическое значение цеолитов непрерывно расширяются

ДЖОРДЖ Т. КЕРР

В 1756 г. шведский минералог А. Кронштедт обнаружил, что некоторые минералы при нагревании начинают пузыриться и выделять пар, словно под своей твердой оболочкой они скрывают сосуд с кипятком. Ученый назвал эти минералы цеолитами, что в переводе с греческого означает «кипящие камни». С тех пор открыто около 40 природных минералов, относящихся к классу цеолитов.

В настоящее время из данных химического анализа и результатов структурных исследований известно, что «кипящие камни» представляют собой пористые кристаллы, состоящие главным образом из кремния, алюминия и кислорода, и при образовании в природе они захватывают многие другие элементы. Цеолиты пронизаны мельчайшими, невидимыми глазу каналами, в которых находится вода (закипающая при нагревании минералов), однако воду можно удалить, если сочетать нагревание со специальной обработкой, не разрушая их кристаллический каркас. После обезвоживания (дегидратации) цеолиты могут использоваться для разных целей, в частности они могут действовать как молекулярные сита, т. е. фильтровать смеси. В отличие от обычных фильтров кристаллики цеолитов поглощают молекулы сравнительно небольших размеров, а более крупные молекулы беспрепятственно проходят через них.

В начале 20-х годов необычные свойства цеолитов вызвали попытки синтеза этих минералов в лабораторных условиях. Многие из них оказались успешными, причем удалось даже получить цеолиты, которые по архитектуре каркаса не имели аналогов в природе. В настоящее время внедрение цеолитов в промышленность настолько возросло, что по масштабам производства они опережают большинство других кристаллических материалов.

Внедрение некоторых синтетических цеолитов вызвало подлинный

переворот в нефтяной промышленности, особенно при производстве бензина путем каталитического крекинга — расщепления крупных углеводородов, содержащихся в нефти. Сырую нефть сначала разгоняют на отдельные фракции, отличающиеся по температуре кипения. Легкокипящие фракции состоят из метана, пропана и бензина, в состав которого входят легкие углеводороды. Более высококипящие фракции содержат газойль и гудрон, их основу составляют тяжелые углеводороды. Газойль поступает затем на установки крекинга и из них получают так называемую бензиновую фракцию.

После замены катализаторов на цеолитные выход бензина вырос в среднем на 10—20%, улучшилось его качество, удалось снизить также температуру в реакторе и, следовательно, уменьшить энергетические затраты. Поэтому неудивительно, что специалисты продолжают работы по синтезу новых цеолитов с еще неизвестными свойствами, которые быстро найдут выход в практику.

СТРУКТУРНЫЕ различия цеолитов обусловлены строением их элементарной ячейки — гипотетического параллелепипеда из небольшой группы атомов, который сохраняет все основные физические и химические свойства кристалла. Атомы в элементарной ячейке соединены между собой в единый трехмерный каркас. Основным строительным блоком любого цеолитного каркаса является тетраэдр. Способ сочленения этих блоков между собой и определяет архитектуру цеолитного каркаса.

В четырех вершинах каждого тетраэдра расположены атомы кислорода, образующие друг с другом прочные связи. Центры тетраэдров заняты атомами кремния (Si) или алюминия (Al). Поскольку любая вершина принадлежит сразу двум тетраэдрам, каждый атом кремния или алюминия, находящийся внутри тетраэдра, свя-

зан через общие атомы кислорода с точно такими же атомами Si или Al в четырех соседних тетраэдрических ячейках. Согласно известному из кристаллохимии правилу Левенштейна, два соседних атома алюминия не могут соединяться друг с другом через общий атом кислорода, поэтому элементарная ячейка обычно содержит меньше или в крайнем случае столько же атомов алюминия, сколько кремния.

Перед тем как атом алюминия попадает в состав цеолитного каркаса, он должен отдать три электрона и стать ионом. Оказавшись затем в окружении атомов кислорода, алюминий стремится получить эти три утраченных электрона обратно. Однако ему приходится принять не три, а четыре электрона, потому что все четыре атома кислорода в тетраэдре находятся от него на одинаковом расстоянии. В результате алюминий приобретает лишний заряд и превращается в отрицательно заряженную частицу — анион. Избыточный отрицательный заряд на атоме алюминия должен быть скомпенсирован положительно заряженным ионом — катионом. Роль таких компенсирующих катионов играют ионы щелочноземельных элементов, обычно натрия (Na^+), калия (K^+) или кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}). Хотя эти катионы находятся вблизи от анионов, они несколько удалены от каркаса и расположены в каналах цеолитов, сечения которых у природных минералов изменяются примерно от 2,5 Å у содалита до 8 Å у фожазита.

Присутствие таких катионов в каналах придает цеолитам многие интересные свойства, в частности способность притягивать молекулы воды. Каждая молекула воды является электронейтральной, но полярной частицей, так как ее положительный и отрицательный заряды сдвинуты относительно друг друга в противоположных направлениях. Катионы не входят в состав каркаса и, подбирая благоприятные условия, их можно обме-

нять на другие катионы, не изменяя при этом строение самого кристалла.

ВОЗМОЖНО, раньше всего было отмечено такое представляющее практический интерес свойство цеолитов, как их большая ионообменная емкость. Реакции ионного обмена на цеолитах были открыты в середине 50-х годов прошлого века и тогда же их начали использовать для смягчения воды. Вода, содержащая много ионов кальция и магния, является жесткой и, когда в такую воду добавляют мыло, мыльная пена не образуется. Если же жесткую воду пропустить через слой цеолитов, в состав которых входят катионы натрия, то цеолиты вступают в реакцию обмена и за каждый поглощаемый ион кальция или магния они выделяют в раствор два катиона натрия. (Поскольку даже слегка подкисленная водопроводная вода вымывает атомы алюминия из цеолитного каркаса, вместо цеолитов для смягчения воды стали использовать другие, более кислотостойкие ионообменники.) В наши дни интерес к ионообменным свойствам цеолитов вновь возрос в связи с тем, что природный цеолит клиноптилолит, как оказалось, очень хорошо очищает от радиоактивных элементов жидкие отходы атомной промышленности.

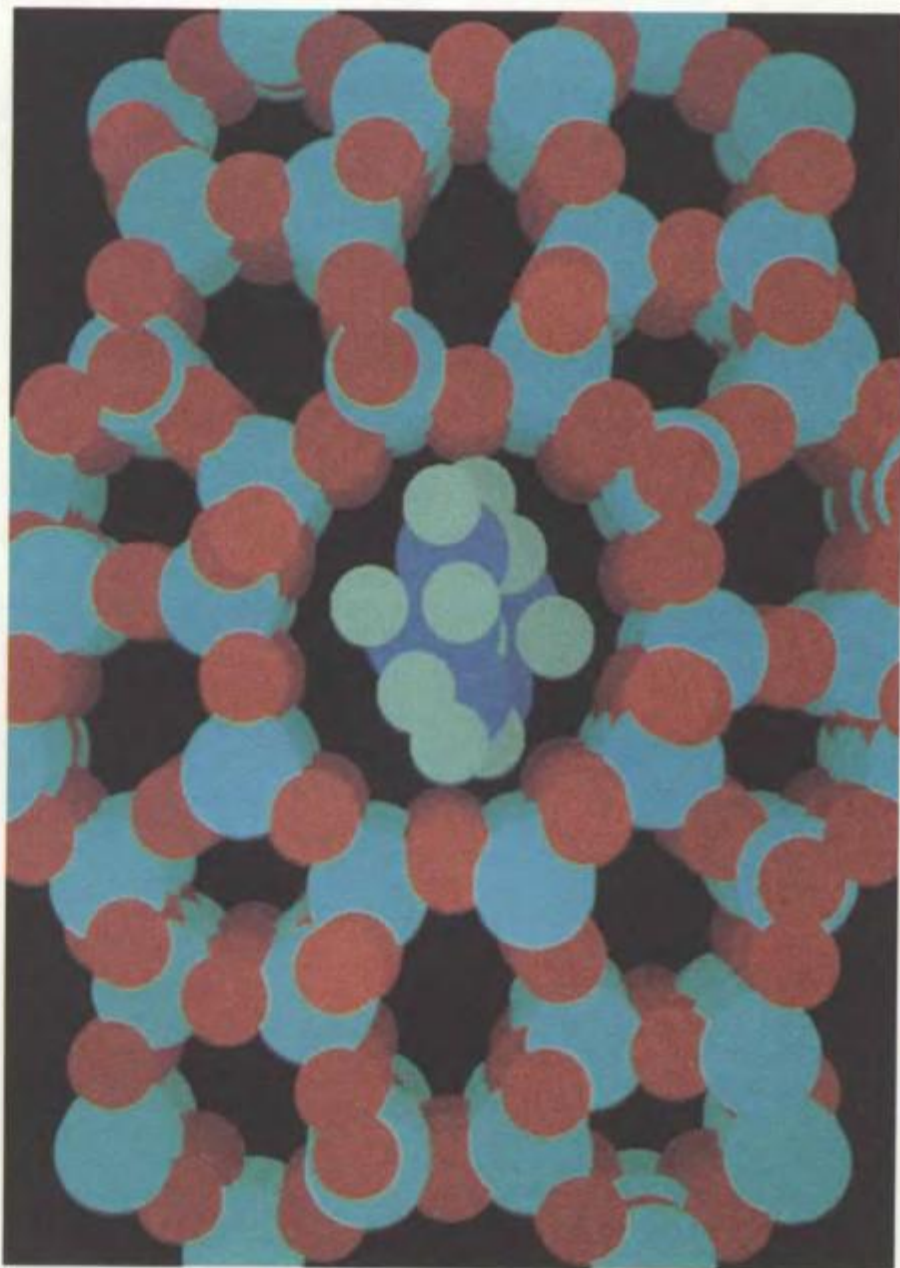
В 1932 г. Дж. Макбен из Станфордского университета обратил внимание еще на одно интересное свойство цеолитов — их способность разделять смеси на отдельные компоненты. Он показал, что цеолит шабазит адсорбирует, т. е. поглощает и удерживает в своих каналах пары таких сравнительно небольших молекул, как вода, муравьиная кислота, а также метиловый и этиловый спирты. В то же время более крупные молекулы, такие как ацетон, эфир и бензол, в каналы цеолита не проникают. Макбен установил, что причина такой избирательности объясняется тем, что крупные молекулы не могут пройти через «входные окна» в узкие каналы шабазита, и ввел термин «молекулярные сита». Шабазит стал применяться как очень эффективный адсорбент для улавливания диоксида серы — газа, который выбрасывается в атмосферу с промышленными отходами.

В последующие годы были выявлены и другие области применения природных цеолитов, в частности при осушке газов и жидкостей. Оказалось, что если из цеолитов удалить воду, то они начинают энергично поглощать воду и другие полярные жидкости из газовых или жидких смесей. Однако за последние 50 лет природные цеолиты использовались меньше чем синтетические, поскольку считалось, что

они мало распространены. В настоящее время установлено, что некоторые цеолиты встречаются в природе в больших количествах, поэтому интерес к ним снова возрос.

Первые, наиболее значительные ис-

следования синтетических цеолитов провел Р. Баррер в Лондонском королевском колледже. В результате работ Баррера в конце 30-х годов были получены некоторые цеолиты, структура которых соответствовала при-



МОДЕЛЬ кристаллической структуры цеолита ZSM-5. Наглядное представление о пористости цеолитных кристаллов, образованной системой микроскопических каналов дает изображение молекулы углеводорода пара-ксилола (серые и голубые шарики) в одном из каналов цеолита. Примером использования ZSM-5 в качестве катализатора на молекулярных ситах является каталитическое превращение толуола (одного из побочных продуктов нефтепереработки) в более ценные соединения — пара-ксилол и бензол. Попадая внутрь кристаллов цеолита, молекулы толуола дают несколько продуктов, но диффундировать сквозь систему каналов и выйти из кристаллов могут только небольшие по размеру молекулы бензола и пара-ксилола. Остальные продукты остаются в каналах до тех пор, пока не превратятся в соединения с молекулами меньшего размера. Красные шарики — атомы кислорода, зеленые — атомы алюминия и кремния. Катионы (положительно заряженные ионы) играют важную роль в каталитических превращениях, но на рисунке они не показаны. Изображение получено с помощью программы Chem-X, разработанной и распространяемой фирмой Chemical Design Ltd. (Оксфорд, Англия).

родным минералам, и несколько образцов с неизвестным в природе строением каркаса.

НОВЫЕ ЦЕОЛИТЫ, синтезированные Баррером, не нашли прямого применения в промышленности, однако его работы вызвали интерес у сотрудников отдела синтеза адсорбентов (Linde Division) компании Union Carbide. Начиная с 1948 г. эта группа выполнила серию исследований и за короткий срок буквально перевернула все привычные представления о синтезе цеолитов. В те годы эта компания вела работы по криогенному разделению компонентов воздуха и Р. Мильтон вместе с Д. Бреком (ныне покойным) попытались с помощью цеолитов повысить эффективность разделения воздуха (См. D.W. Breck, J.V. Smith. Molecular Sieves, "Scientific American", January, 1959).

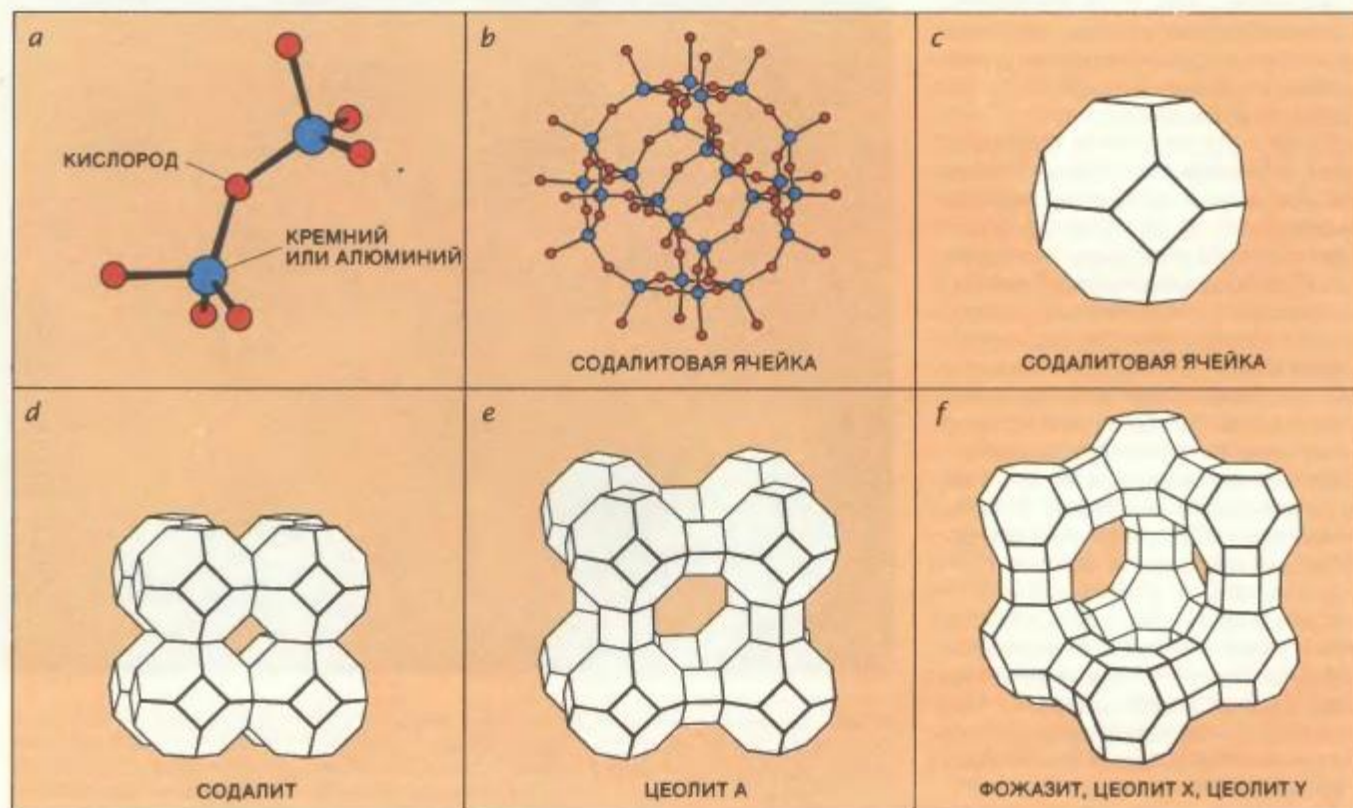
Они отошли от экспериментального подхода Баррера, который использовал реакционные смеси и условия синтеза, моделирующие процессы образования природных цеолитов, ко-

торые протекают только при повышенных давлениях воды и температурах около 100 °С или выше. Месторождения цеолитов обычно находятся вблизи вулканов — там, где существует благоприятный тепловой режим и в изобилии имеются кремний, алюминий и кислород в форме оксидов алюминия (Al_2O_3) и кремния (SiO_2). Минералы, состоящие из таких оксидов, подвергаются воздействию сильно щелочных ($pH > 9$) растворов. Поверхностные воды с такой средой образуются, когда дождевая вода вымывает из горных пород щелочные или щелочноземельные металлы. Через некоторое время из кремнезема, оксидов алюминия, катионов щелочных и щелочноземельных элементов образуются кристаллы цеолитов. Поэтому Баррер нагревал алюмосиликатные смеси до высоких температур (около 400 °С) при повышенных давлениях. В ходе опытов цеолиты действительно кристаллизовались, но для разделения воздуха они были непригодны, поскольку каналы внутри кристаллов были

слишком узки. Тогда группа, возглавляемая Мильтоном и Бреком, попыталась получить цеолиты с более широкими каналами путем небольших изменений состава исходной реакционной смеси и снижения рабочих температур и давления.

В то время, как и сейчас, основные приемы изменения структуры и состава цеолитов были связаны с использованием исходных смесей различного состава и варьированием температуры и давления. Воспроизвести готовые методики обычно довольно легко, но если изменить параметры, то заранее предсказать результат синтеза будет практически невозможно. Тем не менее Мильтону и Бреку удалось получить цеолит с новой структурой, который впоследствии нашел широкое применение. Свой продукт они назвали цеолитом А.

Цеолит А, который содержал только катионы Na (натриевая форма), сначала не мог быть использован для эффективного разделения компонентов воздуха, поскольку входы в каналы цеолита блокировали крупные ка-



ОСНОВНЫМИ строительными блоками цеолитного каркаса являются тетраэдры. В некоторых цеолитах тетраэдры объединены в многогранники, известные под названием «содалитовые ячейки». Четыре вершины каждого тетраэдра заняты атомами кислорода (светло-коричневые), а в центре тетраэдра расположены атомы кремния или алюминия (синие) (а); каждый атом кислорода принадлежит одновременно двум тетраэдрам. На графических моделях цеолитов необходимо наглядно показать содалитовую ячейку (b), состоящую из 24 тетраэдров, или другие много-

гранники, поэтому вместо изображения всех атомов обычно строят многогранники (с). Ребра многогранников представляют собой отрезки прямых, соединяющих центры двух соседних тетраэдров. В середине этих отрезков находятся атомы кислорода, а в вершинах многогранников — атомы кремния или алюминия. На рисунке показаны цеолиты, основу структуры которых составляют содалитовые ячейки: содалит (d), синтетический цеолит А (e), семейство цеолитов X и Y со структурой минерала фожазита (f).

тионы натрия. Когда эти катионы были заменены на катионы кальция, что вдвое уменьшило общее число катионов, потому что вхождение одного иона Ca^{2+} сопровождается удалением из цеолита двух ионов Na^+ , стало возможным разделение азота и кислорода воздуха. Было установлено также, что кальциевая форма цеолита А прекрасно очищает бензин от примесей некоторых углеводородов.

Бензиновая фракция, выделяемая из сырой нефти путем перегонки, содержит множество углеводородов, молекулы которых близки между собой по размеру, но заметно различаются по форме. Одни молекулы представляют собой линейные (неразветвленные) цепочки, другие — разветвленные цепочки атомов, а третьи свернуты в кольцо (циклические соединения). Форма молекул углеводородов очень сильно влияет на качество бензина. При сгорании неразветвленных углеводородов давление в двигателе возрастает резкими скачками, создается ударная волна, мотор «стучит» и работа двигателя становится неровной. Кальциевая форма цеолита А селективно адсорбирует неразветвленные углеводороды, что значительно улучшает свойства бензина.

Новый цеолит А прошел промышленные испытания еще в середине 50-х годов и его до сих пор продолжают использовать для разделения компонентов воздуха и повышения качества бензина. Удачными оказались и попытки применить цеолит А в качестве осушителя, например для удаления воды из рабочей среды гидравлических тормозных систем грузовиков и автобусов.

Примерно в то же время, когда сотрудники компании Union Carbide создали цеолит А, им удалось синтезировать цеолит Х, который стал первым цеолитом, внедренным в промышленность в качестве катализатора. По структуре он не отличается от редкого природного минерала фожазита, хотя имел иное соотношение кремния к алюминию; его кристаллизация, как и цеолита А, протекала только в среде с катионами натрия.

СНАЧАЛА казалось, что для цеолита Х нет ясных перспектив практического применения, однако, когда в компании Union Carbide была создана большая партия цеолита, многие исследователи получили возможность изучить его свойства. Один из образцов попал к Р. Шисслеру из Mobil Research Development Corporation. Он провел эксперименты не только по исследованию свойств цеолита Х, но и занялся глубоким изучением цеолитов различных типов.

Шисслер считал, что сотрудникам компании Mobil удастся синтезировать образцы с новым составом и пока еще не известной структурой, которые затем можно будет использовать при получении бензина из нефти.

Эта цель казалась вполне выполнимой, поскольку тогда крекинг нефтяных фракций для получения бензина проводили на катализаторах, которые, как и цеолиты, состоят из кремния, алюминия и кислорода и в виде примесей содержат натрий, однако в отличие от цеолитов традиционные катализаторы были аморфными.

Я стал сотрудником компании Mobil в 1956 г. и вскоре мы вместе с Э. Росинским приступили к созданию нового цеолитного катализатора крекинга. Свой выбор мы остановили на цеолите Х, поскольку широкие полости этого цеолита доступны для молекул углеводородов в нефтяном сырье. Прежде всего перед нами встала проблема перевода каталитически инертной Na-формы цеолита в активный катализатор. Вначале мы обратились к опыту наших предшественников, которые всегда обрабатывали аморфные катализаторы растворами, содержащими соединения алюминия, т. е. обменивали катионы натрия на ионы алюминия (Al^{3+}). Если катионы натрия не удалить с поверхности катализатора, они «отравят» активные центры, другими словами, помешают катализатору эффективно расщеплять углеводороды. В результате обмена аморфная натриевая соль превращается в твердую кислоту, способную поставлять ионы водорода (H^+) или изолированные протоны. Мы до сих пор точно не знаем, как протоны взаимодействуют с молекулами углеводородов нефтяного сырья и способствуют их расщеплению. Однако нет никакого сомнения, что активность катализаторов в крекинге зависит от их кислотности. [Образование протонных центров на поверхности катализатора происходит, по видимому, за счет того, что ионы алюминия извлекают из нефтяного сырья воду, расщепляют молекулы воды (H_2O) и присоединяют к себе гидроксильные группы (OH^-).]

Вопреки нашим ожиданиям обработка Na-формы цеолита Х солями алюминия положительного эффекта не дала, поскольку соединения алюминия осаждались прямо в полостях цеолита и перекрывали их. Позднее за проблему создания цеолитов, содержащих на поверхности активные центры кислотного типа, взялись сотрудники нашей компании Ж. Бурже и Ф. Харт. Когда мы обсуждали вопрос о том, какие другие трехзарядные катионы можно «посадить» в це-

олит, я вспомнил, что катионы натрия в цеолите Х можно обменивать на ионы редкоземельного элемента церия (Ce).

Харт провел такие эксперименты, хотя оказалось, что при фасовке реактивов этикеткой для церия пометили смесь редкоземельных элементов. Но это не повлияло на результаты, потому что основную цель — создать активный катализатор — ему достигнуть удалось. Первый образец катализатора мало было назвать просто активным, он оказался чрезмерно активным. На его поверхности углеводороды расщеплялись настолько быстро, что вместо бензина в продуктах реакции были лишь метан и другие легкие углеводороды.

Э. Росинский и Ч. Планк из этой же компании начали искать выход и попытались снизить каталитическую активность до приемлемого уровня, обрабатывая катализатор водяным паром. (Непродолжительная тепловая обработка при невысоких температурах повышает каталитическую активность, но интенсивное воздействие водяного пара дезактивирует катализатор.) Уже в 1962 г. наша группа разработала новый цеолитсодержащий катализатор, предназначенный для крекинга газойлевой фракции нефти — Durabead-5, который оказался более эффективным катализатором при получении бензина, чем обычный аморфный алюмосиликат.

Полностью объяснить даже сейчас, почему Durabead-5 оказался таким хорошим катализатором, пока еще невозможно, хотя есть несколько гипотез. Можно предположить, например, что благодаря системе регулярных каналов в этом цеолите образуется гораздо большая внутренняя поверхность, чем у обычных катализаторов, на которой поверхностные протонные центры взаимодействуют с углеводородами нефтяного сырья.

Разработка катализаторов Durabead-5 стала важным достижением, но его эксплуатация на промышленных установках продолжалась только до 1964 г. В конце 50-х годов Д. Брек синтезировал цеолит Y из того же семейства фожазитов, что и цеолит Х, но с более высоким (от 1,5 до 3) отношением кремния к алюминию. Когда специалисты компании Mobil разработали метод замещения ионов натрия на редкие земли, редкоземельная форма цеолита Y быстро вытеснила цеолит Х. Цеолит Y, содержащий больше кремния и меньше алюминия, отличался повышенной стабильностью. Это связано с тем, что места в каркасе цеолита, занятые алюминиевыми тетраэдрами, являются слабыми звеньями и в условиях высоких тем-

ператур или в атмосфере водяного пара первыми разрушают связи, скрепляющие ионы алюминия с каркасом.

В 70-х годах свое место пришлось уступить и редкоземельной форме цеолита Y. Основу нового катализатора составлял все тот же каркас цеолита Y, но его удалось модифицировать так, что он оказался более эффективным катализатором, чем редкоземельная форма. Он и сейчас успешно конкурирует с другими катализаторами, поскольку для него характерны значительно более высокие термостабильность и устойчивость к действию перегретого водяного пара.

Успех в разработке этого ультра-

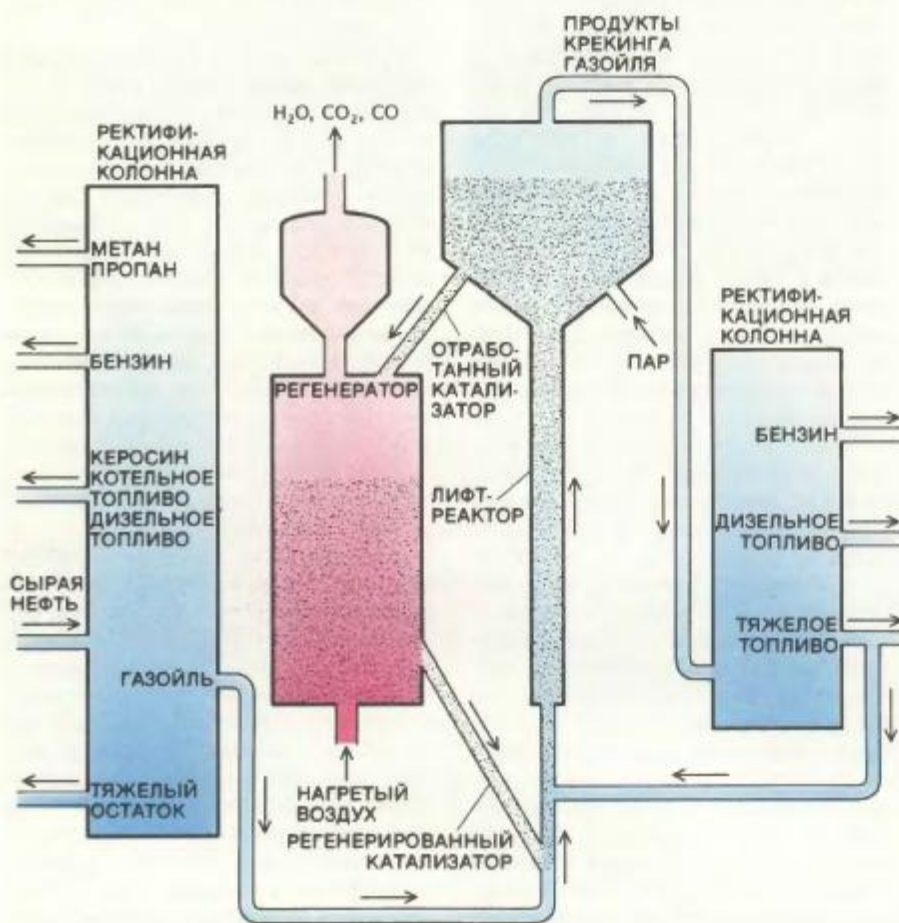
стабильного цеолита связан с тем, что изменять структуру цеолита можно не только при синтезе, но и при термической обработке уже сформированных кристаллов. Чтобы инертную натриевую форму цеолита перевести в активную водородную форму, катионы натрия вначале замещают на ионы аммония (NH_4^+), а затем нагревают полученную при обмене NH_4 -форму. При термообработке ионы NH_4^+ распадаются, образующийся газообразный аммиак удаляется из цеолита, а на месте ионов аммония остаются ионы водорода. В середине 60-х годов мною было установлено, что в ходе термообработки во-

дородной формы определенное количество ионов водорода удаляется с поверхности цеолита, а вслед за ними покидает каркас точно такое же число ионов алюминия. Оказавшись вне каркаса, каждый ион алюминия изменяет свою координацию с соседними атомами и попадает в окружение восьми атомов кислорода, образуя октаэдрический катион.

Изменение конфигурации ионов алюминия приносит сразу двойную пользу. Во-первых, находясь в окружении из восьми атомов кислорода, ионы алюминия становятся значительно более устойчивыми к действию высоких температур и паров воды. Во-вторых, каждый ион алюминия, оказавшийся вне каркаса, тем не менее образует с ним новые связи и при этом действует как трехзарядный катион. В результате потеря активных центров, вызванная удалением активных протонов, компенсируется присоединением ионов алюминия. Таким образом, в ультрастабильных цеолитах катионы алюминия выполняют те же функции каталитически активных центров, что и в аморфных катализаторах; в цеолитах X и Y такую же роль играют редкоземельные ионы.

В КОНЦЕ 50-х годов группа наших сотрудников начала эксперименты, которые в середине 60-х годов завершились выпуском партии других промышленных цеолитов, названных ZSM-5 (вторая и третья буквы этой марки соответствовали части названия фирмы — Socony Mobil). Эти цеолиты имеют разные области применения и недавно приобрели особое значение благодаря способности превращать метанол в бензин.

Получение цеолитов ZSM-5 стало кульминацией в серии открытий, связанных с попытками нашей группы синтезировать цеолиты из смесей, содержащих не ионы щелочных металлов, а так называемые четвертичные аммониевые катионы. Под этим названием скрываются обычные аммониевые ионы, у которых все четыре атома водорода замещены на органические группы. Их источником служат гидроксиды четвертичного аммония или другие ионы, содержащие гидроксильные группы. Растворы этих органических соединений, как и растворы гидроксидов натрия и калия, дают сильную щелочную реакцию. Остановив свой выбор на органических ионах, я думал прежде всего о том, что присутствие крупных катионов в исходной реакционной смеси может способствовать кристаллизации цеолитов с совершенно новой кристаллической структурой.



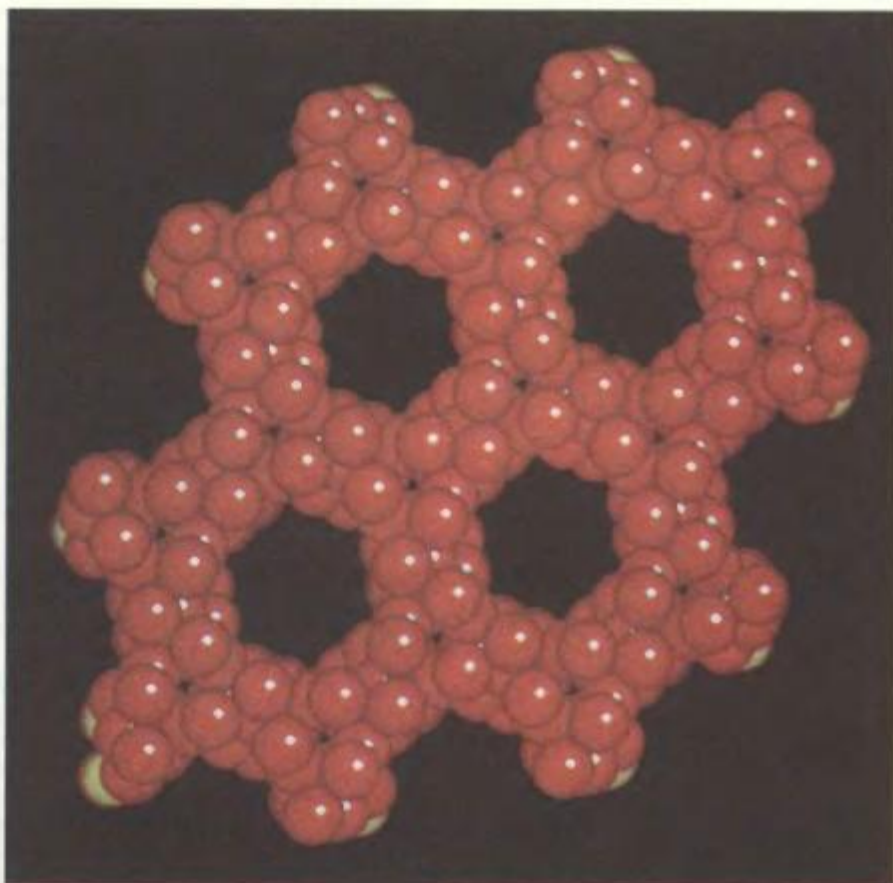
КАТАЛИТИЧЕСКИЙ КРЕКИНГ, или расщепление углеводородов, на кристаллах цеолитов используется для получения бензина и других продуктов из нефти. На установки каталитического крекинга подаются продукты первичной перегонки нефти, содержащие целую гамму углеводородов — от небольших по размеру молекул типа метана до очень крупных, таких как асфальтены. Все эти углеводороды перерабатываются с целью получения бензинов. Вначале газойлевую фракцию нефти смешивают с нагретыми частичками катализатора (точки), в состав которого входит цеолит Y. Сырье испаряется и в виде пара вместе с катализатором поступает в так называемый лифт-реактор, где и происходит процесс крекинга молекул, диффундирующих в поры цеолита. После выхода из реактора пары подаются на ректификационную колонку для разделения продуктов на отдельные фракции, различающиеся размером молекул углеводородов: сравнительно мелкие молекулы составляют бензиновую фракцию, более крупные дают компоненты дизельного топлива и тяжелых остатков; часть из этих тяжелых продуктов подается на рециркуляцию. На рециркуляцию поступают и частички катализатора. Их прежде всего обрабатывают водяным паром и отделяют от адсорбированных углеводородов, а затем направляют в регенератор, чтобы выжечь углеродные отложения, образовавшиеся на их поверхности при крекинге, — так называемый кокс.

Мы начали с иона тетраметиламмония (ТМА) и получили цеолит, оказавшийся, по данным сотрудника компании Mobil Дж. Кокотайло, структурным аналогом цеолита А, но с меньшей элементарной ячейкой и более высоким отношением содержания кремния к алюминию. Поскольку и моя фамилия, и фамилия Кокотайло начинается с буквы К, мы ввели эту букву в обозначение цеолита и назвали его ZK-4. (Приблизительно в то же время Баррер и его ученик П. Денни синтезировали цеолит с аналогичной структурой из смеси, содержащей тот же катион.) Убедившись, что путь к синтезу новых цеолитов выбран правильно, мы ввели в реакционную смесь другой более сложный четвертичный аммониевый ион и добились успеха, действительно получив цеолит с совершенно новой структурой: ZK-5.

В дальнейшем совместно с Росинским и Р. Уолдингером мы попытались использовать для синтеза ион тетраэтиламмония (ТЭА). Состав нового цеолита, названного цеолитом бета, удивил нас: отношение содержания кремния к алюминию изменялось у него в пределах от 15 до 50, тогда как у считавшегося до сих пор самым высококремнеземным цеолитом морденита, оно никогда не превышало 5,5. Поразило нас и еще одно свойство нового цеолита. В отличие от природных цеолитов и известных тогда синтетических цеолитов полученный нами кристаллический материал плохо адсорбировал воду (такие материалы называют гидрофобными: их поверхность не притягивает, а отталкивает молекулы воды).

Через несколько лет, уже в 1976 г., сотрудник нашей компании Н. Чен обнаружил, что между двумя необычными свойствами нового цеолита существует связь. Он показал, что гидрофобность любого цеолита увеличивается по мере того, как растет отношение кремния к алюминию в их каркасе и, следовательно, снижается содержание ионов алюминия и катионов натрия, способных притягивать молекулы воды. Расшифровка структуры самого цеолита бета, у которого не было природных аналогов, оказалась довольно сложной задачей, решить которую удалось только в последние годы.

В 1963 г. Дж. Лендолт, с которым нас связывала многолетняя работа, и еще один сотрудник компании Mobil Р. Аргауэр решили узнать, можно ли еще больше увеличить отношение кремния к алюминию, чтобы получить сверхвысококремнеземный цеолит. Они ввели в реакционную смесь четвертичный аммониевый ион, который в 3 раза крупнее иона ТМА и



МОДЕЛЬ VPI-5 — нового кристаллического материала. По структуре он близок к цеолитам, но содержание кремния в его каркасе очень мало, основу каркаса составляют атомы фосфора, алюминия и кислорода. На этой модели четко видны атомы кислорода (красные). Кристаллы алюмофосфата VPI-5 пронизаны системой каналов сечением около 12—13 Å. Такие широкие каналы, пока не обнаруженные ни у одного из известных природных или синтетических цеолитов, доступны для довольно крупных молекул углеводородов. Возможно, катализаторы на основе алюмофосфата VPI-5 со временем найдут применение на установках крекинга при переработке нефтяных фракций, более тяжелых, чем газойль. Изображение получено М. Дейвисом из Политехнического института и Университета шт. Виргиния — руководителем группы, в которой впервые синтезированы кристаллы VPI-5.

добились успеха. Новый цеолит получил обозначение ZSM-5. Используемый при синтезе органический ион тетра-*n*-пропиламиния (ТПА) имел большие размеры и именно поэтому сразу был получен высококремнеземный каркас. В небольшом объеме узких каналов цеолитов может разместиться только ограниченное число катионов, поэтому чем крупнее размер катиона, тем меньше их может оказаться внутри каналов в момент зарождения каркаса. Соответственно меньшее число ионов алюминия необходимо ввести в этот каркас, чтобы скомпенсировать избыточный заряд катионов, и продукт синтеза будет высококремнеземным.

Прошло еще несколько лет и два сотрудника компании Mobil Ф. Дуайер и Э. Дженкинс продвинулись еще дальше в экспериментах по синтезу сверхвысококремнеземных цеолитов. В синтезированном ими образце цеоли-

та ZSM-5 содержание алюминия находилось уже на уровне примесей. При тщательном химическом анализе образца было установлено, что на 99,99% он состоит из чистого кремнезема. Такие пористые кремнеземы могут найти применение для очистки воды от примесей углеводородов.

НА ПЕРВЫЙ взгляд может показаться, что цеолиты типа ZSM-5 содержат настолько мало алюминия и обменных катионов, что их нельзя применять в качестве катализаторов. Сотрудники компании Mobil Д. Олсон, Р. Лаго и В. Хааг показали, что для водородной формы цеолита ZSM-5 (которая аналогична водородной форме цеолита Y, описанной выше) каталитическая активность уменьшается прямопропорционально снижению весового содержания алюминия в каркасе. Такая связь активности с концентрацией алюминия, очевидно,

объясняется тем, что число ионов водорода, или плотность протонных центров, в цеолите зависит от присутствия ионов алюминия в каркасе.

Вместе с О. Лаго, Хаагом и другими сотрудниками компании Mobil (Р. Миковским, Хельрингом и К. Шлиттом) мы разработали способы получения на основе цеолита ZSM-5 необычайно активных катализаторов. Один из них — мягкая обработка водородной формы водяным паром, после которой на поверхности цеолита появляются центры, в 45—75 раз более активные при катализе, чем обычные протонные центры.

Конечно, цеолиты семейства ZSM-5, прошедшие термодаровую обработку, явно непригодны для каталитического крекинга нефтяного сырья: их узкие эллипсоидные каналы недоступны для крупных молекул углеводородов, составляющих основу газойлевой фракции нефти; размеры большой и малой осей эллиптического сечения каналов цеолита ZSM-5 составляют всего соответственно 5,6 и 5,4 Å. Однако в каналы с такими размерами могут беспрепятственно проникать углеводороды с более мелкими молекулами, например циклические соединения. Если, например, толуол — побочный продукт нефтепереработки — пропускать через цеолиты ZSM-5, то в результате несложных превращений из двух молекул толуола образуется молекула бензола и молекула *пара*-ксилола. Оба эти углеводорода представляют собой более ценные продукты, чем ксилол. Бензол широко используется в качестве универсального растворителя красок, лаков и осветлителей, а из *пара*-ксилола получают терефталевую кислоту — исходное сырье для производства многих синтетических материалов.

Необычайно высокое содержание чистого *пара*-ксилола в продуктах превращения толуола характерно для катализа на молекулярных ситах, как впервые показали в 1961 г. два сотрудника компании Mobil В. Фрилетт и П. Вайс. При этом состав продуктов превращений в значительной степени зависит от размера или формы входных отверстий каналов. Молекулы толуола, которые достаточно малы, пропускают при температуре 520 °С через слой гранул цеолита ZSM-5, помещенный в реактор. Молекулы толуола проникают в каналы цеолита и подвергаются там каталитическому превращению с образованием бензола и всех трех изомеров ксилола (диметилбензолов).

Как бензол, так и *пара*-ксилол быстро покидают каналы цеолитов, но два других изомера ксилола (*орто* и *мета*-ксилолы), имеющие более

сложное строение, продвигаются значительно медленнее и во время «задержки» в пути успевают еще раз вступить в реакцию и превратиться в более подвижные *пара*-изомеры, которые затем очень быстро выходят из каналов. Теперь понятно, почему каталитические реакции в присутствии цеолита ZSM-5 протекают селективно, а среди ксилолов, диффундирующих из каналов цеолита, преобладают *пара*-изомеры.

Как цеолиты семейства ZSM-5 с высокой селективностью превращают метанол в бензин? Этот вопрос интересует химиков прежде всего в таких странах, которые, подобно Новой Зеландии, лишены собственных месторождений нефти, но располагают большими запасами метана (CH_4) — основного компонента природного газа, легко перерабатываемого в метанол (CH_3OH). При осуществлении этого процесса метанол разлагают до диметилового эфира и воды, затем эфир пропускают через катализатор, где происходят более глубокие превращения; в результате образуются вода и сложная смесь углеводородов. Принцип отсеивания углеводородов по размеру их молекул и здесь остается в силе. Небольшие молекулы, а они являются наиболее ценными компонентами бензина, диффундируют из каналов цеолита. Крупные молекулы удерживаются внутри каналов до тех пор, пока не превратятся в меньшие.

ПОСЛЕ ТОГО КАК были получены цеолиты ZSM-5, работы по синтезу, конечно, не прекратились. Однако наиболее интересные достижения в этой области связаны с синтезом материалов, которые, строго говоря, вообще не являются цеолитами. Согласно классическому определению, цеолиты представляют собой водные каркасные алюмосиликаты, а здесь речь идет о соединениях, основу которых составляет не кремний, а фосфор. Некоторые исследователи продолжают называть новые материалы цеолитами, поскольку они, как и цеолиты, пронизаны регулярной сеткой каналов. Некоторые из них по структуре и адсорбционным свойствам действительно очень напоминают цеолиты.

В последнее время появились методы, позволяющие создать цеолитоподобные структуры и из соединений другого состава. Хотя все эти материалы не вышли пока за порог химических лабораторий, не исключено, что в будущем они легко найдут выход в промышленность. Их пористые кристаллы смогут стать основой для приготовления катализаторов, молекулярных сит, адсорбентов или ионообменников в тех процессах, где цеолиты применять неэффективно.

Например, М. Дейвис и его сотрудники из Политехнического института и Университета шт. Виргиния синтезировали цеолитоподобный кристаллический алюмофосфат VPI-5 с каналами, диаметр которых составляет около 12—13 Å. Столь широкие каналы до сих пор не обнаружены ни у синтетических, ни у природных цеолитов и можно предположить, что вскоре подобные кристаллические материалы потеснят на некоторых установках каталитического крекинга цеолиты Y. С внедрением широкопористых алюмофосфатов появится возможность подвергать крекингу крупные молекулы углеводородов и тем самым повысить эффективность переработки нефтяного сырья в бензин.

Что же ждет специалистов в будущем? Вероятно, возможности создания «цеолитов» из чистых алюмофосфатов или их производных еще далеко не исчерпаны. Но к синтезу пористых структур нового типа могут привести и другие подходы. Так, совсем недавно ряду исследователей удалось синтезировать цеолиты не из обычных водных растворов неорганических соединений, а в среде органических неводных растворителей.

Надо признать, что теоретические основы синтеза пористых кристаллов пока не разработаны и химики еще лишены возможности целенаправленно вести синтез материалов с заранее заданной структурой, регулируя соотношение исходных компонентов, а также температуру и давление. Пока эти основы не будут заложены, синтетики будут продвигаться вперед путем подбора экспериментальных условий. До сих пор этот путь приносил ощутимую пользу промышленности.

Наука и общество

Молекулярная археология

В ОСНОВЕ эволюции человека лежат события на молекулярном уровне. Естественно поэтому, что в

эволюционных исследованиях большое внимание уделяется молекулам. Однако до недавнего времени археологи были разочарованы тем, что для непосредственного изучения доступна

ДНК только современного человека. О ДНК людей прежних поколений можно судить лишь путем экстраполяции и умозаключений. Но теперь в распоряжении исследователей имеется метод, основанный на цепной полимеразной реакции (ЦПР), который позволяет определять нуклеотидные последовательности древних ДНК и напрямую сравнивать их с современными. В числе первых успехов, достигнутых с помощью этого метода, — установление последовательности ДНК из мозга ископаемого человека возрастом 7000 лет. Эти данные по-новому освещают проблему заселения Америки.

Широкие возможности метода ЦПР вытекают из того, что он включает многократную амплификацию, т. е. копирование, сегментов цепи ДНК. Коль скоро ДНК амплифицирована, информация, заключенная в ее нуклеотидной последовательности, может быть проанализирована существующими хорошо разработанными методами. Последовательности ДНК, прежде недоступные для изучения, — скажем, редкие или дефектные — могут быть получены в необходимом для исследования количестве. Метод ЦПР произвел революцию в ряде областей, и археология — только одна из них.

В археологии метод ЦПР позволяет преодолеть ту трудность, что клонирование генов в случае древних ДНК плохо удается. Известно, что живые ткани, в том числе человеческие, сохраняются в музейных образцах, мумиях и экземплярах, замерзших во льду. Но во всех тканях, сохранившихся этими способами, процессы деградации приводят к расщеплению длинных молекул ДНК на мелкие куски и повреждению ее иными путями, так что обычные методы исследования ДНК оказываются бессильными. Метод же ЦПР «работает» и в отношении коротких фрагментов интактной ДНК в составе более длинных поврежденных молекул.

С. Пэббо из Калифорнийского университета в Беркли использовал преимущество метода ЦПР для исследования ДНК из останков человека, обнаруженных в болоте Литтл-Солт-Спринг на юго-востоке шт. Флорида. Возраст находки оценивается радиоуглеродным методом в 7000 лет, т. е. этот человек жил в период предистории коренного населения Америки, называемый средней арханкой. Благодаря анаэробным и нейтральным условиям в болоте сохранился весь мозг, хотя в несколько сморщенном виде.

Пэббо анализировал ДНК митохондрий — органелл, обеспечиваю-

щих клетку энергией. Митохондрии наследуются только по материнской линии, поскольку достаются новому организму от яйцеклетки, а не от сперматозоида, так что в митохондриальной ДНК содержатся гены только материнского происхождения. В силу того что в митохондриальных генах высокая частота мутаций, они служат весьма ценным объектом для выяснения человеческой предистории, которая охватывает короткий по эволюционным масштабам отрезок времени. (Коллега Пэббо А. Уилсон анализировал современные митохондриальные ДНК и пришел к выводу, что все ныне живущие люди являются потомками одной женщины, жившей в Африке примерно 200 тыс. лет назад.)

Установление нуклеотидной последовательности ДНК из находки в болоте Литтл-Солт-Спринг в итоге поможет антропологам точнее оценить численность первых поселенцев Американского континента. До сих пор считалось, что первоначальная миграция из Азии на Аляску была очень небольшой; эта точка зрения поддерживалась тем фактом, что у современного коренного населения Америки были известны всего лишь три линии митохондриальной ДНК. Пэббо с сотрудниками обнаружили, что в митохондриальной ДНК из мозговой ткани литтл-солт-спрингского человека имеются ранее неизвестные нуклеотидные последовательности. Это позволяет предполагать существование четвертой линии, носители которой вымерли через некоторое время после первоначальной миграции.

Помимо изучения уникальной находки в Литтл-Солт-Спринг, метод ЦПР вообще открывает новые пути исследований в археологии. Пэббо и его коллеги применили этот метод к ДНК из мумии египетского жреца возрастом 4000 лет и из застывшей во льду туши мамонта, найденной в Сибири, возрастом 40 тыс. лет. Уже идет работа с другими объектами. В статье, опубликованной недавно в журнале «Journal of Biological Chemistry», Пэббо пишет: «Достижения, обеспечиваемые методами молекулярной биологии, позволяют восстановить молекулы древней ДНК и таким образом поймать за руку эволюцию».

Наконец-то зрелые помидоры

ВСЯКИЙ, кто пробовал зрелый помидор, только что сорванный с куста, знает, что даже лучшие экземпляры, купленные в магазине, и сравнить нельзя по вкусу с таким плодом.

Причина этого в том, что в большинстве случаев помидоры собирают, еще когда они совсем зеленые, чтобы успеть доставить товар на прилавок прежде, чем плоды начнут портиться. А чтобы они дозрели, их обрабатывают этиленом. Но искусственно дозревшие помидоры не имеют всего того богатства вкуса, каким обладают плоды, созревшие естественным путем.

П. Дейвис из Корнеллского университета и его коллеги считают, что нашли способ отодвинуть искусственно зрелые помидоры в прошлое. Предлагаемая ими обработка плодов вдвое увеличивает время, в течение которого помидоры сохраняют высокое качество. Сейчас это время составляет 4—5 дней, а новый метод, заявил Дейвис, удлиняет его до 10—12 дней. Если метод окажется экономически выгодным, он позволит собирать помидоры уже после того, как начнется естественное созревание и таким образом избежать применения этилена.

Дейвиса и его коллегу М. Матшлер навело на открытие изучение мелких бразильских помидоров, называемых алькобаса, у которых срок годности при хранении составляет несколько недель. Они обнаружили, что алькобаса содержит по сравнению с другими сортами помидоров почти втрое больше 1,4-бутандиамина. Удалось показать, что введение очень небольшого количества этого вещества в помидоры выращиваемых в США сортов приводит к двукратному увеличению срока годности при хранении. Чтобы ввести бутандиамин в плоды, их помещают в его разбавленный раствор и сначала понижают давление, а потом резко повышают. В результате небольшое количество бутандиамина проникает внутрь плода через место прикрепления его к плодоножке.

Сейчас ведутся коммерческие испытания, и если они пройдут успешно, одобрение на применение нового метода, как полагает Дейвис, не заставит себя ждать, потому что количество вещества, попадающее в плод, очень мало — порядка миллиграмма, что незначительно отличается от естественного его содержания. Более того, другие полиамины и даже аминокислота метионин оказывают такое же действие. Хотя известно, что 1,4-бутандиамин является гормоном у растений, продление срока годности при хранении плодов является, по мнению Дейвиса, самостоятельным эффектом. Правда, Дейвис признает, что механизм действия неясен. Исследования продолжаются.

Что общего между грампластинкой и ветровым стеклом автомобиля?



ДЖИРЛ УОЛКЕР

ПОЛОЖИТЕ на стол обычную грампластинку, а за ней поставьте настольную лампу, так чтобы она освещала пластинку. Другого освещения в комнате быть не должно. Подвиньте пластинку так, чтобы ее отверстие располагалось посередине между вами и лампой, закройте один глаз и смотрите другим глазом на пластинку (ваши глаза должны находиться примерно на высоте лампочки). Пластинка освещена целиком, но окажется ли вся ее поверхность одинаково яркой? А может быть, вы увидите одно яркое пятно, как в зеркале?

Ни то ни другое. На самом деле вы увидите две узкие светлые полосы, образующие крест. Остальная часть

пластинки освещена гораздо слабее (она казалась бы совершенно темной, если бы на пластинку не падал свет, отраженный от стен, потолка и предметов обстановки). Одна переключательная светового «креста» вытянута вдоль линии, соединяющей наблюдателя и лампу, а другая перпендикулярна ей. (См. правую верхнюю картинку на рисунке внизу. Рисунок построен в предположении, что у пластинки нет центрального отверстия и наклейки, т. е. как будто вся она покрыта звуковой дорожкой. В этом случае в центре пластинки должно быть яркое пятно.)

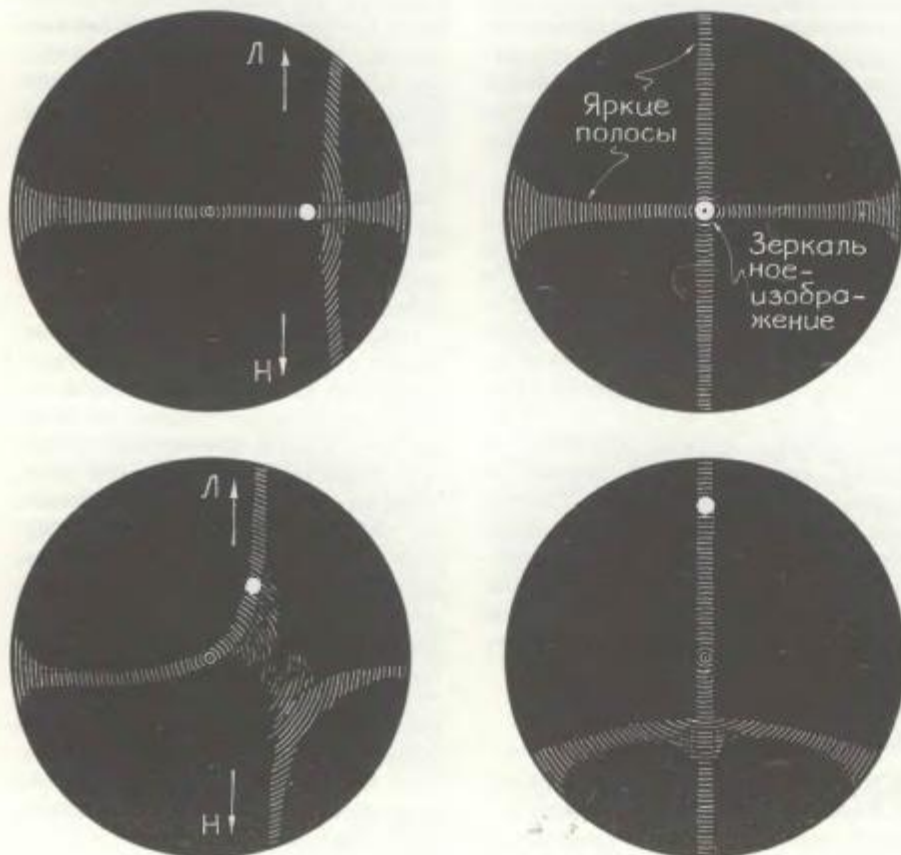
Если сдвинуть пластинку влево, яркая полоска, направленная от наблюдателя к лампе, слегка искривится, но другая останется прямой и по-преж-

нему будет проходить слева направо через центр пластинки, как показано на левой верхней картинке. Если пластинка смещена не слишком сильно, на этой горизонтальной полосе, неподалеку от пересекающей ее вертикальной полосы имеется особенно яркое пятно света. Один конец искривленной полосы указывает на лампу (на рисунке он обозначен буквой Л), а другой конец направлен на наблюдателя (он обозначен буквой Н). Если же пластинка сдвинута ближе к наблюдателю, искривляется та полоса, которая идет слева направо. Другая полоса остается прямой, как показано на правой нижней картинке. Яркое пятно в этом случае лежит на прямой линии на дальней половине грампластинки.

Если сдвинуть пластинку одновременно и влево и от лампы, полосы разделяются и превратятся в некое подобие гипербол, как на левой нижней картинке. Одна полоса, как и прежде, проходит через центр пластинки; если пластинка сдвинута не слишком сильно, яркое пятно все еще находится на этой полосе. Вторая полоса лежит ближе к краю пластинки; она как бы выходит из одной точки на крае пластинки, загибается у центра, а затем входит в другую точку на крае. Полосы работают как указатели: первая полоса указывает на лампу, вторая — на наблюдателя. Если сдвинуть пластинку еще дальше, вторая полоса сдвинется к краю, а при дальнейшем перемещении пластинки может исчезнуть совсем.

Ширина полосы зависит от размеров лампочки и от того, насколько близко к пластинке та находится. Большая лампочка, находящаяся близко, создает широкие неясные полосы. Четкость картины можно улучшить, если закрыть лампу алюминиевой фольгой, в которой проделано маленькое отверстие. Полосы в этом случае получаются узкие и отчетливые. (Следите за тем, чтобы лампа не перегрелась.)

Что служит причиной появления этих полос? Ответ на этот вопрос был получен в 1963 г. Дж. Б. Лоттом, в ту пору выпускником Школы Фелстеда в Эссексе (Великобритания). Было ясно, что распределение света на пластинке объясняется отражениями от звуковой дорожки. Проблема состояла в том, чтобы определить, какие участки каких дорожек имеют подходящую ориентацию, чтобы отражать свет в сторону наблюдателя. Отправная идея в анализе Лотта состояла в том, чтобы представить, что лампа и наблюдатель находятся внутри эллипсоида — тела, которое получается при вращении эллипса относительно одной из осей. От той точки, где звуковая дорожка



Отражение света от грампластинки

касается эллипсоида, свет отражается к наблюдателю.

Чтобы проследить за ходом рассуждений Лотта, давайте вначале разберемся, как свет отражается от плоской поверхности. В качестве аналога пластинки следует взять гладкий круглый диск. Предположим далее, что электрическая лампочка достаточно мала и ее можно считать точечным источником света. Лучи света, идущие от лампы, освещают всю пластинку и отражаются от ее поверхности. Линия, перпендикулярная поверхности в точке, от которой отражается световой луч, называется нормалью; относительно нее измеряется угол наклона луча, идущего от лампы (см. левую схему на верхнем рисунке на этой странице). Луч, идущий от лампы, называется падающим лучом, а угол, который он составляет с нормалью, называется углом падения. Луч, покидающий поверхность, называется отраженным лучом, а угол между ним и нормалью называется углом отражения.

Отражение света подчиняется двум простым правилам. Во-первых, падающий и отраженный лучи и нормаль всегда лежат в одной плоскости, во-вторых, угол падения равен углу отражения. Если центр гладкого круга лежит на полпути между наблюдателем и лампой, наблюдатель воспринимает луч, отражающийся от центра круга. Все другие лучи, падающие на круг, также отражаются от него, но в глаз наблюдателя не попадают. Наблюдатель видит одно пятно света в центре круга и ему кажется, что именно это пятно, а не лампа является источником света.

Назовем это пятно «зеркальным изображением» лампы, поскольку гладкий круг в данном случае действует подобно зеркалу. Когда ваш глаз располагается на высоте лампы, зеркальное изображение всегда находится на полпути между вами и лампой. Вы можете изменить его положение, сдвинув круг или, что то же, сместившись сами. Например, если сдвинуть круг влево и одновременно ближе к себе, зеркальное изображение окажется в дальнем правом квадранте круга. (Зеркальное изображение, разумеется, — это именно то яркое пятно, которое, как я уже говорил, видно на освещаемой лампой грампластинке.)

Законы отражения применимы также к поверхности, которая плавно искривляется, однако в этом случае нормалью служит перпендикуляр к касательной в точке отражения, как показано на правой схеме вверху на этой странице. Лотт исходил из того, что звуковая дорожка представляет собой ряд концентрических круговых бороздок с холмистым рельефом. Если рас-



смотреть разрез по радиусу пластинки, секущий один из холмиков, и нарисовать нормали к поверхности холмика в плоскости разреза, то холмик покажется ошетиленным нормальями — как ерш иглами. На вершине холмика нормаль вертикальна. Все остальные нормали отклоняются от вертикали либо к центру пластинки, либо от него.

Отражение света от бороздок в сторону наблюдателя можно описать в терминах нормалей. Если предполагается, что луч достигает высоты, на которой находится глаз наблюдателя, нормаль в точке отражения должна иметь определенный наклон. Лотт высказал предположение, что это требование удовлетворяется на всякой бороздке. Сосредоточим внимание на круговой бороздке и рассмотрим нормали, лежащие в плоскости поперечного разреза через холмик. По крайней мере одна нормаль будет иметь подходящий наклон, чтобы свет, отражающийся в этой точке, шел на высоту глаза. Таким образом, требование, чтобы луч шел на определенную высоту, не может отвечать за световой рисунок на грампластинке.

Лотт предположил, что ключевую роль может играть другое, более жесткое требование, а именно отраженный луч должен идти в нужном направлении — влево или вправо —

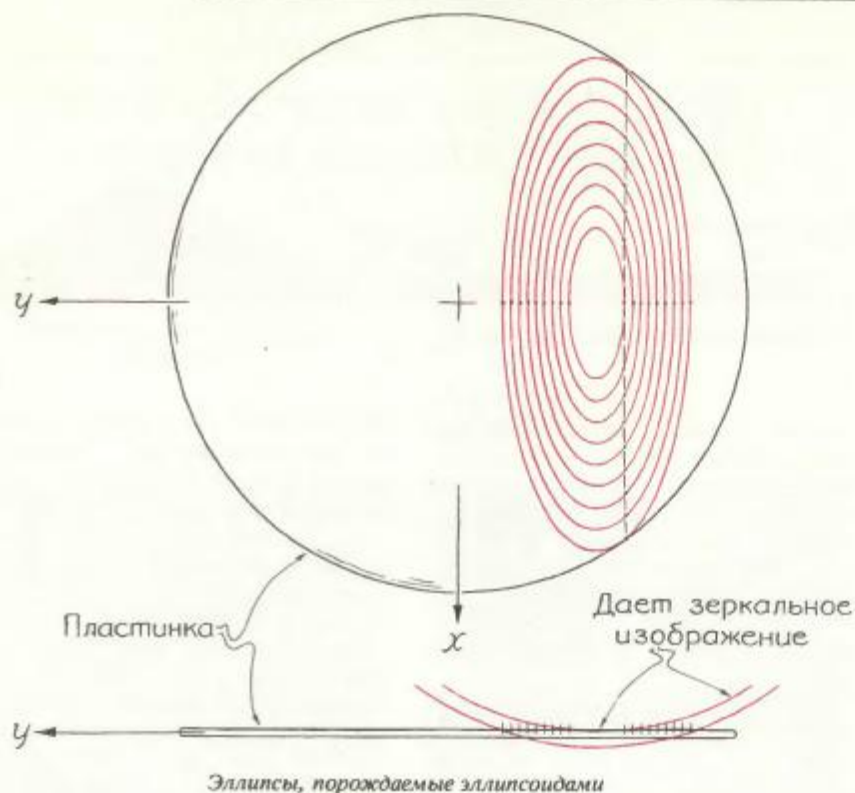
прямо в глаз. Этому требованию могут удовлетворить лишь некоторые участки отдельных бороздок. Такое предположение значительно облегчает анализ, поскольку из него следует, что важными являются лишь ориентации нормалей в горизонтальной плоскости. Анализ можно дополнительно упростить, если учесть, что горизонтальные составляющие нормалей являются радиальными линиями, иными словами, их продолжения проходят через центр пластинки. В дальнейшем я буду игнорировать вертикальные составляющие нормалей и заниматься только их горизонтальными составляющими.

Для того чтобы определить, какие участки каких бороздок создают наблюдаемую картину, Лотт обратился к одному из свойств эллипсоида. Если источник света поместить в одном фокусе эллипсоида, то лучи, отразившись от внутренней поверхности, пройдут через второй фокус. Лотт представил себе, что в случае, когда наблюдатель воспринимает отражение от пластинки, освещаемой светом лампы, лампа находится в одном фокусе эллипсоида, а глаз — в другом. Пластинка сечет нижнюю часть эллипсоида в горизонтальной плоскости, давая в сечении эллипс (см. рисунок внизу).

Свет как бы отражается от стенки



Свет отражается от внутренней поверхности эллипсоида



эллипсоида и вместе с тем он отражается от круговой бороздки, поэтому в точке отражения круг и эллипс должны касаться друг друга. Это в свою очередь означает, что в указанной точке круг и эллипс имеют общую нормаль. Поскольку нормаль в любой точке круга направлена по радиусу к центру, точка на эллипсе, от которой свет отражается в направлении наблюдателя, должна быть точкой с радиальной нормалью.

Чтобы объяснить существование всей картины отражений от пластинки, необходимо рассмотреть семейство эллипсоидов разного размера.

Пластика вырезает в каждом эллипсоиде эллипс определенного размера. Во всех случаях точки на эллипсе, которые отвечают за создание картины отражений, являются точками с радиальными нормальными. Этих условий достаточно для того, чтобы Лотт смог решить уравнения для эллипсов, кругов и радиальных нормалей и найти положение точек на пластинке, которые отражают свет в направлении наблюдателя. В своем анализе он ограничился случаем, когда глаз наблюдателя и лампа находятся на одной высоте над столом. Распределение точек, в которых по теории должно

происходить отражение света в направлении наблюдателя, дало те самые полосы, которые и наблюдаются в действительности.

Я обнаружил, что общую форму полос можно предсказать на основе простых набросков, не прибегая к решению уравнений. Пример такого анализа показан на верхнем рисунке на этой странице, где грампластика смещена относительно начального (центрального) положения влево от наблюдателя. Верхняя часть рисунка — это вид сверху тех эллипсов, которые вырезаются в эллипсоидах пластинкой. Ось Y простирается влево и вправо от наблюдателя, а ось X перпендикулярна оси Y . Нижняя часть рисунка — это сечение вдоль оси Y . Здесь же показано, как пластинка сечет два эллипсоида.

Чтобы построить вид сверху, рассмотрим зеркальное изображение, которое представляет собой яркое пятно на световом кресте. Вспомним, что, когда глаз наблюдателя и лампа находятся на одной высоте над столом, зеркальное изображение лежит посередине между ними. В данном случае оно должно находиться на оси Y справа от центра пластинки. Изображение связано с эллипсоидом, который лишь касается пластинки и поэтому порождает эллипс мельчайшего размера в плоскости пластики. Часть этого эллипсоида показана в нижней части рисунка. Нарисуем эту точечную область на схеме.

Вокруг этой точки нарисую эллипс чуть большего размера, длинная ось которого параллельна оси X . Этот эллипс порождается эллипсоидом, также несколько большим по размеру, чем первый. Рассмотрим теперь нормали в точках, лежащих на эллипсе. (Будем иметь в виду, что нормаль перпендикулярна касательной к эллипсу.) Отметим точки, в которых нормаль является радиальной. Таких точек четыре: две на оси Y (с каждой стороны от зеркального изображения) и две вблизи острых концов эллипса.

Повторим эту процедуру, рассматривая все большие эллипсы, порождаемые все большими эллипсоидами. В каждом эллипсе имеются четыре точки с радиальными нормальными. Определив положение некоторого числа точек, соединим их линиями: это и будут те светлые полосы, которые видны на пластинке. Если наклонить пластинку или несколько изогнуть ее, то общий вид картины отражений останется примерно таким же, хотя проанализировать его будет труднее.

Читая статью Лотта и рассматривая в первый раз картину отражений на пластинке, я вдруг вспомнил, что видел нечто подобное в совершенно



Блики на мокром ветровом стекле автомобиля

других условиях. Когда едешь на машине ночью в дождь, т. е. когда работают стеклоочистители, уличный фонарь или фара встречного автомобиля создают на ветровом стекле блик в виде узкой полоски (см. нижний рисунок на предыдущей странице). Нет ли общего между этим бликом и одной из ярких полос на пластинке?

Блики на ветровом стекле автомобиля как оптическое явление анализировались в 1954 г. Полом Киркпатриком из Станфордского университета. Он объяснил их происхождение тем, что стеклоочиститель растаскивает по стеклу липкие частички дорожного покрытия. Поскольку стеклоочиститель движется по дуге круга, смолистые частички также образуют дуги круга с центром на валу стеклоочистителя. Круговые «грядки» из таких частиц могут сохраняться еще долго после того, как стекло высохнет.

Когда вы смотрите через такие круги на лампу, в ваши глаза попадает свет, отражающийся от боков «грядок». В дневное время он слишком слаб по сравнению с солнечным светом, но ночью хорошо заметен и мешает водителю. Блик часто имеет вид отрезка прямой, один конец которой указывает на вал стеклоочистителя. Если изменить угол, под которым вы смотрите на источник света, сдвинется и изображение лампы на стекле, а блик повернется, но так, что один его конец будет, как и раньше, указывать на вал стеклоочистителя. Киркпатрик заметил, что иногда блик оказывается заметно изогнутым, но его нижний конец все равно указывает на вал. Размышляя над анализом Лотта, я задался вопросом: а не связаны ли между собой блик на ветровом стекле и полоса отраженного света на грампластинке — та, на которой находится зеркальное изображение?

Немного поразмыслив, я пришел к выводу, что в обоих случаях работает один и тот же механизм. Картина, которую я вижу на ветровом стекле, аналогична картине, которую я вижу на дальней от меня стороне пластинки, если пластинка придвинута ближе ко мне и зеркальное изображение смещено к дальнему краю, как показано на нижних картинках на рисунке на с. 70. В обоих случаях полоса света проходит через центр круговых бороздок или «грядок» или по крайней мере указывает на него, и в зависимости от обстоятельств она может быть и прямой, и изогнутой. В каком-то месте на этой линии располагается яркое пятно. Если речь идет о пластинке, пятно представляет собой зеркальное изображение лампочки и источник света находится с той же стороны от плоскости, что и я. Пятно

света на ветровом стекле автомобиля — это прямое изображение источника света, который находится с другой стороны плоскости кругов.

Одно обстоятельство, однако, не давало мне покоя. Отсутствие на ветровом стекле «ближних квадрантов» (соответствующих ближайшей к наблюдателю стороне пластинки) является причиной отсутствия второй яркой полосы (блика); во всех случаях второй блик (шел бы он слева направо, был бы изогнут или отделен от первого блика) должен располагаться ниже вала стеклоочистителя. Можно ли увидеть этот второй блик? Я пытался сделать это и так и эдак, но безуспешно. Наконец, однажды, когда через правый изогнутый край ветрового стекла в машину смотрело заходящее солнце, я увидел вблизи солнечного диска оба блика. Они напоминали левую нижнюю картинку, на рисунке на с. 70. Изменяя перспективу, я «соединял» и «разделял» эти блики, и, увлекшись этим занятием, чуть было не съехал с дороги. Так я и не знаю, почему появился второй блик.

Прошлой зимой я обратил внимание на то, что «выразительность» бликов усиливается, если к стеклу прилипают соль, которой посыпают дороги, чтобы быстрее сошел снег и лед. Круговые «грядки», создаваемые в этом случае стеклоочистителем, были видны особенно отчетливо. Блик в этом случае возникал, скорее всего, в результате сложного рассеяния, а не простого отражения, но результат был одним и тем же.

Блики, создаваемые ночью на ветровом стекле светом фары встречной машины, сходятся к валу стеклоочистителя. Кроме того, оба они суживаются в направлении к валу, поскольку чем ближе круги к валу, тем они меньше и тем сильнее они искривлены.

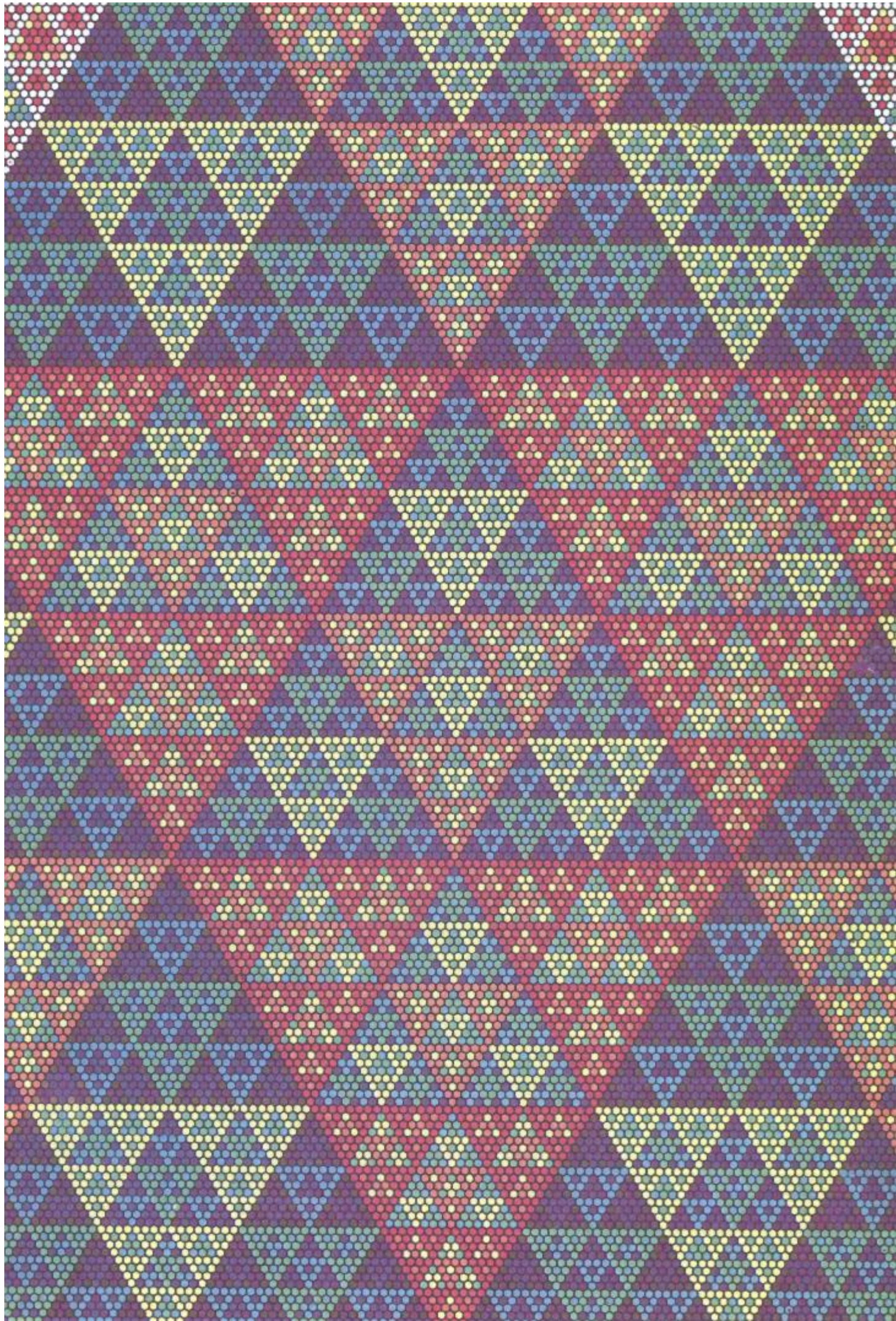
Киркпатрик упоминает и об иллюзии глубины, возникающей при прохождении через ветровое стекло света уличного фонаря. В принципе каждый глаз видит свой блик. Расстояние между этими бликами больше у вала стеклоочистителя и меньше у прямого изображения уличного фонаря. Мозг конструирует из картин, видимых глазом в отдельности, одну составную картину, так что воспринимаемое разделение бликов создает иллюзию глубины. В результате вы видите один блик — световую дорожку, уходящую от вас к фонарю. Если блики искривлены, дорожка также искривлена: она как бы спускается в невидимую долину и затем поднимается по невидимому холму к фонарю.

У большинства автомобилей ветровое стекло изогнуто, причем особенно сильно по краям. Кривизна сте-



кла приводит к изменению формы бликов, подобно тому как изгибание грампластинки приводит к изменению отражений. Благодаря кривизне стекла некоторые участки стекла, на которых налипли частички асфальта, рассеивают в вашем направлении свет, хотя на плоском стекле они посылали бы свет в другую сторону. Кривизна служит также причиной того, что свет как бы временно «захватывается» стеклом (см. рисунок вверху). При этом свет многократно отражается и рассеивается в толще стекла, отклоняясь от первоначального направления. В результате вы видите яркий боковой блик, отходящий от прямого изображения источника света. Если высунуть руку из окна и закрыть прямое изображение пальцем, боковой блик исчезнет. Аналогичные блики возникают и на линзах очков, но их легко отличить от бликов, образующихся на ветровом стекле: достаточно склонить голову набок и блики, которые возникают на линзах очков, повернутся.

При рассмотрении рассеяния света на круговых неоднородностях возникает и ряд других вопросов. Будем двигать пластинку, освещаемую лампой, все дальше от «центрального» положения; почему на конце световой полосы, проходящей через центр, рассеяние ослабевает и в конце концов исчезает? (Подсказка: Лотт предполагал, что на звуковой дорожке всегда найдется такая нормаль, что соответствующий ей отраженный луч идет на высоту глаз наблюдателя; как может быть наклонена нормаль в месте перехода от ложбины к холмику?) Какого рода отражения возникают на компакт-диске для лазерного проигрывателя? И наконец, почему отраженные от обычной грампластинки и от компакт-диска лучи окрашены в разные цвета, хотя лампа освещает их белым светом?



О треугольнике Паскаля, простых делителях и фрактальных структурах

С.К. АБАЧИЕВ

Едва ли кто-нибудь из нематематиков в состоянии освоиться с мыслью, что цифры могут представлять собой культурную и эстетическую ценность...

НОРБЕРТ ВИНЕР

СТАРЫЙ знакомый, о котором пойдет речь, — арифметический треугольник, который был известен арабским ученым еще в XII в. Французский математик, физик и философ XVII в. Блез Паскаль подверг эту числовую систему разностороннему исследованию, после чего за ней закрепилось название «треугольник Паскаля». Напомним, что последовательность чисел в n -ой строке треугольника Паскаля состоит из коэффициентов разложения двучлена $(x + y)^n$. Построение треугольника Паскаля в соответствии с простейшим алгоритмом позволяет вычислять биномиальные коэффициенты без обращения к понятиям комбинаторики. Вместе с тем, элемент $N_{n,k}$, стоящий на k -ом месте в n -ой строке, равен числу сочетаний из n элементов по k , обозначаемому в комбинаторике символом C_n^k и определяемому по формуле:

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

Таким образом, треугольник Паскаля имеет как бы два лица. С одной стороны, он представляет собой двумерную систему натуральных чисел $N_{n,k}$, имеющую много интересных свойств независимо от связи с комбинаторикой. С другой стороны, числа $N_{n,k}$ имеют комбинаторную природу: $N_{n,k} = C_n^k$. Ее понимание позволяет доказать некоторые новые свойства треугольника, исходя из законов комбинаторики.

Известно, что любое натуральное число N можно единственным образом представить в виде произведения простых делителей:

$$N = 2^a \cdot 3^b \cdot 5^c \cdot 7^d \cdot 11^e \cdot 13^f \dots,$$

где $a, b, c, d, e, f, \dots = 0, 1, 2, 3, \dots$

Это представление называется каноническим.

Обратимся теперь к простейшей арифметической прогрессии — натуральному ряду, представляя каждый его элемент N в виде канонического

произведения простых делителей:

1, 2, 3, 2^2 , 5, $2 \cdot 3$, 7, 2^3 , 3^2 , $2 \cdot 5$, 11, $2^2 \cdot 3$, 13, $2 \cdot 7$, $3 \cdot 5$, 2^4 , 17, $2 \cdot 3^2$, 19, $2^2 \cdot 5$, $3 \cdot 7$, $2 \cdot 11$, 23, $2^3 \cdot 3$, 5^2 , $2 \cdot 13$, 3^3 , $2^2 \cdot 7$, 29, $2 \cdot 3 \cdot 5$, 31, 2^5 и т. д.

Для того чтобы было удобнее следить за каким-либо определенным простым делителем введем следующую символику: наличие этого делителя в элементах треугольника $N_{n,k}$ будем обозначать показателем степени, в которой он представлен. Например, для делителей 2 и 3 вышеозначенная последовательность примет такой вид:

делитель 2:
1.2.1.3.1.2.1.4.1.2.1.3.1.2.1.5
1.2.1.3.1.2.1.4.1.2.1.3.1.2.1.6 и т. д.
делитель 3:
..1..1..2..1..1..1..2..1..1..3..1..1..1..2..1..1..3..1..1..2 и т. д.
(Точки поставлены вместо нулей.)

Как видим, для расположения простых делителей характерна определенная регулярность, которая подсказывает характер экстраполяции выбранной нами символики на дальнейшие участки натурального ряда. Наличие этой регулярности нетрудно доказать в общем виде. Не вдаваясь здесь в соответствующее доказательство, отметим лишь следующее: регу-

лярность сохраняется независимо от того, о каких делителях идет речь — о простых или составных. К этому обстоятельству мы вернемся в дальнейшем.

Введенную символику можно приспособить к компактному отражению двумерной организации простых делителей в треугольнике Паскаля. Более того, именно эта символика позволяет трансформировать рассмотренные одномерные регулярности в симметричную организацию простых делителей чисел $N_{n,k}$. Сделать это позволяет еще одна известная формула комбинаторики:

$$C_n^{k+1} = C_n^k \cdot \frac{n-k}{k+1}.$$

Соответствующий алгоритм расчета я называю методом счетной линейки. Чтобы проиллюстрировать его, проведем расчет по указанной выше формуле для $n = 8$ и простого делителя 2. В скобках представлены текущие результаты расчета в соответствии с введенной символикой:

$$C_8^0 = 2^0(0) -$$

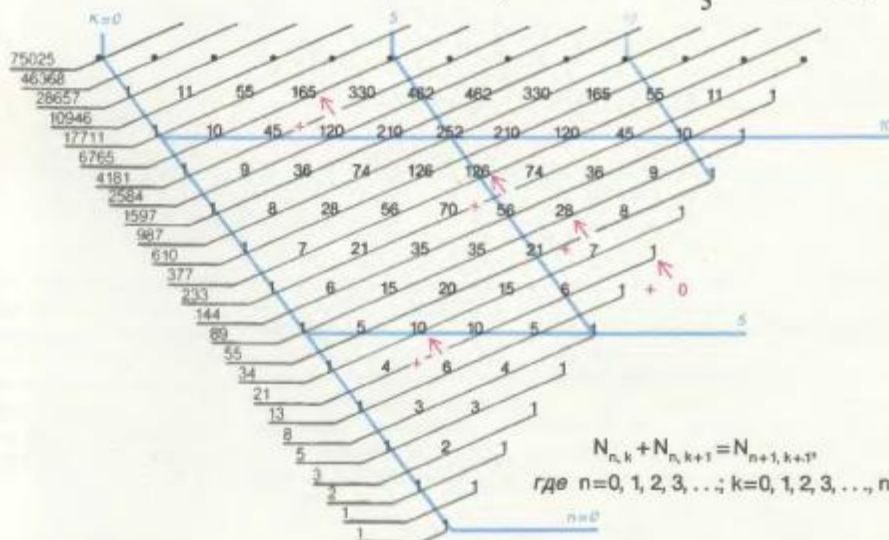
$$C_8^1 = 1 \cdot \frac{2^3}{1} = 2^3(3) -$$

$$C_8^2 = 2^3 \cdot \frac{7}{2} = 2^2 \cdot 7(2) -$$

$$C_8^3 = 2^2 \cdot 7 \cdot \frac{2 \cdot 3}{3} = 2^3 \cdot 7(3) -$$

$$C_8^4 = 2^3 \cdot 7 \cdot \frac{5}{2^2} = 2^1 \cdot 5 \cdot 7(1) -$$

$$C_8^5 = 2^1 \cdot 5 \cdot 7 \cdot \frac{2^2}{5} = 2^3 \cdot 7(3) -$$



АЛГОРИТМ построения треугольника Паскаля чрезвычайно прост. Справа в абстрактной алгебраической форме представлено общее правило построения. Символ $N_{n,k}$ обозначает натуральное число N на k -ом месте в n -ой строке треугольника. (Вопреки традиции, здесь треугольник Паскаля строится не сверху вниз, а снизу вверх. Во-первых, так лучше подчеркивается поступательное усложнение геометрических структур, образуемых на плоскости делителями элементов $N_{n,k}$. Во-вторых, так удобнее рассчитывать эти структуры.) Числа голубого цвета получаются в результате косо-го суммирования элементов $N_{n,k}$ и образуют знаменитую последовательность Фибоначчи, которая исключительно богата свойствами, важными для комбинаторики и учения о симметрии.

ставительству делителя 2 в числителе и знаменателе дроби $\frac{8-k}{k+1}$ при

$k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$. В результате под зоной совпадения клеток получается картина расположения делителя 2 в n -ой строке треугольника Паскаля в соответствии с принятой символикой. И так для любого делителя и для любой строки n . Остается только сделать полученную схему подвижной. Для этого симметричная организация натурального ряда по тому или иному простому делителю переносится на бумажные полоски с клетками: на одну — слева направо с дополнительной пустой клеткой в самом начале, на другую — справа налево без дополнительной клетки. В результате получаются два движка счетной линейки. Простейшие манипуляции с ними на плоскости (лучше всего на листе миллиметровой бумаги) поясняются на примере расчета для делителя 2 на строках с $n = 14, 15$ и 16 (см. рисунок на с. 76).

Рассчитываемую таким образом двумерную организацию простых делителей чисел $N_{n,k}$ можно представить в графическом виде, закодировав цветом показатели степеней. На рисунке справа представлены фрагменты организации на плоскости простых делителей 2 и 3. «Пчелиные соты», выбранные в качестве остова графических схем, подчеркивают то обстоятельство, что в двумерной организации простых делителей чисел $N_{n,k}$ безраздельно господствует симметрия равностороннего треугольника.

Итак, красочные геометрические структуры треугольника Паскаля представляют собой двумерную «развертку» регулярностей в расположении простых делителей в одномерном натуральном ряде. Метод счетной линейки как раз и позволяет просто и естественно осуществить такую построительную развертку. Вместе с тем, для этого алгоритма характерна избирательность: он справедлив только по отношению к простым делителям.

Как мы уже говорили, для натурального ряда характерны совершенно аналогичные регулярности в расположении и составных делителей. В частности, для делителей $4 = 2 \cdot 2$ и $6 = 2 \cdot 3$ ряд имеет вид:

...1...1...1...2...1...1...1...2
...1...1...1...2...1...1...1...3 и т. д.

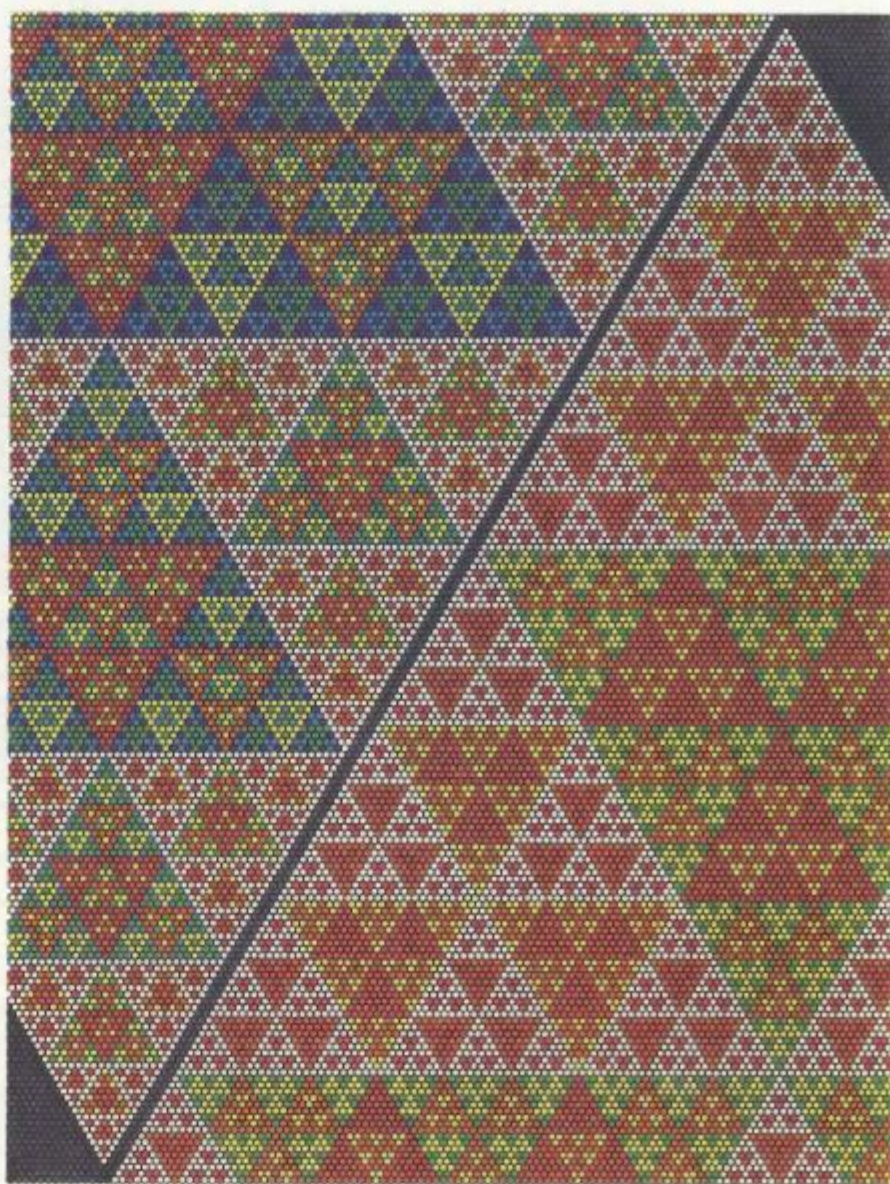
.....1.....1.....1.....1.....1
.....2.....1.....1.....1.....1.....1 и т. д.

С одной стороны, эти регулярности также легко переложить на метод счетной линейки. Соответствующие расчеты дают геометрические струк-

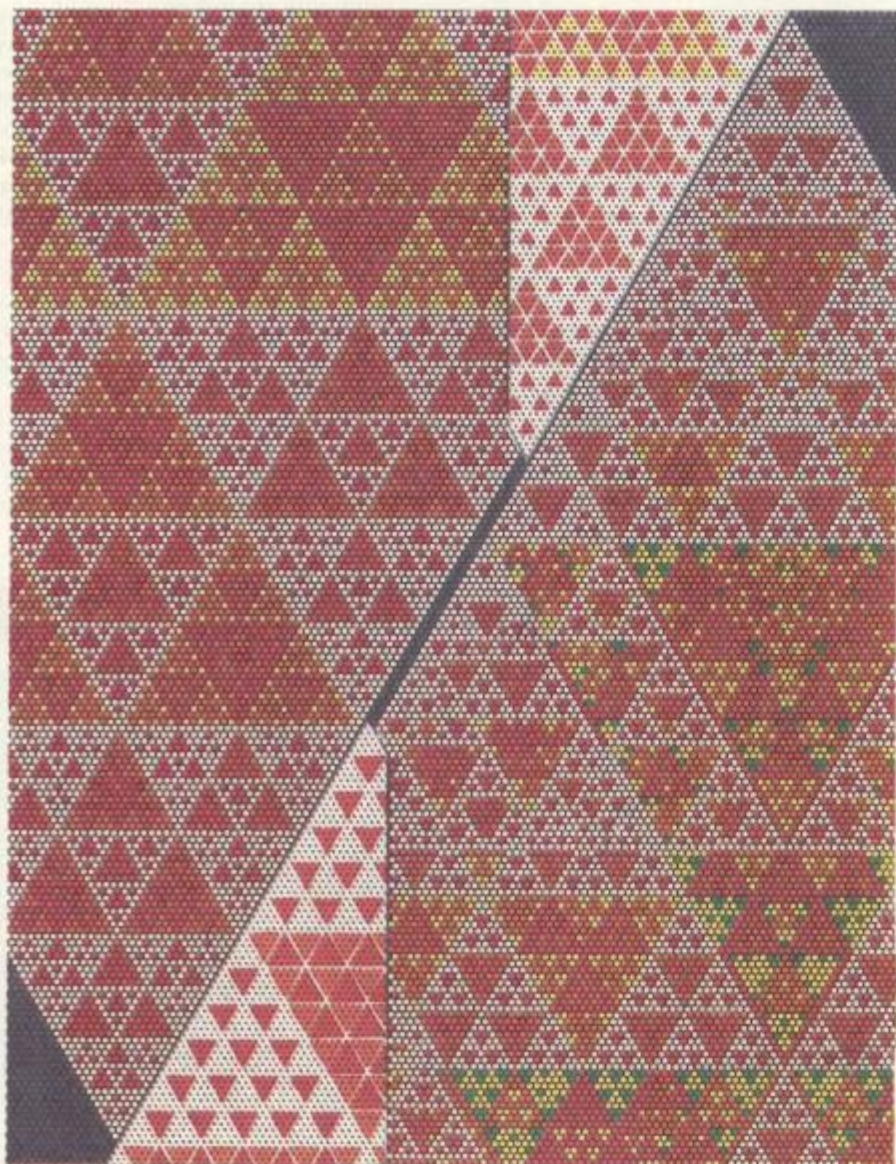
туры, совершенно аналогичные тем, которые получаются, например, для простых делителей 5 или 7. С другой стороны, картины расположения делителей 4 и 6 легко получить из картин расположения делителей 2 и 3. В первом случае на графической схеме для делителя 2 достаточно убрать закраску ячеек, соответствующих наличию делителя 2^1 , и изменить закраску оставшихся ячеек в соответствии с принятым цветовым кодом. При этом получаются геометрические структуры с симметрией равностороннего треугольника, но не такие, которые дает метод счетной линейки. Для делителя 6 геометрический эквивалент расчетов требует нескольких

этапов совмещения фрагментов картин для делителей 2 и 3. В результате получается такая картина, в которой не остается и следа от безраздельного господства симметрии равностороннего треугольника: вместо идеально симметричного дальнего порядка воцаряется то, что в теории динамического хаоса называют перемежаемостью — сосуществованием структур разной степени упорядоченности. В расположении целостных цветовых структур и в их «начинке» появляются разупорядоченность и непредсказуемость.

«Геометрическая» логика развития цветовых мозаик, соответствующих расположению простых делителей, в высшей степени автономна: она по-



РАСПОЛОЖЕНИЕ НА ПЛОСКОСТИ простых делителей 2 (левая половина) и 3 (правая половина). Здесь принят цветовой код: отсутствие делителя обозначается незакрашенной ячейкой, первая его степень — красной, вторая — оранжевой, третья — желтой, четвертая — зеленой, пятая — голубой, шестая — синей, седьмая — фиолетовой. Рисунок на с. 74 — еще один фрагмент организации простого делителя 2. Он представляет собой результат экстраполяции на основе интуитивных соображений о симметрии цветового «поля». Коричневые ячейки обозначают наличие делителя $2^8 = 256$.



РАСПОЛОЖЕНИЕ НА ПЛОСКОСТИ составных делителей $4 = 2 \cdot 2$ (левая половина) и $6 = 2 \cdot 3$ (правая половина). Встроенные меньшие картинки иллюстрируют ложные результаты расчетов непосредственно методом счетной линейки. Для делителя 4, составленного из одинаковых простых делителей, во всем сохраняется симметрия равнобедренного треугольника. Для делителя 6, составленного из разных простых делителей, эта симметрия разрушается как в расположении сплошь закрашенных зон, так и в их внутренней цветовой организации. Остается только «неистребимая» симметрия треугольника Паскаля относительно вертикальной оси. Даже имея в распоряжении всю представленную здесь картину расположения делителя 6, невозможно чисто геометрически продолжить ее в область еще больших n . Для делителя же 4 осуществить это так же легко, как и для простых делителей.

звоняет исследователю забыть о том, что он имеет дело с какой-то системой чисел. Располагая фрагментом картины для $n = 0 \div 50$, легко угадать логику их поступательного усложнения и чисто геометрически продолжить картины хоть до уровня $n = 1000$. То же самое можно сказать об алгоритме усложнения цветных мозаик для составных делителей типа $4 = 2 \cdot 2$, $9 = 3 \cdot 3$ и т. д. При переходе же к составным делителям типа $6 = 2 \cdot 3$ геометрические структуры разупорядочиваются и алгоритма чисто геометрического усложнения по

начальному фрагменту не существует. Чисто геометрическое усложнение цветных мозаик является графическим эквивалентом расчетов в соответствии с правилом развития арифметического треугольника, а также с правилом представления натуральных чисел в виде канонического произведения простых делителей. В невозможности чисто геометрического развития мозаик для составных делителей типа $6 = 2 \cdot 3$ видится новая и весьма наглядная иллюстрация к проблеме случайности в арифметике (см. статью: Грегори Дж. Чей-

тин. Случайность в арифметике, «В мире науки», 1988, № 9).

В заключение заметки уделю внимание одному обстоятельству, которое указывает на возможность применения подмеченных особенностей треугольника Паскаля для прикладной математики. В ряде фундаментальных и прикладных задач естествознания и математики требуется улавливать тончайшую «игру чисел». В частности, возникает необходимость оперировать большими числами C_n^k , получая при этом по возможности точные результаты. Такая необходимость возникает прежде всего в задачах статистической физики и теории информации, где фигурирует биномиальное распределение. Как правило, в таких случаях обращаются к приближенной формуле Стирлинга для факториалов, через которые выражается C_n^k ($n! \approx \sqrt{2\pi n} \cdot n^n \cdot e^{-n}$, где $\pi = 3,14159...$, $e = 2,7183...$). Геометрические структуры, порождаемые расположением простых делителей чисел $N_{n,k} \equiv C_n^k$ позволяют иметь точную альтернативу расчетам с помощью формулы Стирлинга. Для этого достаточно свести их в альбом таблиц с косоугольной координатной сеткой (n, k) последовательно для всех простых делителей в пределах от нуля до границы интересующих значений. Их этих таблиц даже большие числа C_n^k быстро извлекаются в форме канонического произведения простых делителей. В такой форме их удобно подставлять например, в дробно-рациональные выражения. При этом даже с помощью ручного счета можно получать точные результаты.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

191040 Ленинград,
ул. Пушкинская, 2,
магазин № 5 «Техническая книга»

121019 Москва,
просп. Калинина, 26, п/я 42,
магазин № 200
«Московский дом книги»

125315 Москва,
Ленинградский просп., 78,
магазин № 19 «Мир»

630091 Новосибирск,
Красный просп., 60,
магазин № 7 «Техническая книга»



С. И. Томкеев
**Петро-
логический**
англо-русский
толковый **Словарь**

1

aa lava (= aphyrolith, block lava) — лава типа аа (= афролит, глыбовая лава). Местный гавайский термин, означающий лаву с грубой шлаковой массой на поверхности потока. Введен в литературу не позднее 1859 г. Ср. pahoehoe. *Haskell R. C.* (1859). *Amer. J. Sci.*, 28, 70. *Dutton G. E.* (1884). *Fourth Ann. Rept. U.S. geol. Surv.*, 95.

С. И. Томкеев
**Петро-
логический**
англо-русский
толковый **Словарь**

2

zwitter-rock — цвиттер (нем. «цвиттергештайн» — местное название оловянной руды в Саксонии). Разновидность грейзена, содержащая касситерит и другие рудные минералы. *Cotta B. von* (1862). *Die Gesteinslehre*, p. 245, Engelhardt, Freiberg.

1986, Цена 7 р. 20 к.

В словаре, составленном известным английским геологом С. И. Томкеевым и подготовленном к печати его друзьями и коллегами, приводятся четкие краткие определения примерно 8000 терминов, хорошо раскрыта номенклатура горных пород и охарактеризованы принятые в петрографии понятия. Это уникальное издание содержит также толкование весьма редких терминов, которые нельзя найти в других справочниках.

Эту книгу вы можете получить наложенным платежом, направив заказ по адресу:
191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2
Магазин № 5 «Техническая книга».



Биоморфы, попкорн и улитки



А. К. ДЬЮДНИ

Иногда я кажусь себе рыбаком. Компьютерные программы и идеи — это мои крючки, удилища и спиннинги. Компьютерные изображения — улов и деликатесные блюда.

Клиффорд А. Пикоувер,
Компьютеры, образы, хаос и красота

УЖЕ несколько раз за последние годы у меня возникало искушение рассказать о причудливых и красивых графических творениях К. Пикоувера, известного ученого из Исследовательского центра им. Томаса Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк). Помимо увлечения серьезными исследованиями он коллекционирует развлекательные программы. Это его «рыбо-

ловные снасти». С их помощью на экране дисплея можно получать хаотичные и в то же время эстетически привлекательные формы. Глядя на восхитительные уловы Пикоувера, я не в состоянии противостоять соблазну и в этой статье хочу рассказать о программах, с которыми читатели сами смогут отправиться на «рыбалку» и ловить представителей трех простых, но весьма забавных видов, а именно биоморфы, плитки Трюше и фрактальный попкорн. (Попкорн — это популярные в США зерна воздушной кукурузы. — Перев.) Читатели смогут также подивиться на трехмерных логарифмических улиток, пойманных этим увлеченным, но вполне здравомыслящим человеком.

Что такое биоморфы? Это слово

уже встречалось в статьях нашей рубрики. В апрельском номере за прошлый год речь шла о формах, напоминающих живые организмы и порождаемых программой Ричарда Докинза, биолога из Оксфордского университета. Начиная с нескольких похожих на деревья фигурок, человек, работающий с программой, выбирает какую-то одну, из которой программа строит набор фигурок, являющихся вариациями исходной. Из их числа человек снова выбирает одну понравившуюся ему фигурку и т. д. В конце концов могут возникнуть очень странные, но непременно «органические» формы.

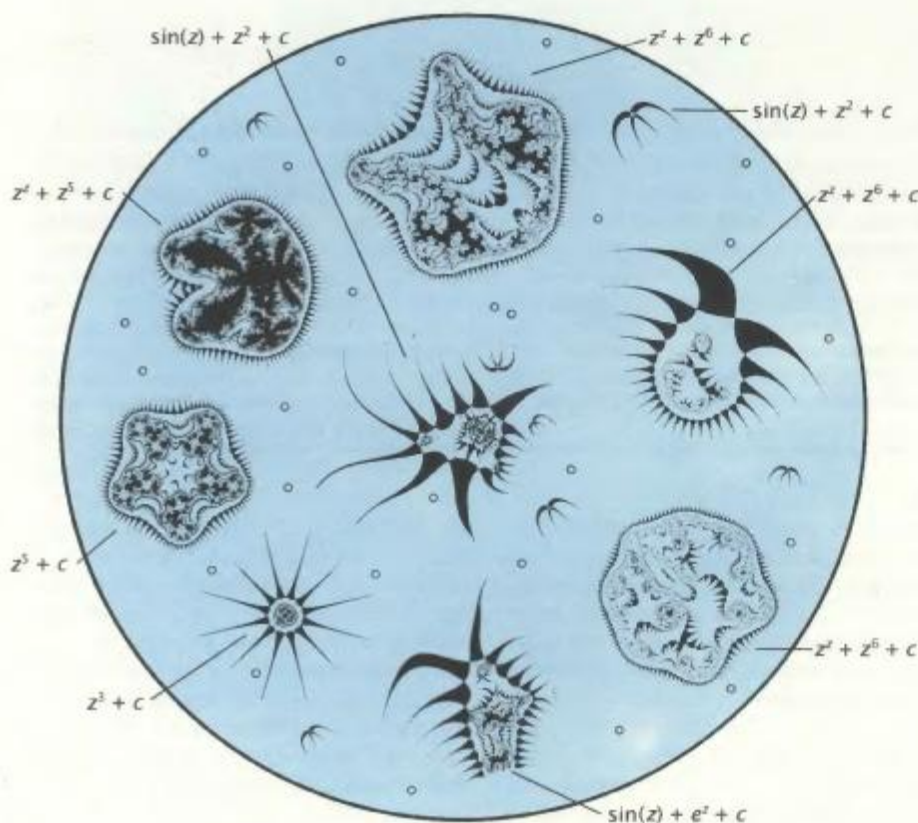
Независимо и почти одновременно Пикоувер получил собственные биоморфы, однако и по методу генерирования, и по внешнему виду они принципиально отличаются от биоморфов Докинза. Организмы Пикоувера очень похожи на микробов, в связи с чем в журнале «Omní» Пикоувер был назван «Левенгуком XX века». (Антони ван Левенгук, живший в XVII в. нидерландский натуралист, один из основоположников научной микроскопии.)

Биоморфы Пикоувера населяют комплексную плоскость; напомним, что там же обитает знаменитое множество Мандельброта (открытое Бенуа Б. Мандельбротом, коллегой Пикоувера по Исследовательскому центру фирмы IBM). Биоморфы возникают в результате процедуры, являющейся сокращенной версией процесса, с помощью которого прослеживаются изящные фрактальные очертания множества Жюлиа, близких аналогов множества Мандельброта, о которых шла речь в статье январского номера журнала за 1988 г. Каждый биоморф строится путем многочисленных итераций, или последовательных вычислений определенной математической функции, путем выполнения повторяющихся математических операций. На каждом шаге итерационного процесса результат предыдущего шага принимается за исходное значение переменной.

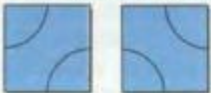
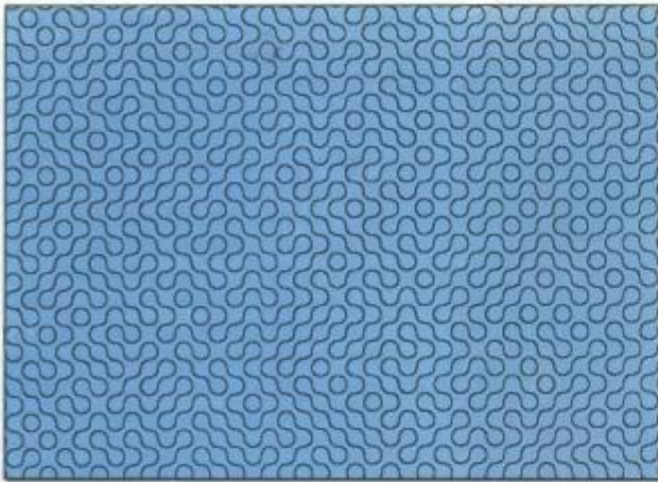
Рассмотрим, например, биоморф с 12 шипами, похожий на радиолярную вилку на рисунке слева, изображающем похожие на видимые в микроскоп организмы. Этот биоморф был получен с помощью итерационных вычислений по формуле

$$z_{n+1} = z_n^3 + c.$$

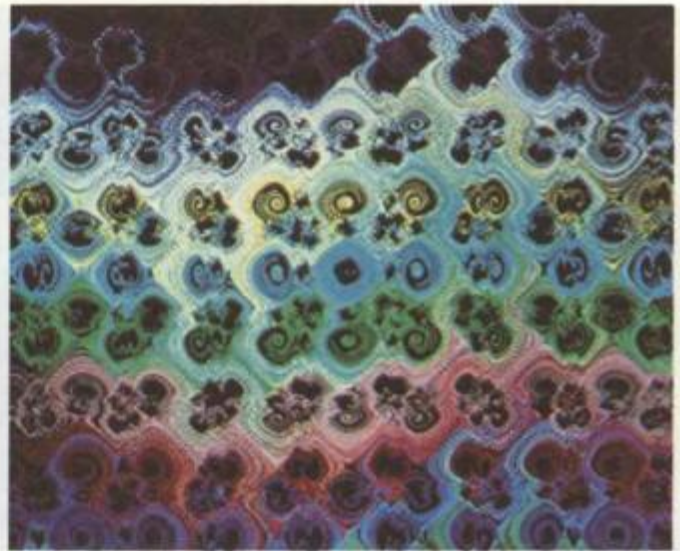
Исходное значение комплексной переменной (обозначенной z_0) возводится в третью степень и к результату прибавляется фиксированное комплексное число c . Затем те же арифметические действия применяются к сумме z_1 , получается значение z_2 и т. д.



Так выглядят биоморфы под «микроскопом»; каждому биоморфу соответствует своя порождающая его функция



Плитки Трюше в двух ориентациях (внизу) и случайные комбинации плиток (вверху)



Фрактальный попкорн, порожденный циклической системой уравнений

Комплексное число состоит из двух обычных чисел, одно из которых называется действительной, а другое мнимой частью комплексного числа. Эти два числа удобно представить в виде двух координат в декартовой системе. Традиционно комплексное число записывается в виде суммы, например $3 + 5i$, где 3 — действительная часть, а 5 — мнимая. (Буква i является своеобразным индексом, указывающим, какая из двух частей числа мнимая.) На с. 83 в рамке я привел основные правила сложения, умножения и возведения в степень комплексных чисел.

Чтобы создать биоморф, нужно сначала расположить решетку точек в прямоугольнике, лежащем в комплексной плоскости. Координаты каждой из этих точек представляют действительную и мнимую части исходного значения z_0 для описанного выше итерационного процесса. Каждой точке на экране компьютера также соответствует определенный пиксел (точечный элемент изображения). В зависимости от результата простого теста на величину действительной и мнимой части окончательного значения переменной z пиксел окрашивается черным или белым цветом.

Все биоморфы, изображенные на рисунке на с. 80, были получены в пределах квадрата размером 20×20 и с центром в начале координат на комплексной плоскости. Интересно, сколько других организмов смогут открыть изобретательные читатели? Я готов вооружить их необходимым аппаратом наблюдения: программой, которую я назвал BIOMORPH и которую следует основному алгоритму Пиксувера. С помощью его версии, при-

веденной ниже, была найдена радиолярия:

```
c = 0.5 + 0.0i
for j = 1 to 100
  for k = 1 to 100
    вычислить  $z_0$ 
     $z = z_0$ 
    for n = 1 to 10
       $z = z^3 + c$ 
      if |real(z)| or |imag(z)|
        or |z| > 10
        then выйти из цикла
    if |real(z)| or |imag(z)| < 10
      then plot (j, k) черным
    else plot (j, k) белым
```

Казалось бы, простой оператор «вычислить z_0 » на самом деле оказывается не таким уж простым. Он требует преобразования каждой пары координат пиксела (j, k) в комплексное число. Это делается путем деления длины и ширины области комплексной плоскости на число значений j и число значений k соответственно. Полученные частные служат затем в качестве величины приращений, на которые увеличиваются действительная и мнимая части z_0 систематически на каждом цикле алгоритма.

Например, радиолярия была в действительности найдена в квадратном «окне» на комплексной плоскости, ограниченном диапазоном следующих значений действительной и мнимой частей z_0 :

$$\begin{aligned} -1.5 < \text{real}(z_0) < 1.5 \\ -1.5 < \text{imag}(z_0) < 1.5 \end{aligned}$$

Поскольку j и k пробегают значения от 1 до 100, и действительная, и мнимая часть z_0 систематически увеличиваются с шагом 0.03. Поэтому в приведенной выше версии программы BIOMORPH должны фигурировать

операторы вида:

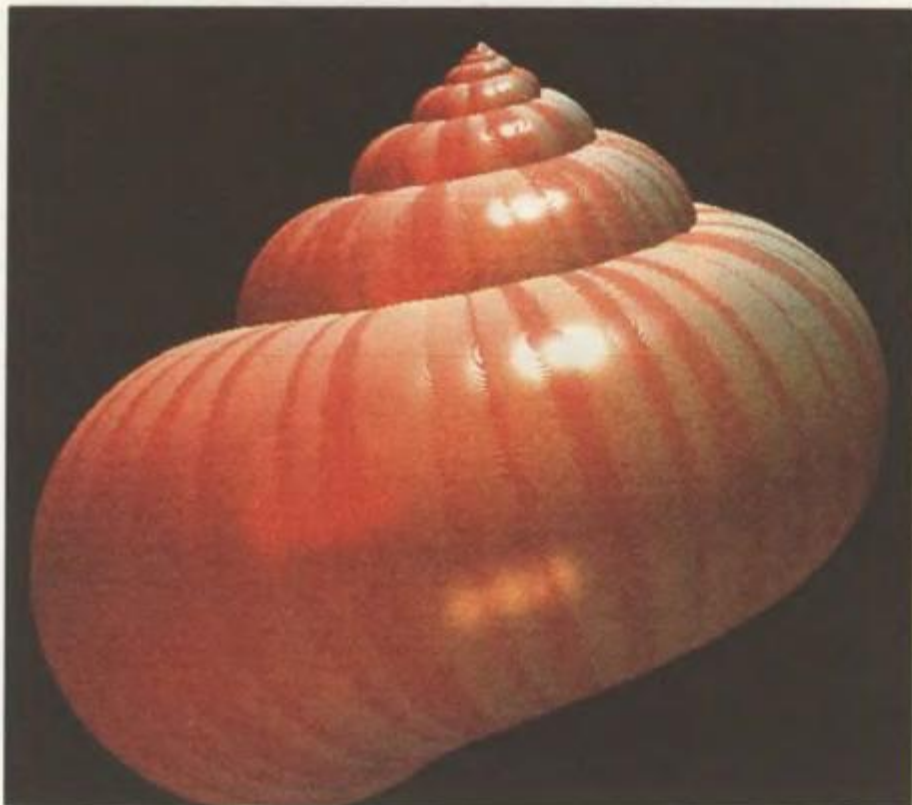
$$\begin{aligned} \text{real}(z_0) &= -1.5 + 0.03j, \\ \text{imag}(z_0) &= -1.5 + 0.03k \end{aligned}$$

позволяющие вычислять 10 000 значений z_0 , каждое из которых итерируется и тестируется.

В самом внутреннем цикле с 10 итерациями мы постоянно следим за величиной z . Величина комплексного числа — это просто квадратный корень из суммы квадратов действительной и мнимой его частей. Если величина оказывается больше 10, то программа должна сразу выйти из цикла (даже в том случае, когда число итераций еще не достигло 10) и перейти к проверке значений действительной и мнимой частей числа z по отдельности. (На самом деле проще сравнивать сумму квадратов действительной и мнимой частей z с числом 100, чем квадратный корень из этой суммы с числом 10; результат сравнения будет тем же.)

Независимо от числа итераций величина последнего значения z проверяется по отдельности для действительной и мнимой части путем их сравнения с числом 10. (Абсолютное значение обычного числа со знаком равно самому этому числу без знака.) Если действительная или мнимая часть меньше 10, то пиксел с координатами (j, k) окрашивается черным цветом. В противном случае — белым.

Для большинства персональных компьютеров пикселы с координатами в диапазоне от 1 до 100 лежат в угловой части экрана. Чтобы расположить изображение в центре, нужно изменить начальные и конечные значения индексов j и k . Например, j и k



Раковина улитки, порожденная логарифмической функцией

могут пробегать значения от 50 до 150, а не от 1 до 100, как это было в нашем алгоритме.

Все остальные подробности, касающиеся программы BIOMORPH, предоставим уточнять самим читателям. Я лишь напомню, что z , z_0 и c представляют собой комплексные числа и их следует складывать и умножать по соответствующим правилам. По той же причине операторы присваивания в алгоритме, в которых участвуют величины z , z_0 и c , на самом деле должны быть представлены двумя присваиваниями в рамках обычного языка программирования — одно для действительной и одно для мнимой части.

Как посмотреть в микроскоп Пикоувера на другие организмы? На самом деле это можно сделать с помощью все той же программы BIOMORPH. Нужно лишь подставить другую итерационную формулу в сердцевину алгоритма. Другими словами, вместо $z^3 + c$ в рассмотренной выше программе нужно воспользоваться другой функцией.

Вероятно, те, кто напишет программу BIOMORPH, захотят поохотиться и на других существ, обитающих в центральном квадрате 20×20 комплексной плоскости. Простейший способ поиска заключается в том, чтобы систематически сканировать всю эту область; в последующем

можно посмотреть ту или иную зону под увеличением, чтобы подробно исследовать графические элементы существа, обнаруженного в ходе предварительного поиска. Как правило, годится любое небольшое значение c .

В некоторых альтернативных формулах, с помощью которых генерируются биоморфы, можно, например, воспользоваться необычной степенью z , а именно z^z , в других — применить тригонометрические операции. Пикоувер любезно согласился выслать всем желающим короткое посвящение в тайны комплексной тригонометрии и искусство возведения комплексного числа z в степень z . Вооружившись этими познаниями, программисты сумеют написать свои версии программы BIOMORPH, с помощью которых можно «поймать» все показанные здесь виды простейших микроорганизмов.

Пикоувер впервые столкнулся с биоморфами, когда совершил случайную ошибку в программе, предназначенной для изучения фрактальных свойств различных формул. По невнимательности он поставил OR вместо AND в одном из условных операторов для проверки текущего значения переменной z . В результате этого непреднамеренного изменения в черный цвет было окрашено значительно большее количество пикселей на исследуемой картинке. В частности, от-

ростки по бокам биоморфов, похожие на реснички, целиком состоят из таких пикселей.

Хотя биоморфы были созданы совершенно случайно, они, кажется, зажили своей собственной жизнью. Как говорит Пикоувер: «В некотором смысле можно сказать, что математические создания существуют. Эти объекты обитают на комплексной плоскости, хотя и напоминают микроскопические организмы, которые мы легко можем увидеть в капле воды из любой лужи». В каком же море мы могли бы поймать представителей более развитых форм жизни? Пикоувер считает важным и тот факт, что сложность как естественных, так и искусственных организмов является результатом многократного применения простых динамических правил.

В настоящее время работа Пикоувера в исследовательском центре связана с изучением новых подходов к определению смыслового содержания данных по их внешнему виду. Например, очень трудно выявить регулярность или случайность нулей и единиц, которыми заполнены страницы, где представлены биты данных. И все же Пикоувер может выявить степень случайности данных с помощью простого графического приема, основанного на плитках Трюше, названных так в честь французского монаха и энциклопедиста Себастьяна Трюше, жившего в XVIII в. Пикоувер модифицировал исходную форму плиток Трюше так, чтобы они состояли из двух четвертей круга в квадрате; центры круговых секторов находятся в противоположных углах квадрата, а ограничивающие их радиусы совпадают с двумя сторонами квадрата. Получающаяся в результате плитка (см. левый рисунок на с. 81) может иметь только две различные ориентации.

Если покрыть плоскую область плитками Трюше, могут возникнуть причудливые синусоидальные кривые. При этом внутри области не возникает свободных концов, они встречаются лишь по краям. Каждая кривая будет обязательно непрерывной, потому что середины сторон прилегающих друг к другу квадратов (точки, в которых начинаются и заканчиваются дуги окружностей) соприкасаются.

Массив из нулей и единиц можно преобразовать в узор Трюше, просто расположив его отдельные плитки в том же порядке, что и двоичные разряды, и ориентируя плитку одним способом, когда встречается 0, и другим, когда встречается 1. Если биты данных выбраны случайным образом, утверждает Пикоувер, то в узоре не выявляется

никаких закономерностей: кривые изгибаются и замыкаются совершенно хаотически (хотя в этом хаосе есть своя красота).

Однако стоит внести в данные небольшой элемент регулярности, как характер узора меняется и в нем начинают проступать определенные закономерности. Если, к примеру, сгенерировать массив битов, в каждой строке которого за одним нулем с несколько большей вероятностью следует другой нуль, нежели единица, а за единицей опять-таки с большей вероятностью следует единица, то кривые, наблюдаемые на плитках Трюше, приобретут четко выраженную тенденцию к диагональному виду.

Лично мне больше по вкусу узоры, созданные случайными комбинациями битов, такие как на рисунке. Они предлагают нам множество задач занимательного характера. Например, встречаются ли в таких узорах лабиринты? Попытайтесь найти канал, ведущий от верхнего ряда плиток к нижнему или от одной стороны массива к другой. Проследивая за этими каналами, мы часто будем наталкиваться на «острова» — замкнутые кривые. Любая кривая, не касающаяся краев квадратной области, должна рано или поздно соединиться сама с собой. Некоторые из подобных кривых образуют маленькие окружности. По оценкам Пикоувера, среднее количество таких окружностей в произвольном узоре Трюше составляет 0.054 от полного числа плиток. С другой стороны, отношение числа колоколообразных кривых к полному числу плиток равно 0.0125. Я предлагаю читателям самостоятельно классифицировать остальные типы замкнутых кривых. Какие еще типы возможны и каково их среднее число в расчете на одну плитку?

Написать программу, превращающую биты в плитки Трюше, нетрудно. Предположим, что у вас имеется массив двоичных разрядов. Тогда вам нужно лишь организовать двойной цикл просмотра массива, в котором для каждого элемента массива в соответствующей позиции компьютерного экрана изображается плитка с соответствующей ориентацией. Думаю, что этих объяснений достаточно, и теперь мы можем обратиться еще к одной графической задаче Пикоувера: фрактальному попкорну.

Изображение попкорна Пикоувера, как бы осязаемое, приведено в правой части рисунка на с. 81. На самом деле эти кружева были получены путем итерационного решения пары дифференциальных уравнений в дискретной форме. Координата x точки решения вычисляется путем вычитания значе-

ния функции y из координаты x решения, вычисленного на предыдущем шаге. Аналогичным образом координата y точки решения вычисляется вычитанием значения функции x из координаты y решения на предыдущем шаге. Такая система уравнений называется циклической. Циклические системы, основанные на тригонометрических функциях, по-моему, особенно ботажный источник интересной компьютерной графики.

Итерационный процесс с перекрестными переменными в программе POPCORN описывается следующей парой уравнений:

$$\begin{aligned}x_{n+1} &= x_n - h \cdot \sin(y_n + \text{tg}(3y_n)) \\ y_{n+1} &= y_n - h \cdot \sin(x_n + \text{tg}(3x_n)).\end{aligned}$$

Здесь тригонометрические функции умножаются на малую константу h , так чтобы новые значения x или y никогда не отстояли далеко от предыдущих, независимо от того, как долго продолжается итерационный процесс. В программе Пикоувера h равно 0.05.

Как показывает приведенное ниже алгоритмическое описание, программа POPCORN итерирует формулы по 50 раз для каждой из 2500 исходных пар значений (x_0, y_0) , при этом каждый раз на экране компьютера закрашивается соответствующий пиксел.

```
for j = 1 to 50
  for k = 1 to 50
    x0 = -6 + 0.24j
    y0 = -6 + 0.24k
    x = x0
    y = y0
    for n = 1 to 50
      xx = x - h * sin(y + tg(3y))
      yy = y - h * sin(x + tg(3x))
      x = xx
      y = yy
      вычислить jp и kp
      plot (jp, kp)
```

(Здесь xx и yy — временные переменные, которые служат для того, чтобы следить за текущими значениями переменных x и y в пределах данного шага итераций.)

Исходные значения для обеих координат выбираются из точек, принадлежащих квадрату размером 12×12 единиц с центром в точке начала координат плоскости xy . Другими словами, исходные значения x лежат в интервале между -6 и $+6$; то же самое относится к исходным значениям y . Аналогично программе BIOMORPH программа POPCORN строится на вложенной структуре циклов, в которой вычисляются наборы начальных значений. Но в программе POPCORN индексы обоих циклов пробегают значения от 1 до 50.

Два комплексных числа складываются путем суммирования их действительных и мнимых частей по отдельности. Иными словами, сумма комплексных чисел $a + bi$ и $c + di$ равна комплексному числу $(a + c) + (b + d)i$.

Произведение двух комплексных чисел равно $(ac - bd) + (ad + bc)i$. Пользуясь этой формулой, можно вывести формулу квадрата числа $a + bi$, которая имеет вид $(a^2 - b^2) + 2abi$. Действительная часть этого возведенного в квадрат числа равна $(a^2 - b^2)$, а мнимая — $2ab$.

Применив еще раз формулу умножения, получим формулу для нахождения третьей степени числа $a + bi$. Действительная часть возведенного в куб комплексного числа будет равна $a(a^2 - 3b^2)$, а мнимая — $b(3a^2 - b^2)$.

Действия над комплексными числами

Наконец, точки, заданные 50 парами (x, y) , сгенерированными для каждой исходной пары (x, y) , должны быть отображены в виде пикселей на экране. Это делается при помощи простой формулы, устанавливающей соответствие между значениями x, y , с одной стороны, и значениями jp, kp — с другой.

$$\begin{aligned}jp &= 4.166x + 25 \\ kp &= 4.166y + 25\end{aligned}$$

Поэтому фрактальный попкорн Пикоувера состоит целиком из пикселей, координаты которых получают в результате итераций. Читатели могут по своему выбору рассмотреть под увеличением те или иные фрагменты попкорна и обнаружат изящные и совершенно неожиданные узоры. Они могут также «раскрасить» попкорн, как это делает сам Пикоувер, выбирая для закрашивания пикселей новый цвет всякий раз, когда внутренний цикл начинается сначала.

Графика Пикоувера уже не раз привлекала внимание общественности. Его работа обсуждалась не только в различных журналах, но и на телевидении; полученные им изображения демонстрировались даже на выставках в Швейцарии, Японии и в экспозиции музея вычислительной техники в Бостоне.

Я завершаю тему этой статьи, представляя вниманию читателей одно из последних творений Пикоувера: восхитительную раковину улитки с удивительно реалистичной окраской и бликами. Изображение, приведенное на рисунке на с. 82, было построено из последовательности сфер, центры которых перемещались по плавной логарифмической спирали. Световые блики были получены с по-

мощью метода трассирования лучей, моделирующего отражение лучей от различных поверхностей.

ТЕМОЙ статьи в нашей рубрике майского номера журнала был компьютерный вандализм: злонамеренные программы, размножающиеся в памяти машины и выводящие из строя полезное программное обеспечение. Нашествие таких компьютерных «вирусов» и «червяков» продолжается. Больше года ходили слухи о новом вирусе, поражающем программы для табличных расчетов, и недавно эти слухи подтвердились. Эксперт по вирусам Харольд Хайленд, редактор журнала «Computers and Security» («Компьютеры и безопасность»), называет эту новую инфекцию макровирусом, поскольку она основана на командах, называемых макросами.

Получить детальную информацию о вспышке макровируса довольно трудно, наверное, потому, что она поразила корпорации, которые совсем не заинтересованы афишировать эти неприятные подробности. Говорят, что одна из версий вируса распространяется с программами «Лотус 1-3-3». Всякий раз, когда пользователь выполняет зараженную программу, вирус вызывает из памяти произвольную таблицу, изменяет на небольшую величину число, содержащееся в какой-то одной ячейке и возвращает измененную рабочую таблицу в память. Потенциально вирус может нанести большой ущерб, поскольку небольшие изменения в дан-

ных могут остаться незамеченными в течение нескольких месяцев, существенно влияя на результаты вычислений.

Несмотря на эти новые факты, Том Питтмен из Спрекелса (шт. Калифорния) считает, что в своей статье, опубликованной в майском номере, я несколько преувеличил опасность, связанную с вирусами. По его мнению, следует проводить четкое различие между полезными и разрушительными вирусами. Это различие может быть семантическим. Дело в том, что существуют полезные программы, которые ведут такой же образ жизни, как вирусы или черви. Они выполняют разнообразные функции, от сжатия файлов до сканирования входной информации, однако обычно их не называют ни вирусами, ни червями.

Е. Хайнлайн из Милл-Вэлли (шт. Калифорния) намерен добиваться создания центра по борьбе с компьютерными болезнями по аналогии с Центром по борьбе с (человеческими) заболеваниями, созданным в Атланте. Подобный центр был бы частью более широкой программы по изучению, классификации и подготовке нового законодательства, касающегося информирования общественности об эпидемиях вируса и наказания виновных. Исследования, принятые в рамках этой программы, возможно, помогут созданию новых фильтров и методов обнаружения вируса, а также методов восстановления поврежденных вирусом компьютерных систем.

первые перед смертью стремились покинуть растение, на котором питались, и спрятаться, тогда как вторые оставались на месте.

Многие паразиты влияют на поведение своих хозяев — новое в случае *A. nigripes* и картофельной тли заключается в том, что изменение в поведении организма-хозяина избирательно: тля прячется, когда такое поведение выгодно личинкам осы и не делает этого, если паразит в том не нуждается. Бродер и Макнейл полагают, что личинки *A. nigripes* в состоянии диапаузы побуждают своих хозяев хорониться перед смертью в укрытие, поскольку это обеспечивает паразиту защиту от перепадов температуры и нападения хищников на период зимы. Последнее подтверждается наблюдением за хозяевами гиперпаразитического вида ос, которые откладывают яйца в тлей, уже содержащих личинок, и вторые личинки пожирают первых. Если тли несли личинок *A. nigripes* в состоянии диапаузы и потому находились в защищенных местах, они меньше подвергались нападению гиперпаразитических ос. Таким образом, *A. nigripes* не только убивает картофельную тлю, но и заставляет ее обеспечивать защиту своему собственному «палачу».

Квадратура круга

Кругов квадратура, кубов удвоения
Нам не несут удовлетворения

М. Приор, 1717

НА ПРОТЯЖЕНИИ последних двух тысячелетий несметное множество циркулей, линеек и ножниц было погнуто и сломано в попытках преобразовать круг в квадрат, занимающий ту же площадь. Постепенно математики стали откладывать эти инструменты в сторону, убеждаясь, что они не дают желаемого результата. И все же усилия 100 поколений не пропали даром. Круг все же удалось превратить в квадрат.

Миклош Лажкович из Будапештского университета продемонстрировал метод разбиения круга на конечное число точек, кривых и фрагментов изогнутой формы, которые можно перерасположить таким образом, чтобы получился квадрат той же площади. «Доказательство было проведено многими математиками, занимавшимися проблемой квадратуры круга, — говорит С. Уэйгон из колледжа Смита. — Похоже, что метод Лажковича правилен».

Первые попытки построить квадрат из круга при помощи циркуля и линейки предпринимались еще учеными Древней Греции. Эти попытки,

Наука и общество

Коварное влияние

ПОВЕДЕНИЕ животных подчиняется законам эволюции. Это стало общеизвестным. Новостью является то, что в ходе эволюции может формироваться прямое воздействие паразита на поведение его хозяина. Такое явление существует у некоторых паразитов насекомых. В журнале «Science» Ж. Бродер и Дж. Макнейл из Университета Лавала в Квебеке сообщают, что личинка осы *Aphidius nigripes* в своих интересах изменяет поведение картофельной листовой тли, которая служит ей хозяином. Самка осы откладывает яйца в тело тли, и вышедшие из них личинки поедают неудачливую тлю изнутри, так что та в конце концов погибает. Когда развитие личинки завершается, она покидает мумифицированные остатки тли. Однако при приближении зимы паразит (здесь точнее был

бы термин «паразитоид», поскольку организм-хозяин в результате гибнет) может остаться на долгое время в теле мертвой тли в состоянии так называемой диапаузы (временного физиологического покоя с пониженным уровнем метаболизма) до тех пор, пока весной условия не станут более благоприятными.

Бродер и Макнейл наблюдали, что тли, не несущие паразитов, зимой, как правило, держатся под листьями, а те особи, в которых отложила свои яйца *A. nigripes*, перед смертью перемещаются на верхнюю поверхность листьев. Исследователи меняли условия для содержащихся в лаборатории тлей, несущих личинок осы, таким образом, что примерно половина личинок впадала в диапаузу. Оказалось, что тли, в которых находятся личинки в состоянии диапаузы, ведут себя иначе, чем те, в которых паразит сохраняет нормальную активность:

как и более поздние усилия математиков, пользовавшихся таким подходом, окончились неудачно. Круг и квадрат имеют одинаковую площадь только в том случае, если отношение стороны квадрата к радиусу круга равно квадратному корню из числа π . В 1882 г. математики доказали, что два прямолинейных отрезка с таким соотношением длин построить с помощью циркуля и линейки невозможно, и, следовательно, этот метод не позволяет решить задачу о квадратуре круга.

Однако энтузиазм математиков не угас и после того, как невозможность решения этой задачи была доказана математически. Отбросив линейку и циркуль, они взяли в руки ножницы и пробовали разрезать круг на такие фрагменты, из которых затем можно было бы собрать квадрат. Если вы сами попытаетесь сделать это, то вскоре обнаружите, что округлые края не прилегают вплотную друг к другу. После многочисленных попыток вы придете к убеждению, что задача неразрешима, что и было строго доказано 26 лет назад Л.Е. Дьюбинсом, М.В. Хиршем и Дж. Карушем из Калифорнийского университета в Беркли.

Оставалась открытой, однако, версия проблемы квадратуры круга, которая и была в конце концов решена Лажковичем: можно ли разложить две геометрические фигуры одинакового размера на один и тот же набор из конечного числа точек, кривых и других сложной формы фрагментов — таких, которые невозможно вырезать ножницами?

Альфред Тарский, который первым поставил эту проблему, и Стефан Банах решили ее в 1924 г. для трехмерных фигур. Они разделили шар на извивающиеся и перфорированные фрагменты, из которых можно собрать куб того же объема. Парадоксальным оказалось также то, что шар можно разбить на части, из которых можно собрать тело практически любой формы и объема (см. статью А.К. Дьюдни в рубрике «Занимательный компьютер» в июньском номере журнала). Примечательно, что двумерная версия этой проблемы оказалась значительно сложнее.

Лажковичу, кажется, удалось наконец найти ответ. В своем доказательстве, занявшем 39 страниц, он описывает необычной формы фрагменты, из которых строятся круги и квадраты. Кроме круга, его метод допускает квадратуру эллипса или любой другой фигуры, границу которой можно представить гладкой замкнутой кривой. Любую из этих плоских фигур, согласно доказательству Лажковича, можно разложить на фраг-

менты, из которых собирается квадрат просто путем сдвигания фрагментов без их вращения.

Некоторые из этих фрагментов напоминают детали обычных составных головоломок, однако многие другие представлены одиночными точками или изогнутыми фигурами. Едва ли вам захочется самостоятельно собрать их, потому что для этого потребовалось бы огромное пространство и время. По оценке Лажковича, его метод квадратуры круга требует около 10^{50} отдельных фрагментов. Если каждый из них занимал бы в среднем площадь 1 см^2 , то круг, составленный из них, покрыл бы десятую часть сечения нашей Галактики.

Цена вредных привычек

ФЕДЕРАЛЬНЫЕ и местные налоги на такие продукты, как табак и алкоголь имеют своей целью, по крайней мере частично, компенсировать потери здоровья, обусловленные курением и употреблением спиртного. Достигается ли эта цель? Результаты исследования, проведенного группой специалистов по вопросам здравоохранения из корпорации Rand, Мичиганского и Гарвардского университетов, показали, что выплачиваемый курящими налог,* по-видимому, достаточен для того, чтобы покрыть издержки, которые из-за них несет общество, пьющие же оплачивают свой порок недостаточно. Как указывает У. Мэннинг из Мичиганского университета, налоги на пиво, вино и крепкие спиртные напитки следуют поднять примерно на 25% на каждую порцию (т. е. в среднем до 50 центов), чтобы доходы от их продажи привести в соответствие с общественными издержками.

Эти выводы оказались неожиданными. Исследователи начали с проблемы курения, чтобы проверить предположение о том, будто налоги на сигареты не компенсируют общественные издержки, а затем переключились на вопросы потребления алкоголя. Когда исследование было завершено, специалисты пришли к выводу, что размер налога на табачные изделия экономически оправдан; что же касается налога на спиртные напитки, который не претерпел существенных изменений на протяжении более 35 лет, то, по словам Мэннинга, «он не сбалансирован».

Результаты проведенного исследования указывают на то, что расходы, которые несет общество по лечению последствий обеих вредных привычек, примерно одинаковы, однако чрезмерное потребление алкоголя да-

ет дополнительные убытки в размере 1 долл. на каждую унцию (около 30 г) выпитого спиртного в виде порчи имущества, судебных издержек и гибели непьющих. (По определению группы исследователей, «чрезмерным потреблением» считается выпивание больше пяти порций в день; по их оценкам, доля чрезмерного потребления составляет 40% общей продажи спиртных напитков.)

Алкоголь, как следует из данных, собранных специалистами корпорации Rand, наносит больший демографический ущерб, чем табак. Хотя и курящие, и сильно пьющие, как правило, умирают раньше, алкоголики раньше бросают трудовую деятельность и поэтому расходы по их пенсионному обеспечению, например, не уступают размеру пенсионных выплат умеренно пьющим, кто позже уходит на пенсию и живет дольше. В то же время некоторые модели показывают, что от продажи табачных изделий общество не остается в накладе: курящие чаще берут больничные листы, чем некурящие, в результате чего увеличиваются страховые выплаты, но умирают они, как правило до того, как общество успеет понести большие расходы по их пенсионному обеспечению или уходу на дому во время болезни. Только когда реальные процентные ставки становятся выше примерно 3,5%, размер этой экономии через какое-то время падает настолько, что текущие издержки, связанные с курением, начинают преобладать.

Потребление как алкоголя, так и табака коррелирует с другими факторами, обуславливающими сокращение продолжительности жизни ниже среднего уровня: к ним относятся преждевременное прекращение обучения в школе и отказ от использования ремней безопасности в автомобиле. Если бы эти факторы не были учтены, то полученные в процессе исследования результаты были бы иными. «Мы учитывали все, что поддавалось измерению», — заявил Э. Килер из корпорации Rand.

Поскольку на долю тех, кто водит автомобили в нетрезвом виде, приходится очень большое количество издержек, связанных с чрезмерным потреблением алкоголя, то было бы разумно, указывает Мэннинг, обложить особенно большим налогом спиртное, продаваемое в розлив. Он отмечает, что потребление пива несовершеннолетними падает с ростом его стоимости и, таким образом, увеличение налога на алкогольные напитки могло бы снизить число смертельных случаев и компенсировать убытки, которые несет общество.

Все о кошках; алгоритмы и компьютеры; физический мир животных и растений; природа Индии



ФИЛИП MORRISON

Домашняя кошка: Биология поведения. Под редакцией Д. Тернера и П. Бейтсона

THE DOMESTIC CAT: THE BIOLOGY OF ITS BEHAVIOR, edited by Dennis C. Turner and Patrick Bateson. Cambridge University Press (\$ 22.95)

Вот уже 4 или 5 тыс. поколений кошек живут с человеком. Целенаправленным же выведением новых пород этих животных люди занимаются самое большее на протяжении нескольких столетий. Сейчас в США насчитывается около 50 млн. кошек, которые живут в домах, амбарах, полях и на улице. Среди городского населения большинства промышленно развитых стран мира кошка становится самым популярным домашним животным.

Поведение кошки описано во многих замечательных книгах, но чаще всего с художественной, а не с научной точки зрения. В рецензируемом же издании собраны работы десяти исследователей из разных стран мира, занимающихся изучением поведения этих животных — как домашних, так и одичавших — на основе современной этиологии. Материал книги исчерпывающий: в ней есть главы и о развитии и поведении котят и их матерей, и о кошачьих сообществах с их «иерархией», и об охотничьих повадках этих животных. Повествование сопровождается прекрасными рисунками, выполненными Мелиссой Бейтсон.

Собака делит место у человеческого очага с пещерных времен, в то время как причины неполного одомашнивания кошки остаются не совсем ясными. Приручение кошек началось значительно позднее, где-то после третьего тысячелетия до н. э. Главным предком современных домашних кошек была североафриканская разновидность дикой пятнистой кошки *Felis silvestris lybica* — гораздо более послушной, чем ее своенравная северо-

европейская родственница. В египетской гробнице, относящейся к 1900 г. до н. э., найдены кости семнадцати кошек, а также небольшие сосуды для молока. Кошки в Египте были одомашнены к 1600 г. до н. э. Их изображения часто встречаются на древних рисунках, на которых запечатлены бытовые или охотничьи сцены. Кошки были любимыми домашними животными и объектами культа уже за пять столетий до того, как Геродот написал о богине в образе кошки и ее окружении, а также об огромном храме в ее честь, который каждую весну посещали 700 тыс. паломников.

Позже кошки были одомашнены в Риме, а затем в Индии и на Дальнем Востоке. И в Европе, и на Востоке эти животные то пользовались горячей любовью, то их ненавидели. Последнее обстоятельство связано с представлениями о якобы присущей им колдовской и демонической силе, в некоторой степени порожденными отрицательным отношением к активной сексуальности самок и «непостоянству... самцов». И ныне у людей далеко неодинаковое отношение к кошке, «которая гуляет сама по себе». К собакам же, столь преданным человеку, отношение вполне однозначное. Вместе с тем в США ежегодно умерщвляют десятую часть тех и других животных, которых бросили хозяева.

Кошки — прекрасные охотники. Мать очень рано начинает приносить котят мертвую добычу, а после того, как она перестает кормить их молоком, отпускает около них уже живую добычу, показывая котяткам, как надо ловить и убивать жертву. На протяжении всей своей жизни кошки в выборе добычи следуют урокам, преподанным им еще матерью, и в большинстве случаев охотятся на тех же самых мышей и крыс. Развитие охотничьих навыков котят проходит через определенные стадии, на которых они в игре усваивают технику охоты. Как только котенок освоил какую-то

стадию, приобретенные навыки он уже не меняет. Интерес к окружающим, в частности людям, котята начинают проявлять где-то в возрасте от двух до семи недель.

Рацион кошек..., находящихся на «самообеспечении», включает главным образом полевков, затем молодых кроликов и зайцев и уж потом домашних мышей и крыс. Замыкают этот перечень насекомоядные. Менее охотно кошки всех континентов поедают птиц, не отказываются они и от насекомых и пресмыкающихся. Если кошкам дополнительно давать молоко, то все строения в радиусе около 50 м от места их обитания будут избавлены от серых крыс. Кошки охотятся на молодых крыс массой до 100 г, поэтому уцелевшим крысам требуется значительное время, чтобы восстановить свою популяцию. В этом, вероятно, и заключается причина столь раннего одомашнивания кошек. Существует мнение, что кошки «самоодомашнились» в процессе охоты на грызунов, которыми кишели египетские житницы. Однако следует учесть и то, что египтяне были известными укротителями животных — обезьян, гиен, мангустов, крокодилов, львов и т. д. Они просто не могли упустить из виду кошек, даже если бы те и не охотились за мышами и крысами.

В книге прекрасно описаны кошачьи сообщества, от одиночных особей до полчищ диких животных на необитаемых островах, добывающих себе пропитание разорением гнезд морских птиц. Известны скандальные проделки кошек, обитающих в римских развалинах группами, в каждой из которых насчитываются десятки животных, ежедневно подкармливаемых сердобольными горожанами, а также истории о еще более многочисленных стаях этих животных в японских рыбацких поселках, где они питаются обильными промысловыми отбросами. Авторы приводят также результаты исследований жизни колоний кошек разной численности.

Вопрос этот далеко не прост, однако трудно избежать вывода о том, что в основе кошачьего сообщества лежит «материнская линия», когда данная группа животных состоит из одной женской особи и нескольких поколений ее отпрысков. Стабильное сообщество включает в себя группу родственных женских групп, к которым на какое-то время присоединяется некоторое количество молодых и старых котов. Плотность популяций зависит от наличия корма. Например, в Швеции, кошек регулярно кормят жители сельских местностей. В Австрии источником их существования

являются многочисленные стаи молодых кроликов, обитающих на диких пастбищах этой страны.

Как ни странно, в книге ничего не говорится о генетических особенностях поведения кошек. Имеется упоминание о глухоте голубоглазых белых кошек, которые обладают необычайно кротким нравом. У сиамских кошек наблюдается серьезное нарушение на пути передачи зрительной информации между сетчаткой глаза и элементами преобразования сигналов. Причиной этого является дефицит одного фермента. Тем не менее, имеющийся у них механизм компенсации позволяет этой породе достаточно хорошо различать предметы.

Книга представляет собой прекрасный образец этнологического исследования. Изложенное в ней в некоторой степени относится и к людям, поскольку нас с кошками роднят некоторые общие признаки, характерные для млекопитающих. Особо пристального внимания заслуживает пластичность поведения кошек, как бы сформированного из ограниченного количества модулей, в определенных сочетаниях соответствующих широкому набору изменяющихся внешних условий, в которых кошки оказываются по воле людей. Не меньшей адаптируемостью обладает и наша заинтересованная у приматов и обогащенная культурной традицией природа. Мы «дрессируем» себя даже более успешно, чем кошек, пусть и на фоне смутно воспринимаемого нами собственного эволюционного наследия. С этим выводом, впрочем, могут согласиться не все авторы рассмотренной нами столь живо написанной и увлекательной книги.

Арно Пензиас. ИДЕИ И ИНФОРМАЦИЯ: УПРАВЛЕНИЕ В МИРЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

IDEAS AND INFORMATION: MANAGING IN A HIGH-TECH WORLD, by Arno Penzias. W.W. Norton & Company (\$17. 95)

КАКИМ образом можно найти все анаграммы в каком-нибудь тексте? Если текст состоит из одного предложения, например такого: «Can cane sugar lead to a good deal of acne?» (Может ли тростниковый сахар привести к высыпанию большого количества угрей?), то можно решить задачу путем сопоставления букв первого и всех последующих слов. Однако такой утомительный способ не годится для текста объемом в страницу или книгу. Гораздо лучше сопоставить только слова одинаковой длины, еще лучше сгруппировать слова по длине до проведения такого сопоставления

или же во избежание повторных сопоставлений сначала расположить все слова в алфавитном порядке. Но лучше всего расставить по алфавиту буквы в каждом слове, а затем дать в алфавитном порядке уже новые полученные сочетания: a, ascen, ascen, asp, adel, adel ... Две анаграммные пары теперь сразу заметны. Вот вам пример разумного алгоритма, или последовательности элементарных шагов, необходимых для достижения конечной цели, а именно получения интеллектуального модуля компьютерного программирования. «По моему мнению, способность нахождения такого творческого решения ближе к компьютерной грамотности, чем просто запоминание клавишных команд, делает вывод автор рецензируемой книги.

Эта компактная, написанная простым языком и не перегруженная уравнениями книга вводит читателя в современный мир компьютеров. Ее автор, известный специалист в области радиоастрономии, в настоящее время возглавляет исследовательские работы на фирме AT&T Bell Laboratories.

Ныне звукозаписывающие фирмы уже не хранят в своих фондах аналоговые записи звуков, услаждающих слух. Вместо этого во время исполнения музыкального произведения они через каждые несколько микросекунд «отбирают» усиленный сигнал и измеряют его амплитуду, т. е. делают цифровую запись, практически свободную от помех. Это — лишь один из многих содержащихся в книге примеров компьютеризации различных областей.

Автор рассказывает не только о самих идеях, но и о технических средствах их воплощения. Он также касается человеческого фактора в области применения новой техники, иерархии хорошей и плохой организации и наконец приводит краткую биографию Теодора Н. Вейла, который участвовал в создании современной системы Bell в период между президентством Теодора Рузвельта и Уоррена Гардинга. Попутно даются сведения об огромном шахматном компьютере Belle, псевдопсихиатрической системе ELIZA и расцвете волоконно-оптических средств связи. Мы также узнаем и об истории фирмы Apple, которая сумела из дерзкого новичка превратиться в мощную и необычно удачливую корпорацию.

В книге описано немало курьезных случаев. Вот один из них. В Холмделе (шт. Нью-Джерси) находится большая рупорная антенна, та самая, с помощью которой автор некогда обнаружил «послесвечение» Большого

взрыва и которую никогда не использовали для передачи сигналов. И тем не менее даже в периоды, когда антенна бездействовала, один живший недалеко от нее человек жаловался на то, что она мешала приему телепередач. Напрасно специалисты Bell Laboratories разясняли, что такого просто не может быть, но в конце концов вняли его отчаянным просьбам и приехали к нему домой. И что же? Прав оказался неискушенный телезритель, а не специалисты. Огромная неподвижная конструкция отражала телевизионный сигнал, искажая изображение! Эта история, рассказанная автором с присущим ему чувством юмора, может послужить примером того, насколько важен непредубежденный подход в науке и технике.

Кристофер Лазу. СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

SUPERCOMPUTERS AND THEIR USE, by Christopher Lazou. Revised edition. Oxford University Press (\$55)

ЭТА КНИГА напоминает те труды, в которых приводятся изображения и сравнительные данные военных кораблей или самолетов всего мира. Она вряд ли окажется полезной для технически не информированных читателей или же, наоборот, для тех, кто вплотную занимается проблемами вычислительной техники. Такие книги скорее пленяют своим очарованием и расширяют кругозор любознательного и критически настроенного читателя, который одержим стремлением увидеть лес за деревьями. Для подтверждения такой оценки достаточно взглянуть на одну из страниц этой живо написанной книги. На ней рядом приведены выполненные в масштабе схематические рисунки суперкомпьютеров Cray-2 и Cray-3 (вид сверху и сбоку). Первый из них имеет S-образную форму с поперечным размером около 1,5 м. Впервые он был запущен на корабле NASA в составе радиолокационной испытательной станции министерства обороны США. Опытный образец Cray-3, имеющий форму восьмиугольника высотой около 1 м, был создан в прошлом году в Чиппева-Фолс (шт. Висконсин), где К. Лазу с восхищением наблюдал за его роботизированной сборкой. Система поражает воображение своими новыми, более быстродействующими микросхемами на арсениде галлия и невероятно высокой степенью миниатюризации. Cray-3 должен стать доступным для потребителей в течение года. Быстродействие и емкость его запоминающего устройства в 5-10 раз превышают соот-

ветствующие характеристики систем Cray-2.

Суперкомпьютеры существуют столько же, сколько и цифровые вычислительные системы. Название «суперкомпьютер» просто-напросто присваивается самым быстрым и мощным на данный период компьютерам общего назначения. По сравнению с обычными большими компьютерами они способны в 100 раз быстрее обрабатывать данные. Обычно их считают «компьютерами для научных лабораторий», хотя применяются они отнюдь не только в исследовательских лабораториях, например для дешифровки материалов, анализа потоков сообщений и даже для создания разного рода цифровых эффектов на киностудиях. В 1985 г. около 70 суперкомпьютеров, т. е. половина всего имевшегося к тому времени парка, работали в правительственных учреждениях. В 1990 г. намного больше таких систем появится в университетах и промышленности, где их можно будет использовать для определения расхода топлива в самолетах, автомобилях, реакторах, составления объемных сейсмических карт, а также анализа сложных конструкций, океанских течений и прогнозирования погоды в реальном масштабе времени. К началу 1990-х гг. парк суперкомпьютеров во всем мире должен увеличиться до 450 единиц. В настоящее время их рынок на трех континентах контролируется шестью корпорациями. По их оценкам, каждая такая машина будет стоить до 20 млн. долл.

Книга впервые была издана несколько лет назад. В настоящем издании значительная ее часть переработана и книга в целом отражает уровень разработки и производства суперкомпьютеров, соответствующий началу 1988 г. В ней имеется краткое приложение с характеристиками современного языка ФОРТРАН для обработки массивов данных.

Суперкомпьютеры работают в быстром, через каждые две наносекунды, параллельном или последовательном режиме. Параллельные потоки данных и отдельные операции одновременно проходят по десяткам каналов и попадают в многоканальные центральные процессоры. Новая модификация Cray снабжена шестнадцатью такими процессорами. Быстродействующие машины имеют небольшие размеры, что обусловлено необходимостью обеспечения связи между блочными элементами с учетом того, что двунаправленные сигналы проходят по длинным каналам медленно. Такие плотноскомпонованные и активные машины неизбежно работают в напряженном тепло-

вом режиме. Их мощность достигает 150 кВт при объеме, заполненном сложнейшей электроникой, гораздо меньше 1 м³. Такая мощность эквивалентна той, которая развивается автомобильным двигателем внутреннего сгорания, причем в отличие от последнего компьютеры изготовлены не из алюминия и стали, а из весьма чувствительных материалов. Поэтому решающее значение здесь имеет эффективное охлаждение всех узлов и деталей машин дифтордихлорметаном. Новые суперкомпьютеры обладают обширной памятью, порядка двух миллиардов слов с 64 разрядами в каждом из них.

Из всего сказанного следует, что успех суперкомпьютеризации зависит от согласованного решения множества проблем. Необходимо обеспечение многоканальной обработки данных, которая уже применялась на протяжении целого поколения машин на низком уровне множественности. Не менее важна быстрая пошаговая работа при выполнении десятков логических операций с плавающей запятой между отдельными тактами. Много времени уходит на взаимное связывание разных параллельных потоков, равно как и на выдержку между последовательными шагами. Быстродействие цепочки событий определяется самым «медленным» ее звеном. Новые «массивно-параллельные» структуры с множеством небольших центральных процессоров, работающих в замедленном режиме, обладающих умеренной мощностью и, например, связанных как бы вдоль многочисленных ребер многомерного гиперкуба, способны привести к созданию хороших и недорогих специализированных мини-суперкомпьютеров, которые в настоящее время разрабатываются сотней небольших фирм. Сейчас они не доминируют в мире вычислительных машин, хотя, возможно, это когда-нибудь и произойдет. По слухам, один из известнейших конструкторов уже работает над машиной с миллионом процессоров. Заманчивы также перспективы увеличения быстродействия суперкомпьютеров на основе использования волоконной оптики. Стоит представить батарею из шестнадцати оптически связанных компьютеров Cray-3 с центральным, совместно используемым запоминающим устройством.

А впереди уже просматриваются возможности слияния различных систем. Еще до начала нового тысячелетия ожидается появление машин, основанных на совместном использовании обычных, конструктивно более сложных, но достаточно быстродействующих систем, и еще более

оперативных «массивно-параллельных» устройств. Обогащается также их программное обеспечение, в настоящее время основанное на языке ФОРТРАН тридцатилетней давности, хотя, конечно, и в его новой стандартной форме «8x avatar». В развитии всех этих возможностей отчетливо проявляется доминирующее влияние IBM. Однажды на смену Cray-4 придет новая разработка этой фирмы, а возможно, и некий многомегаваттный гигант с многоканальной обработкой данных. Такова картина бурного расцвета новой техники.

Стивен Фогель. МЕХАНИЗМЫ ЖИЗНИ: ФИЗИЧЕСКИЙ МИР ЖИВОТНЫХ И РАСТЕНИЙ. Иллюстрации Розмари Энн Калверт

LIFE DEVICES: THE PHYSICAL WORLD OF ANIMALS AND PLANTS, by Steven Vogel. Illustrated by Rosemary Anne Calvert. Princeton University Press (\$ 17.95)

СПОСОБНОСТЬ выстоять — не всегда привилегия сильных. Взять, например, бурые водоросли, произрастающие в холодном, колеблемом волнами «лесу». Прочность их длинных стеблей на несколько порядков ниже, чем сухожилий или кутикулы. Зато они настолько эластичны, что могут удлиниться при растяжении почти на 50%. Лишь редкая волна способна превысить предел прочности этих растений.

Стивен Фогель — зоолог в Университете г. Дьюк-Сентер. Он специализируется в области биомеханики, изучающей механические свойства организмов, главным образом на макроскопическом уровне. Жидкие среды — это «инфантильное пристрастие» Фогеля, возникшее у него еще в ясельном возрасте, когда малыши с восторгом наблюдают за льющейся водой. В свое время им была написана другая книга, более специальная по сравнению с рецензируемой, которая представляла собой исчерпывающее введение в физику жизни в движущихся жидкостях. Сейчас же автор предлагает более широкий взгляд на жизнь организмов, позволяющий увидеть, какие «ограничения и возможности» есть в арсенале эволюции — этого терпеливого зодчего. Он хорошо понимает возможности неискушенного читателя и преподносит свой материал в очень доверительной и раскованной манере, хотя, может быть, и несколько злоупотребляя игрой слов.

Трудно представить более совершенное и краткое введение в физику, чем то, которое дается в первых четы-

рех главах этого тома вместе в основами математики в конце книги. Графики, таблицы и примеры с минимальным количеством формул позволяют новичку без особого труда понять основные законы механики и геометрии.

В книге не все безукоризненно. Некоторые высказывания автора весьма неожиданны. Например, он пишет: «О размере животного можно судить не только по изображению его скелета, но и по микрофотографии клетки его печени». Конечно, животные клетки имеют определенные размеры, однако их внутренний биохимический механизм соответствует общим потребностям обмена веществ. Фогель не упоминает митохондрий, хотя несколько далее он рассматривает мышечные волокна и микрососуды на уровне микромира.

Проблемы сравнительной биомеханики последовательно раскрываются на примерах жидких сред, материалов и конструкций. Завершается книга эссе, в котором автор касается энергетических проблем.

Инженер далеко не всегда следует природным «решениям». Его «корабли не вливают кормой...», а самолеты не машут крыльями». Прежде всего он руководствуется практическими соображениями. Взять хотя бы колеса. Среди живых макроорганизмов не встречается движения качения, весьма характерного для разного рода известных нам машин. Некоторые сторонники теории эволюции пространно рассуждают о трудностях создания в органическом мире свободно-вращающихся колес, однако здесь Фогель цитирует своего «беспокойного друга» Майкла Ла-Барберу, по мнению которого полезность колеса сильно зависит от развития дорог: «Представление о преимуществе колеса как средства передвижения не соответствует истине». Достаточно посмотреть на узкие, извилистые улочки Касбы, где так свободно чувствуют себя верблюды, ослы и носильщики, чего нельзя сказать о повозках или автомобилях.

Читателю из Нью-Мексико можно простить некоторый скептицизм по поводу высказанных соображений. Представьте себе большое растение, гонимое непрерывным ветром по холмистой прерии. Передвигается такое растение как бы на нескольких колесах из высохших ветвей с огромным количеством отростков, удерживаемых прочным стеблем, который когда-то питал их. Перекати-поле, в сущности, представляет собой сплошное колесо. При необходимости эволюция действительно способна на создание конструкции в виде ко-

леса, и возможно, что она существует на других планетах.

Эта прекрасная книга нацеливает читателя на анализ достойных сравнения аналогов, взятых из окружающего нас мира, почти всегда поучительных, хотя и не всегда равноценных.

Энциклопедия естествознания Индии. Под общей редакцией Р. Хокинза. Художественные редакторы Дорис Норден и Битту Сагал.

ENCYCLOPEDIA OF INDIAN NATURAL HISTORY, R.E. Hawkins, General Editor. Doris Norden and Bittu Sahgal, Illustrations Editors. Published on behalf of the Bombay Natural History Society by Oxford University Press (\$ 49.95)

БОГАТА и удивительна природа Огромного субконтинента, на котором расположена Индия и несколько других стран. Поражают своим разнообразием и существующие там человеческие культуры. Оба эти мира неотделимы друг от друга. Животные и растения снежных гор и жарких пустынь, дремучих лесов и обширных побережий являются не только источником существования людей, но и неотъемлемой частью их среды обитания. Насколько беднее были бы наши представления о природе Индии без тигра и павлина, сокола и кобры, баньяна и лотоса.

Сто лет назад «восемь джентльменов из Бомбея» учредили Естественное общество, которое со временем приобрело общенациональное значение и статус лидера не только в области полевых исследований, но и в движении в защиту природы. Осознавая необходимость широкой общественной поддержки в деле сохранения животного и растительного мира, Общество решило отметить свое столетие публикацией данной книги, поистине предмета его гордости. Она представляет собой справочник, который, несомненно, станет настольной книгой для специалиста, хотя его язык понятен и студенту, и широкому читателю.

Книга содержит 550 статей различных авторов, а также множество прекрасных иллюстраций. Хотя авторы пишут о местной природе, как и во всякой другой подобной энциклопедии в ней есть статьи и о хлорофилле, и о гигантской панде, и о многих общих проблемах. Материал книги отличается ясностью изложения и понятен начинающему натуралисту. Язык ее свободен от фольклорных излишеств, которыми часто грешат авторы подобных изданий.

В Индии широко распространена спортивная ловля рыбы, самая большая из которой — это пресноводная полосатая зубатка весом до четверти тонны. Торнадо для этой страны редкость. Один из них был в Дели в 1978 г. и рассматривался как исключительное событие. Однако дважды в год, в период между сентябрем и январем, в глубь Индостанского полуострова проникают ураганы, или, как их прозаически называют, «сильные циклоны». В Бенгальском заливе такие циклоны наблюдаются вдвое чаще, чем в Аравийском море, и имеют катастрофические последствия для плотнонаселенных районов Бенгальской низменности. Гордостью влажных вечнозеленых лесов Западных Гат является высокое корабельное дерево. В течение сотен лет его рубили на мачты для дау, небольших каботажных судов. «За одно дерево платили столько рупий, сколько их (поставленных на ребра) укладывалось вдоль всего ствола», длина которого нередко достигает 45 м.

В застывших потоках базальтовой лавы, разлившейся на плато Декан, находится гряда знаменитых шестиугольных колонн, не уступающих аналогичным образованиям на Гебридах или в Вайоминге (США). Повсюду в этих широких ступенчатых колоннах рассыпаны так называемые «железнодорожные алмазы», жёоды, которые заполнены похожим на драгоценные камни кварцем. Такие породы в изобилии находили при прокладывании железнодорожных туннелей вблизи г. Пуны.

Столь распространенный в Индии садовый паук вьет свою шарообразную паутину, поднимаясь от центра к куполу, а затем строит под ним сетчатую площадку, используя ее в качестве плацдарма, свисая с которого он терпеливо выжидает появления добычи. Нередко в колючем кустарнике можно видеть несколько таких пауков. На одном из пляжей Бенгальского залива ежегодно гнездятся до двухсот тысяч морских черепах, а в благоприятные годы на некоторых соляных отмелях можно видеть сотни тысяч розовых фламинго. Ежедневно в парках Нью-Дели, а также по всему северу страны встречаются похожие на дроздов небольшие птицы, которые в переводе с языка хинди называются «семь сестер». Небольшими веселыми стайками они неторопливо прыгают по усыпанной листьями земле.

С другими красочными индийскими сюжетами, например соколиной охотой, слонами, тиграми, огромными единорогами, королевской коброй («самой умной из всех змей»), да к то-

му же единственной, которая живет в гнездах) или же удивительным деревом (азадирахта индийская), чьи красивые темно-зеленые листья сейчас широко используются в качестве эф-

фективного противомаларийного средства в виде жевательной резинки, вы должны познакомиться сами, внимательно прочитав эту необычайно привлекательную книгу.

жения и поэтому разбавление нефти будет идти быстрее.

Эрик Шнейдер, руководитель исследований, проводимых NOAA, говорит, что в предыдущих случаях разлива нефти жизнь восстанавливалась поэтапно: через несколько недель появлялся фитопланктон, затем питающийся им зоопланктон, а затем уже более крупные организмы. Больше всего Шнейдер опасается, что даже низкий уровень загрязнения может вредно отразиться на работе хемосенсорных органов рыб и беспозвоночных. В результате может пострадать рыбный промысел. К примеру, мелкие крабы, отравленные ароматическими соединениями, начинают рыть норы на отмелях и поэтому быстро погибают. Кроме того, ядовитые ароматические соединения концентрируются по мере прохождения по пищевой цепи, поэтому ткани организмов могут оказаться зараженными.

По мнению Дейвида Г. Шоу из Аляскинского университета в Фэрбанксе, землетрясение 1964 г. на Аляске вызвало большие нарушения, но в конце концов все восстановилось. Потребуется время и в данном случае — и оно будет идти медленно как для жителей Аляски, которые кормятся морем, так и для всех, кому не безразлична природа.

Антропология как искусство

КОГДА-ТО это казалось таким простым, если не романтичным: неустрашимый этнограф отправлялся жить среди людей какого-нибудь экзотического племени на одном из изолированных островов южных морей, чтобы записывать все, что там увидел. На основании своих наблюдений он потом строил общие выводы о поведении людей и социальной структуре их общества. Но вот среди ученых стали возникать сомнения — как научного, так и морального характера. А не отдает ли душком империализма и расизма сам принцип рассмотрения другого общества как «элементарного» и «примитивного» варианта так называемого современного (т. е. «белого», промышленно-развитого) общества? Разве структура любой конкретной культуры в большей степени зависит от влияния неповторимых внешних условий, чем от некоторых универсальных человеческих черт? А влияние той культуры, к которой принадлежит сам исследователь, — не сказывается ли оно на результатах его наблюдений? И наконец, не искажается ли еще более «правда» при написании работы?

Наука и общество

Остается только ждать

СКОЛЬКО времени потребуется на «оздоровление» Аляскинского залива после катастрофы, случившейся в ночь на 24 марта, когда танкер «Еххон Valdez», имевший на борту 1,2 млн. баррелей сырой нефти и направлявшийся в открытое море, наскочил на риф в заливе Принс-Уильям? Восстановится ли в своем первоначальном виде растительная и животная жизнь этого региона?

История показывает, что в конце концов экологическая обстановка восстановится, но процесс этот займет не менее десятилетия. Долговременные последствия подобных разливов нефти бывают различными в зависимости от береговой линии, ветров и температуры воды. Последствия аварии танкера «Амосо Kadiz» в 1978 г., при которой на французское побережье было выброшено 1,6 млн. баррелей нефти, продолжали ощущаться через восемь лет, а наиболее чувствительные места, например болота, только сейчас возвращаются к нормальному состоянию. В то же время мощный взрыв в 1979 г. на буровой вышке «Ixtos I» в Мексиканском заливе, когда в море было выброшено около миллиона тонн нефти, имел не столь заметные последствия: штормы разрушили значительную часть нефтяной пленки, пока в течение нескольких месяцев нефть изливалась в залив, и на побережье ее попало относительно немного.

В заливе Аляска, где в море вылилось 250 000 баррелей нефти, условия совсем другие. Во-первых, там холодно, а, по словам Джона У. Фаррингтона из Массачусетского университета в Бостоне, наблюдавшего несколько разливов нефти, мы мало знаем о поведении нефти в субарктических условиях. Температура на поверхности воды в заливе Принс-Уильям в середине апреля была низкой (-3°C). При такой температуре испарение замедляется, а «переработка» нефти бактериями, которые в конечном итоге и уничтожают нефть, занимает в два раза больше времени, чем при 10°C , как утверждает Дон К. Баттон из Аляскинского университета в Фэрбанксе. Некоторые исследователи,

например Эдвард Дж. Браун из того же университета, предложили «опрыскать» побережье поглощающими нефть бактериями, которые обычно выращивают с целью очистки балластных вод.

Нефть оказывает многообразное влияние на живые существа. Сильно страдают птицы, а также котки и каланы, которых от низкой температуры защищает мех. Такие млекопитающие, как обыкновенные тюлени, защищенные от холода жировой прослойкой, гораздо менее чувствительны, говорит Марк А. Фрейкер из В.Р. Exploration, Inc. Рыба пока не пострадала, сообщает Дейвид Кеннеди из Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (NOAA), организующий научное наблюдение за танкером. Но это лишь пока. Рыбы станут наверняка меньше, если будет подавлено обычное весеннее цветение планктона (которым рыба кормится). Большая часть мелких организмов, соприкоснувшихся с нефтью, быстро погибла.

Кеннеди предсказывает, что в бухтах нефть будет видна еще несколько месяцев. Фаррингтон полагает, что ближайшие последствия будут связаны не столько собственно с нефтью, сколько с ароматическими соединениями: ксилолом, толуолом и бензолом. Долговременное же влияние будут оказывать и эти соединения и продукты их разложения, которые проникают через клеточные мембраны, замедляют рост организма и, по-видимому, вызывают генетические нарушения. Разлившаяся в заливе Аляска сырая нефть содержит много высокомолекулярных соединений, а их молекулы распадаются медленно.

По оценке Фаррингтона, естественное разрушение нефти займет от 5 до 15 лет. Количество органических соединений в воде, замечает он, будет пополняться за счет нефти, задерживающейся в проходах между скалами и в донных осадках. В некоторых местах нефть проникла на глубину более метра в щели между скалами. Здесь, как утверждает Кеннеди, она может сохраняться довольно долго. Фаррингтон выражает надежду, что ледяные осадки в проливе будут абсорбировать меньше нефти, чем другие отло-

Может быть, ни один антрополог не ставил эти вопросы столь остро и настойчиво, как Клиффорд Джерц. В своей книге «The Works and Lives: The Anthropologist as Author» («Труды и жизни: Антрополог как автор»), последней из более чем десяти написанных им работ, Джерц размышляет о кризисе, который переживает его область знания: «Антропологи добавили к своим прежним сомнениям: «Хорошо ли это?» (Кто мы такие, чтобы описывать их?) новые — «Допустимо ли это?» (Можно ли петь о любви эфиопов по-французски?). Затем, как он это делает уже в течение трех десятилетий, Джерц с помощью примеров и недвусмысленных формулировок указывает выход из тупика. По его мнению, не следует взваливать на антропологию бремя идеологических или политических целей, а также подражать строгим методам «точных» наук. Решение лежит скорее в том, чтобы рассматривать труд антрополога, изучающего ту или иную культуру, как труд литератора, пишущего литературные произведения, «сочинения о реальных людях, живущих в реальных местах в реальное время». «Джерц — не единственный пропагандист этих идей, — говорит Джордж Е. Маркус из Университета Райса, — но самый яркий и оригинальный».

Этой весной, в один из ненастных дней, я взял интервью у Джерца в Институте высших исследований в Принстоне, шт. Нью-Джерси, где он работает с 1970 г. Сейчас Джерцу 62 года. С его косматой седой шевелюрой и бородой он напоминает медведя. Говорит Джерц также, как и пишет: начинает и останавливается, перемежает суждения невнятными оговорками. Есть в нем какая-то физическая неутомимость — во время разговора он тянет себя за ухо, скребет по щеке, сползает вниз со стула, а затем занимает прежнюю позу. Пока я задаю ему очередной вопрос, он то и дело натягивает ворот свитера на лицо, наполовину закрывая его, как налетчик, скрывающий свою внешность.

История его жизни также необычна и порой загадочна. Он вырос в графстве Марин, шт. Калифорния, в «своего рода приюте» и первым его стремлением было «выбраться отсюда к чертовой матери, и лучше не спрашивать почему». Джерцу удалось поступить в Антиохский колледж, шт. Огайо, где он специализировался по философии и мечтал стать писателем. «Я всегда отличался литературным складом ума, — вспоминает он. — Мои недруги, конечно, скажут, что я литератором и остался».

Джерц стал антропологом «совер-

шенно случайно». Он намеревался продолжать занятия философией после окончания колледжа, но один из профессоров уговорил его заглянуть в программу по антропологии Гарвардского университета. «Я ничего не знал об этой науке», — вспоминает Джерц. Когда же он находился в Кембридже, друг представил его Маргарет Мид. Знаменитый антрополог и Джерц провели вместе полдня. Мид показывала ему свои полевые записки и потчевала разными историями. Именно тогда он и решил стать антропологом. В 1952 г. он отправился на Яву. Это была его первая экспедиция. С тех пор он потратил много месяцев на изучение жизни племен Юго-Восточной Азии и Северной Африки. Джерц подчеркивает, что хотя он более всего известен — особенно за пределами антропологической науки — своими теоретическими работами, они составляют всего лишь около 10% его трудов; основная же масса публикаций содержит «эмпирические» наблюдения.

Наиболее знаменитое выражение эмпиризма Джерца — его эссе «Deep Play: Notes on the Balinese Cockfight» («Глубокая игра: Заметки о балийских петушиных боях»), написанное в 1972 г. Первое же предложение выдает далеко не простой стиль автора: «В начале апреля 1958 г. мы с женой, робкие и страдающие малярией люди, приехали в балийскую деревню, которую как антропологи намеревались изучать». (Джерц говорит, что его уподобляют Марселю Прусту и Генри Джеймсу; ему льстит сравнение с первым, но он думает, что сравнение со вторым вернее). В первой части эссе рассказывается, как молодая чета завоевала к себе доверие у обычно держащихся настороженно балийцев. Во время петушиных боев, которые были запрещены, полиция устроила облаву, и Джерц с женой, находившиеся в числе зрителей, были задержаны вместе с деревенскими жителями. Пораженные тем, что двое американцев не требовали особого к себе отношения со стороны полиции, жители деревни признали их «своими».

Получив такой статус, Джерц продолжил наблюдать и анализировать пристрастие балийцев к стравливанию петухов, вооруженных острыми, как бритва, шпорами. В конце концов он приходит к выводу, что в кровавом состязании отражается «страх балийцев перед темными силами, пронизывающими их кажущуюся спокойной жизнью». Как в «Короле Лире» или в «Преступлении и наказании», в петушиных боях «находят свое выражение такие темы, как смерть, мужественность, ярость, гордость, благород-

ство, удача и все это на каком-то пятачке».

Спустя год Джерц пытается оправдать свой в высшей степени литературный метод в эссе «Thick Description: Toward an Interpretive Theory of Culture» («Насыщенное описание: Об интерпретативной теории культуры»). Антрополог, считает он, не может дать описания какого-либо общества путем «регистрации фактов», как и литературный критик не может передать сути пьесы Шекспира, излагая ее фабулу. Задача антрополога состоит скорее в том, чтобы «интерпретировать» культуру, раскрыть ее богатое содержание. Этот прием, названный Джерцем «насыщенное описание» (термин заимствован у философа Джилберта Райла), никогда не приведет к созданию грандиозной единой теории человеческой природы, но он может обозначить условные границы нашего понимания, или, как это отмечает Джерц в характерной для него манере, к повышению «точности» нападков антропологов друг на друга.

Идеи Джерца находят поддержку со стороны многих антропологов, а также историков, философов и литературных критиков. Он не приемлет взгляды представителей по крайней мере двух групп антропологов. Одни — это те, которые считают, что их наука должна быть столь же аналитически точной и способной предсказывать, как физика. Джерц, называющий антропологию «скромной» наукой, теряет всякое терпение, выступая против этой точки зрения. «Антропология открыта для доказательств, и она делает теоретические обобщения», — объясняет он. «Но у нее нет ничего похожего на статус точных наук и, по моему убеждению, никогда не будет».

Другая группа антропологов рассматривает свою науку как средство для выявления несправедливых социальных структур и определения высших (обычно — социалистических). Эти исследователи обвиняют Джерца в том, что он анализирует общество как произведение искусства и превращает антропологию в разновидность эстетики, лишая ее морального критерия. Он отвергает это обвинение — «Я не считаю, что занимаюсь только развлечением». Его работа, говорит Джерц, служит обществу, открывая «более реалистический, менее платонический взгляд» на другие культуры. Он отмечает, что, например, в своих трудах об исламе пытался показать, что это «не есть недифференцированный сплав дикого фанатизма», и тем самым вызвать дискуссии.

Как и другие, Джерц осознает, что на пути развития «самоуглубленно-

литературного» подхода в этнографии существуют ловушки. «Я всегда чувствовал, что он может закончиться полным провалом», — говорит он. Некоторые молодые антропологи полны такой решимости обнажить все свои пристрастия, идеологические или риторические, что их работы напоминают исповеди и сообщают об авторе больше чем о самом предмете. Эта тенденция, которую Джерц шуточно именует «я-наблюдения», породила как несколько интересных работ, так и несколько удручающих. Но он настаивает, что антропологи не должны позволять «эпистемологической ипохондрии» ввергать себя в формальный академизм, так как в этом случае «антропология станет наукой только для антропологов».

Полагая, что «диффузия» антропологии есть одна из ее сильных сторон, Джерц говорит, что придет в ужас, если все его коллеги вдруг решат подражать ему. «Я не верю в школы или системы», — отмечает он. Он никогда не ставил себе целью увековечить определенную методологию, наоборот, он стремится к тому, чтобы «задавать тон и настроение и выдвигать повестку дня, с которой люди могут соглашаться или не соглашаться». Один из антропологов назвал его «усложнителем», и ему это, кажется, понравилось. «Я написал однажды, что путь к любой простоте лежит через сложность», — говорит он и улыбается.

Дегустация по-научному

ВИНОДЕЛЫ часто спорят о достоинствах различных сортов винограда, о погоде и технике виноделия. А теперь свое слово в этот спор сумел вставить химик.

Жерар Мартен, химик из Нантского университета, разработал метод сайт-специфического фракционирования природных изотопов (SNIF), в котором используется магнитный резонанс для анализа содержания различных изотопов водорода в простых молекулах. С помощью этого метода можно выявить наличие в вине различных добавок, например сахара, который используют для ускорения ферментации (процесс, называемый осахариванием), а также установить происхождение неизвестного вина. Сын Мартена Жиль основал компанию Eurofins, которая использует разработанный его отцом метод для анализа алкогольных напитков, фруктовых соков и парфюмерных изделий.

Страны Общего рынка с энтузиазмом отнеслись к методу Мартена. Согласно официальным данным, мо-

шенники, маркируя вина, изготовленные из смешанных сортов винограда и имеющие этикетки престижных винодельческих районов, ежегодно «выуживают» из карманов потребителей несколько сот миллионов долларов. Кроме того, виноградари из тех европейских стран, где солнечная погода способствует быстрому созреванию винограда, недовольны применением осахаривания, полезного в случаях, когда виноград не достигает той степени зрелости, при которой полностью проходит ферментация. Как отмечает в журнале «Nature» знаток вин Роберт У. Канн, если итальянцы и греки считают осахаривание «фальсификацией», то их французские и немецкие конкуренты называют его «обогащением». (В США осахаривание запрещено только в Калифорнии.)

В последние годы внимание привлекала масс-спектрометрия, с помощью которой, измеряя содержание изотопов углерода в различных видах сахара, можно определять вина, крепленые тростниковым сахаром. Но осахаривание производят также свекольным сахаром и концентрированным виноградным сахаром. Так как в свекольном и виноградном сахарах содержание изотопов углерода одинаково, до сих пор не существовало надежного метода определения многих осахаренных вин, объясняет Ричард Гэхэген, технический эксперт по вину Американского бюро по торговле спиртными напитками, табачными изделиями и огнестрельным оружием.

Метод SNIF нацелен не на изотопы углерода, а на соотношения между обычным водородом и его тяжелым изотопом дейтерием. Свекольный сахар имеет характерное соотношение водород — дейтерий, которое сразу же вскрывает SNIF. Соотношение водород — дейтерий, как сообщает Мартен, значительно варьирует и в самом винограде в зависимости от его сорта, а также от широты места и погодных условий. Например, в сортах, выращенных в Южной Италии, концентрация дейтерия может быть на 5% больше, чем на юге Западной Германии, поскольку в жарком, сухом климате концентрация дейтерия повышается.

Для определения происхождения вина, если есть подозрения, что оно представляет собой смесь различных сортов, Eurofins использует не только SNIF, но и более традиционные методы, включая масс-спектрометрию. Компания уже составила базу данных на 4000 образцов вин из различных винодельческих районов. Мартен говорит, что метод SNIF позволяет легко

отличить бордо от бургундского; отличить один сорт бордо от другого труднее, признает он. Пока анализ обходится недешево — от 200 до 300 долл. за пробу, но, по словам Мартена, года через четыре стоимость этой услуги снизится до 50 долл.

Комиссия стран Общего рынка официально признала SNIF как идентификатор осахаривания. Более того, SNIF делает технически возможным привести в соответствие друг с другом методы осахаривания, принятые в разных странах; возможно, предполагает Гэхэген, будет разрешено употребление лишь концентрированного виноградного сахара. В случае установления единой европейской политики по отношению к осахариванию, правительство США тоже должно будет обратиться к методу SNIF для проверки того, соответствуют ли требованиям европейской комиссии вина, ввозимые в Европу и привозимые оттуда. Однако еще остается много препятствий политического и культурного характера к установлению единой системы осахаривания вин.

Наука обретает голос

В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ пребывания на посту президента Рональда Рейгана аппарат научных консультантов при Белом доме сузился почти до невидимых размеров. Назначение Д. Аллана Бромли, выдающегося специалиста в области ядерной физики из Йельского университета, на пост руководителя Управления по вопросам политики в области науки и техники (УПНТ) спустя три месяца после прихода к власти администрации Буша может изменить сложившееся положение.

Безупречная научная и общественная репутация Бромли, его прямота, а также неустанная борьба за финансирование научных исследований возродили оптимизм относительно того, что голос науки будет наконец-то услышан новым хозяином Белого дома. Помимо руководства УПНТ Бромли будет также выполнять функции Помощника президента по вопросам науки и техники, что обеспечит ему доступ в Овальный кабинет и участие в органах, принимающих политические решения.

Бромли вступает в игру, которая уже началась. Целый ряд гигантских программ, в том числе посвященных созданию космической станции, сверхпроводящего суперколлайдера и генома человека, конкурируют на Капитолийском холме с политически

приоритетными ненаучными проектами. Согласно предварительным бюджетным оценкам, ассигнования на науку могут быть не удовлетворены полностью. Тем не менее президент Буш подтвердил долго невыполнявшееся обещание Рейгана удвоить к 1993 г. финансирование деятельности Национального научного фонда.

По словам Бромли, он более чем удовлетворен такими широкими перспективами. В качестве «общей приемлемой задачи» он поддерживает призыв, сделанный недавно Фрэнком Прессом, президентом Национальной академии наук, к удвоению общих федеральных капиталовложений в фундаментальные исследования (составляющих сейчас 10,5 млрд. долл.) на протяжении последующих пяти лет. Бромли действительно считает финансирование научных исследований вложением капитала. В этой связи он ссылается на результаты неопубликованного исследования, проведенного Эдвином Мэнсфилдом из Пенсильванского университета, по оценкам которого за последние 15 лет ежегодный общественный доход от научных исследований во всем мире составлял примерно 28%. Данные Мэнсфилда «впервые позволяют нам хорошо разобратся в этом вопросе», утверждает Бромли.

Он предлагает внимательно проанализировать соотношение между небольшими и крупными исследовательскими программами, которые привлекают внимание средств массовой информации. Бромли сомневается, в частности, в том, что некоторые запланированные крупные научные или технические программы должны проводиться исключительно силами американских специалистов. К их реализации до стадии конструирования можно было бы привлекать и иностранных коллег.

Всем опытом своей предшествующей работы Бромли подготовлен к новому посту в Вашингтоне. Он является членом многих правительственных организаций и вице-председателем комитета, который в 1986 г. первым предложил удвоить бюджетные ассигнования на нужды Национального научного фонда. Он завоевал репутацию откровенного, может быть, даже несколько резкого человека, высоко ценящего научную организованность и с неприязнью относящегося к наркоманам. «Что касается его общей подготовки, то она заслуживает весьма высокой оценки», — считает Уильям Д. Кэри, один из бывших руководителей Американской ассоциации содействия развитию науки. «Я не уверен в его исключительных способностях срабатываться с другими

людьми, но что касается остальных достоинств, то они и будут определять успех его деятельности», — считает Кэри.

Бромли, безусловно, есть что сказать по существу тех или иных проблем. Так, в 1980 г. он привлек большое внимание прессы своими высказываниями по поводу снижения уровня подготовки американских школьников и по-прежнему решительно настроен относительно необходимости совершенствования системы подготовки научных кадров в стране. По его словам, на уровне средней школы «положение просто скандальное», а на уровне университетов «имеются отдельные блестящие примеры на фоне массовой посредственности, не поддающейся описанию». Мировым лидером США являются только в подготовке дипломированных специалистов.

Своей основной задачей Бромли считает обеспечение президента Буша квалифицированными консультациями по всем научно-техническим проблемам и оказание ему помощи в «четком выявлении подлежащих выбору альтернативных решений». Действительно, одной из первоочередных задач Бромли будет формирование состава Президентского консультативного совета по вопросам науки и техники, нового органа, призванного играть более активную роль, чем его предшественник, Совет по науке при Белом доме.

Для повышения эффективности своей работы, разъясняет Бромли, ему надлежит завоевать доверие президента Буша и его советников, чтобы его воспринимали как своего человека в узком кругу Белого дома. С этой целью он намерен отказаться от каких-либо личных планов по проведению исследований в Йельском университете, а также не будет вмешиваться в решение многих важных научных и общественных проблем. Тем не менее он уже был членом исполнительного комитета Международного совета научных союзов, когда впервые была выдвинута идея о необходимости проведения обширного исследования земных систем, поэтому ему, скорее всего, хорошо известны проблемы глобальных изменений.

Инфляция и индекс потребительских цен

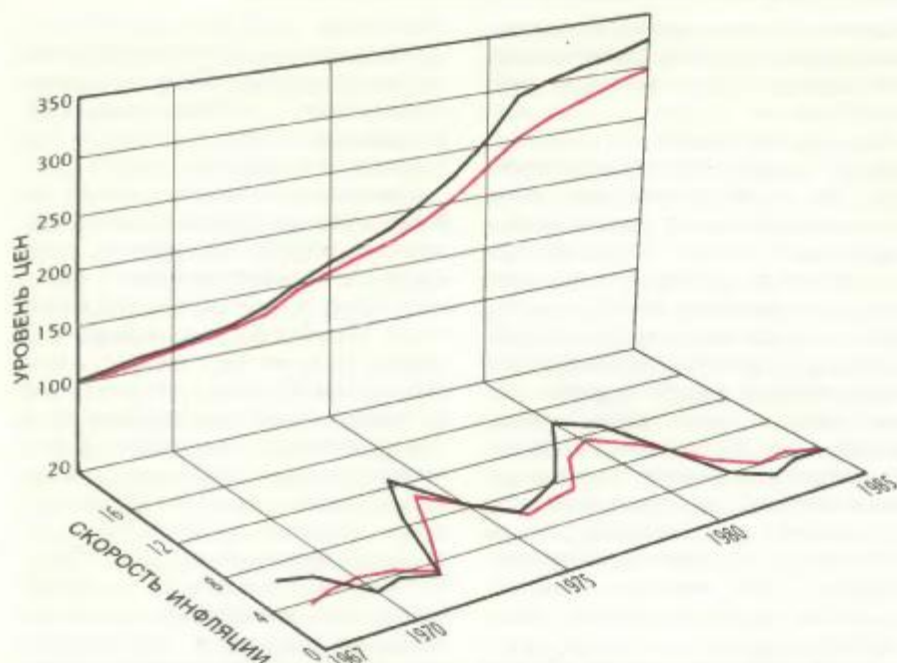
ИНФЛЯЦИЯ вызывает беспокойство почти у каждого американца. Когда она становится неуправляемой, деньги, напечатанные утром, могут обесцениться уже к полудню; в то же время устойчивые или снижаю-

щиеся цены — это иногда признак застоя в экономике. Совет федеральной резервной системы США поднимает ставки процента, чтобы сдержать инфляцию, и снижает их, когда это «чудовище» перестает буйствовать.

Основным показателем уровня инфляции является индекс потребительских цен (ИПЦ), т. е. средняя стоимость определенного набора («корзины») товаров и услуг. Каждый месяц торговцы облигациями и биржевые маклеры с тревогой ожидают, каков будет вновь объявленный индекс цен и отвечает ли он их интересам; раз в год Управление социального обеспечения, Налоговое управление и отделы кадров по всей стране пересчитывают размеры компенсационных выплат, налоговый диапазон и заработную плату на основе изменений индекса цен. Более 60 млн. людей, получающих пособия из правительственных источников, непосредственно ощущают изменения этого показателя. «Считается, что публикуемые цифры достоверны» — говорит Крэйг Коатс, вице-председатель фирмы Voute Coats Stuart & O'Grady, осуществляющей операции с ценными бумагами. Биржевые маклеры, по его словам, быстро и активно реагируют на изменения ИПЦ, равно как и на другие экономические показатели.

Казалось бы, столь солидный показатель есть не меньшая объективная реальность, чем любое природное явление. На самом деле ИПЦ не всегда соответствует уровню инфляции, и многие знают это из собственного опыта. Для того чтобы произвести расчет ИПЦ, сотрудники Бюро трудовой статистики (БТС) каждый месяц навещают магазины в различных районах страны и собирают данные о ценах почти на все товары — от бутылки газированной воды до грузовых автомобилей. Затем они вносят поправки, учитывающие количество или качество товара и умножают их на весовой коэффициент, соответствующий той доле, которую каждый вид товара составляет в бюджете семьи (эта доля определяется путем массового опроса и корректируется примерно раз в 10 лет.) Полученная в результате сумма и есть индекс потребительских цен. Для некой «средней» семьи повышение ИПЦ точно отражает уровень инфляции. Остальные семьи либо выигрывают, либо проигрывают — чаще немного, но бывает что и значительно.

Индекс потребительских цен имеет недостатки как в практическом, так и в теоретическом смысле. Как любой показатель, получаемый в результате выборочного обследования, он никогда не будет точно совпадать с «истин-



ИНДЕКС ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ЦЕН (красный) является мерой стоимости товаров. (Кривая на верхнем графике показывает изменение уровня цен, нижняя — ежегодный рост в процентах.) Чтобы определить величину заработка до уплаты налогов, необходимого для покупки этих товаров, Бюро трудовой статистики разработало экспериментальный «индекс налогов и цен» (черный). Индексация диапазона размеров налога, возможно, и позволила привести в соответствие индекс потребительских цен и индекс налогов и цен.

ним» средним значением ИПЦ для всей страны. В БТС было принято считать, что рассчитываемый ежемесячно ИПЦ не более чем на 0,1% отличается от истинного значения, но в 1978 г. сотрудники БТС перестали проводить такие оценки, поскольку проведенное ими исследование показало, что реальные ошибки по крайней мере вдвое выше. С 1990 г. БТС намерено публиковать новые данные по ошибкам.

По словам главного специалиста по статистике цен Куртиса Джекобса, старые методы не совсем верно учитывали взаимодействие между ошибками выборки для различных товаров и не позволяли сделать правильную оценку влияния ошибок выборки для отдельных категорий ИПЦ на суммарную ошибку. Как следствие, рассчитанный 6%-ный ежегодный рост ИПЦ в принципе мог бы соответствовать любому значению реальной величины в диапазоне от 3,5 до 8,5%. Таким образом, определяемый ежемесячно ИПЦ не может точно указать, составляет ли уровень инфляции 4 или 7%, хотя одна из цифр может означать повышение, а другая — падение курса ценных бумаг.

Измерение роста цен за более длительные периоды — за три месяца или за год, как это делается для корректировки прожиточного минимума, — уменьшает неопределенность: вывод о том, что с прошлого года

ИПЦ увеличился на 5%, с большой вероятностью означает, что истинное значение этого показателя находится в диапазоне от 4,6 до 5,4%.

Джекобс и его коллеги также пытаются определить, может ли начальная систематическая ошибка в измерении структуры расходов повлиять на ошибки определения ИПЦ в большей степени, чем месячные колебания курса цен. Сведения о потребительских расходах, получаемые в результате массовых опросов, весьма неопределенны и быстро устаревают за период между опросами. Изменение в структуре расходов потребителя может существенно повлиять на величину реального роста расходов. Например, хотя ИПЦ указывал, что цены на нефть и газ в период с начала 70-х до начала 80-х годов ежегодно поднимались более чем на 12%, в действительности потребители тратили на эти продукты каждый год лишь на 9% больше, чем в предыдущий год. К 1983 г. индекс цен переоценивал реальные расходы в этой области примерно на 40%.

Кроме того, как отмечает экономист из БТС Мэри Кокоски, в 70-х годах рост ИПЦ в различных демографических группах варьировал в пределах не менее 10%, поскольку в этих группах тратили деньги на различные «наборы» товаров и услуг. Например, для семей с относительно низким достатком из среднего класса цены в

среднем ежегодно увеличивались на 8,3%, в то время как для семей из среднего класса с более высоким достатком ежегодный рост цен составлял 7,5%.

Такие вариации особенно сильно отражаются на тех, у кого доход — скажем, в виде талонов, выдаваемых службой социального обеспечения, — устанавливается на основании официально публикуемого уровня инфляции. Пожилые тратят больше денег на медицинское обслуживание, чем молодые, поэтому повышение стоимости медицинского обслуживания на 7% было бы для них более ощутимым, чем рост ИПЦ на 4%.

Еще более важным обстоятельством для людей пожилого возраста является то, что БТС собирает сведения о прожиточном минимуме тех, кто не пользуется вспомоществованием государства и благотворительных организаций, поэтому те, кто живет, скажем, в домах для престарелых, никак не учитываются при корректировке размера пособий или пенсий. Несмотря на то что БТС, по словам Кокоски, ввело специальные индексы цен, различия в структуре расходов в пределах одной демографической группы, как правило, не меньше тех, которые характерны для разных групп, так что специально рассчитываемые индексы могут быть такими же неточными, как и общий индекс.

Но даже если бы и удалось ввести такой индекс потребительских цен (или семейство индексов), который бы точно отражал структуру расходов, это мало бы что дало для ответа на вопрос, который волнует многих людей: «Каким должен быть мой доход, чтобы уровень моей жизни не снижался?»

Чтобы ответить на этот вопрос, Кокоски и ее коллеги разработали новый показатель. Он отражает изменение доходов (до уплаты налогов), которые должна иметь семья, чтобы оплачивать стандартный набор потребительских товаров и услуг по ценам, соответствующим текущему ИПЦ. В периоды высокой инфляции (как в конце 70-х годов) «индекс налогов и цен» опережает ИПЦ; между 1975 и 1980 гг. даже те, чья заработная плата была пересчитана с учетом поправки на инфляцию, в среднем теряли по 6 центов на каждый доллар заработной платы. В начале 80-х годов благодаря уменьшению налогов индекс налогов и цен опустился ниже ИПЦ, и налогоплательщики с пересчитанным размером доходов фактически выигрывали один цент на несколько долларов.

Помимо учета структуры налогов и расходов имеется проблема и более фундаментального характера: из чего

складывается уровень жизни? Следует ли, например, увеличение расходов на развлечения считать фактором столь же важным, как и увеличение расходов на медицинское обслуживание? (В применяемой сегодня системе подсчета эти факторы считаются равнозначными.) Другой вопрос: должна ли мера уровня жизни учитывать такие «косвенные» факторы, как преступность или загрязнение окружающей среды? Многие экономисты в течение ряда лет пытались ввести такие показатели в систему расчета уровня жизни, но ни один из методов не получил широкого признания. Одно остается бесспорным: если вы не можете отделаться от мысли, что рост вашего дохода не соответствует инфляции, то, по всей вероятности, ваше чувство вас не обманывает.

Гипермедия — ваша помощница

ШКОЛЬНИЦА, которой поручили подготовить доклад о женщинах в истории Америки, включает компьютерную систему, связанную с видеомонитором, и смотрит короткий фильм, посвященный иммиграции в США. С помощью устройства ввода типа «мышь» она останавливает фильм на том кадре, где изображена женщина, после чего на экране компьютера появляется изображение бланка с текстом, содержащим сведения о женщинах-иммигрантках. При упоминании о швейной промышленности ученица устанавливает другой клип, посвященный индустриализации, и смотрит, как женщины трудятся в фабричных цехах. По ходу дела она собирает «фотографии» нужных ей кадров в электронный файл иллюстраций. Эти фотографии она затем включает в свой доклад. В другом случае администратор телефонной компании размышляет о новых видах услуг, которые можно предложить клиентам. Компьютер иллюстрирует ему каждый вид услуг из тех, что разрабатываются в центре Bell Communications Research (Bellcore). По команде администратора компьютер выдает более подробные сведения о программном и техническом обеспечении, необходимом для реализации того или иного вида услуг, о его ориентировочной стоимости и достоинствах.

Эти простые примеры иллюстрируют новые подходы к организации информационных систем, называемых гипермедиями*. В частности, си-



ГИПЕРМЕДИЯ может дополнить содержащиеся в информационной системе фактографические данные видеоинформацией. Пользуясь, скажем, банком данных ДНК, разработанным совместно фирмами Apple Computer, Lucasfilm и Смитсоновским институтом, студенты в процессе обучения могут просматривать видеофильм и, останавливая его на любом кадре, вызывать из памяти системы дополнительную текстовую информацию. Фото Э. Каши.

стема с информацией по американской истории будет выпущена журналом «National Geographic» (совместно с киностудией Lucasfilm) в январе следующего года. Пакетом программ Bellcore уже пользуются несколько телефонных компаний. Что это, просто новые базы данных? Нет, как говорят программисты. Гипермедия — это принципиально новый способ организации информации, при котором она может быть представлена в виде текста, фотоизображения, видеоклипа и звука. Технически она основана на компьютерах, видеодисках и телемониторах и позволяет создавать библиотеки со многими видами носителей информации, используемыми в зависимости от нужд пользователей.

Системы гипермедии многообразны — от школьных обучающих систем, основанных на фиксированных, ограниченных базах данных, до сложных программ управления изменяющимися потоками деловой и технической информации. Присущая всем им черта — это «нелинейность», т. е. каждую из них фактически нельзя охарактеризовать каким-либо одним признаком. Вместо последовательного представления информации гипермедия выбирает ее и пользователь сокращает свой путь к цели. Фундаментальная новизна гипермедии в том, что она является еще одним отступлением от систем, предназначенных для узкого круга «компьютерной интеллигенции», к системам, более приспособленным к нуждам и возможностям большинства людей.

Впервые идея гипермедии была высказана в 1945 г. в журнале «Atlantic Monthly» в статье Ванневару Буша, который во время второй мировой войны возглавлял Управление по научно-техническим исследованиям и разработкам США. Буш предсказывал, что со временем ученые разработают новый подход к организации информации. Согласно его сценарию, гипотетическая машина — «мимекс», как он ее назвал, — мгновенно предоставляющая пользователю нужную информацию, поможет людям создавать специализированные в той или иной области базы данных.

Техническая основа гипермедии была заложена в конце 60-х годов. Однако только с появлением относительно дешевых и мощных компьютеров и новой технологии записи и хранения данных (в частности, видеодисков) гипермедия стала практически осуществимой. В 1987 г. компания Apple Computer выпустила пакет программ HyperCard, который быстро был положен в основу целого ряда проектов, включая разработки национального географического журнала «National Geographic» и телефонной корпорации Bellcore. Этот программный пакет работает подобно электронному файлу индексированных карточек. Отдельные факты хранятся на так называемых электронных карточках, которые можно тасовать в любом порядке.

Привязывая карточки к слайдам, видеоклипам и звуковому воспроизведению, — в чем, собственно, и заклю-

* Гипермедия — термин, образованный от слов hyper — сверх и media — средство коммуникации, носитель информации. — Прим. перев.

чается суть этих первых проектов гипермедии, — можно в корне преобразовать школьные занятия, как говорит К. Хупер, возглавляющая лабораторию по проблемам хранения информации на различных носителях в компании Apple. Учащиеся могут, например, прочитать текст о каком-нибудь научном открытии, прослушать интервью с одним из ведущих ученых в данной области и проанализировать подробные диаграммы. Одним из первых продуктов подобного рода была подборка материалов по выборам 1988 г., сделанная агентством ABC News и фирмой Optical Data в Уоррене (шт. Нью-Джерси); другую, посвященную ближневосточному конфликту, планируется выпустить этим летом.

Творческое наследие Дж. Штейнбека и Шекспира было также адаптировано для гипермедии. По ходу чтения романа «Гроздь гнева» учащиеся могут ознакомиться с особенностями экономического кризиса 30-х годов и, в частности, с высказываниями по этому поводу Франклина Рузвельта, статистикой по сельскому хозяйству того времени и популярными тогда песнями Вуди Гатри. Те, кто изучает Шекспира, могут «поставить» его пьесы на электронной сцене, выбирая персонажей из обширной коллекции, хранящейся на видеодиске. Для студентов медиков в медицинском центре Станфордского университета имеется система «электрический труп», с помощью которой они могут изучать анатомию. Начав со всего скелета, студенты переходят к изучению плечевого сустава. Можно также стимулировать нерв и наблюдать эффект этой стимуляции на других органах и частях тела. «Когда у вас накапливается критическая масса взаимосвязанного материала, такая система становится очень полезной», — говорит С. Дж. Фридман, возглавляющий разработку проекта. (Фридман ожидает, что «электрический труп» поступит в продажу в 1990 г.)

Критики этого новшества утверждают, что такие средства, как видеоизображение и звук, скорее создают внешний эффект, ничего не добавляя по существу. Генерируемое компьютером многообразное представление информации, по-видимому, просто «имитирует практику телепередач, рассчитанную на создание прежде всего зрелищного эффекта, который несет в себе мало полезной информации», — пишет Н. Арнетт, редактор издания «Multi-Media Computing & Presentations». Однако преподавателей все больше беспокоят учащиеся, трудно усваивающие печатный материал. Если им легче усва-

ивать информацию, поступающую по нескольким каналам восприятия, то такая технология должна превратиться в ценное средство школьного обучения, считает М. Уайт из Учительского колледжа Колумбийского университета.

Другие исследователи уже отошли от «бланков» и пытаются построить системы типа гипермедии, которые облегчают пользование справочной литературой — учебниками, пособиями и пр. Люди, отыскивающие нужную информацию, даже бегло перелистывая страницы, находят сразу то, что искали, в среднем лишь в 20% случаев, считает Т. Ландауэр, руководитель проекта Bellcore. Поэтому в системе фирмы SuperBook (сверхкнига) сделан акцент на очень гибкие методы информационного поиска. (По заданной ключевой фразе система отыскивает соответствующие разделы, даже когда порядок слов в фразе нарушен.) В системе SuperBook вначале и после каждого выбранного раздела приводится краткое оглавление, чтобы пользователь имел возможность с одного взгляда, как бы через расширяющую поле зрения камеру, охватить перспективу — соседние разделы изучаемой проблемы.

Организация блоков информации в нелинейные сети, по мнению исследователей, по-видимому, также хорошо подходит для управления особо сложными разработками. Например, в корпорации Microelectronics and Computer Technology (MCC) гипермедия применяется в системе управления разработкой нового программного обеспечения. Несколько лет назад офицеры на борту авианосца «Карл Винсон» применили экспериментальную систему гипермедии, созданную в Университете Карнеги—Меллона, для управления военным судном. Компания Westinghouse также исследовала вопрос о том, как с помощью гипермедии операторы ядерных энергетических станций могли бы получать быстрый доступ к информации в чрезвычайных ситуациях. В настоящее время компания Knowledge Systems в Питтсбурге продает коммерческий пакет программ, основанный на результатах этих опытных разработок.

Многие системы гипермедии включают в себя и другие программные средства, в том числе экспертные подсистемы. На основе программ фирмы Knowledge Systems специалисты центра Bellcore в настоящее время разрабатывают систему, которая должна помочь региональным компаниям планировать свою коммерческую деятельность и контролировать действия дочерних фирм. Если какая-либо компания принимает правила, соглас-

но которым дочерние фирмы не должны конкурировать друг с другом, то система может сигнализировать менеджерам о возникающих конфликтах. В чем же тут преимущества гипермедии? Традиционные экспертные системы рассчитаны в основном на людей, имеющих определенную подготовку в информатике, в то время как средства гипермедии понятны всем и каждому, говорят специалисты из Bellcore.

И все же пока конструкторы гипермедии сталкиваются со многими проблемами. Существует ли достаточное количество информации как текстовой, так и изобразительной для получения исчерпывающего ответа на тот или иной вопрос? (Даже редакция «National Geographic» и агентство новостей «ABC» вынуждены искать дополнительные источники информации.) Не устареют ли лазерные диски под натиском новых технологий записи и хранения информации? Какими свойствами должны обладать системы гипермедии, чтобы они были наиболее эффективными и удобными в обращении?

Бесспорно одно, гипермедия не является универсальным изобретением, как, скажем, транзистор, который можно легко скопировать и применять где угодно. «Каждая компания должна самостоятельно определить способ применения гипермедии исходя из специфики собственных потребностей в организации», — говорит Д. Тьюрок, один из руководителей в Bellcore. По его мнению, те компании, которые раньше других решат, какую структуру придать своему информационному фонду, окажутся лидерами в «информационных гонках».

Мышление категориями качества

ГЕНИТИ Тагути, вероятно, забавляет сложившаяся по иронии судьбы ситуация. Дело в том, что более 30 лет назад американские статистики выступали в японских компаниях с лекциями о совершенных технологических процессах. Сегодня же разработанные им идеи прогнозирования качества находят все больше сторонников уже в деловой Америке.

Проблема контроля качества имеет в Америке свою историю. Соответствующие аналитические методы были разработаны еще в 1920-х годах. Легендарный У. Эдвардс Деминг, специалист в области статистики, ввел процедуру технологического контроля в практику японских компаний. Вскоре «премия Деминга» за достижения в области качества продукции стала в

Японии наиболее престижной. Американцам же потребовалось сильнейшее потрясение от снижения конкурентоспособности их товаров в начале 1980-х годов, чтобы многие фирмы обратились к идеям Деминга и подобно японцам стали с таким же вниманием относиться к проблемам качества.

В настоящее время американские компании самым активным образом вводят более строгие меры такого контроля на всех стадиях, начиная от разработки новых изделий и кончая технологией их производства. Надо, однако, сказать, что выявление дефектов в конце производственного цикла все еще остается важным, хотя и дорогостоящим способом контроля качества. На протяжении последних двух лет на предприятиях McDonnell Douglas Missili Systems введена система, в соответствии с которой управляющие и рабочие фирмы получают карточки карманного размера с указанием критериев качества, в том числе «четырнадцать пунктов Деминга по изменению производства» и принципов Тагути по планированию качества.

В чем же суть предложенного метода? Тагути, специалист в области статистики и промышленной экспертизы, предлагает конструировать «прочные» изделия, т. е. такие, которые сохраняют свои качества на протяжении всего срока их интенсивной эксплуатации независимо от изменений самого технологического процесса. Предположим, что какая-то компания специализируется на производстве кафельной плитки, разъясняет Дуэйн Орловски, технический редактор ASI Journal («Журнал Ассоциации промышленных научных работников»), который много внимания уделяет популяризации взглядов Тагути. Предположим далее, что плитки из-за неравномерного нагрева в обжиговой печи получатся неодинаковыми. Вы не можете контролировать такие «помехи», говорит Орловски. Вместо этого Тагути рекомендует пересмотр конструкции изделий путем изменения требований к ним или материалов, из которых они изготовлены. Благодаря этому плитки будут одинаковыми, несмотря ни на какие «помехи».

Прочность изделий у Тагути зависит от «экспериментальных конструкций», концепция которых, как замечает Джеймс П. Пеннелл, научный сотрудник Института по анализу оборонных проблем, была впервые предложена в 1920-х годах в Англии. Специалисты отбирают тот или иной параметр качества, например точность размеров, а затем те свойства

изделия, которые самым непосредственным образом влияют на этот параметр. После этого они систематически и одновременно изменяют всю совокупность этих факторов и измеряют характеристики готовых изделий. Сведением соответствующих данных в ортогональные матрицы специалисты теперь могут получать информацию о влиянии множества комбинаций факторов на изделие. Такой метод позволяет уменьшить количество экспериментов, необходимых для получения обоснованных результатов. «Для удобства измерения и оценки влияния отдельных факторов, а также взаимодействия различных переменных мы намеренно и планомерно варьируем от десяти до двадцати факторов», — объясняет Дональд У. Маркуардт, заведующий группой прикладной статистики фирмы DuPont.

Эксперименты способны точно выявить параметры, менее критичные для соблюдения заданных технических характеристик изделия, и тем самым позволяют предприятиям-изготовителям применять более дешевые материалы или технологии и снизить себестоимость единицы продукции. «Тагути утверждает, что движущей силой качества является меньшая себестоимость продукции», — отмечает Ланс Или в своей книге «Качество по заказу», в основном посвященной Тагути. «Подлинной целью производства... должно быть создание такого положения, при котором первостепенное внимание уделялось бы сначала себестоимости единицы продукции, а уж затем качеству», — считает Тагути. И далее: «Если бы японские автомобили стоили вдвое дороже, то большинство американцев перестали бы их покупать».

В США принципам Тагути часто сопутствовал успех. Одно из отделений фирмы AT&T, например, использовало их в фотолитографии, сумев при этом снизить технологические отклонения вчетверо, «фатальные дефекты» втрое и продолжительность обработки изделий вдвое. Фирма Aerojet Ordnance применила критерии Тагути для создания информационного массива по боеприпасам и, согласно данным самой фирмы, смогла на их основе осуществить проверку технических характеристик новых изделий почти в течение одного месяца, т. е. на 98% быстрее по сравнению с известными методами.

В адрес Тагути раздаются и критические замечания. Так, специалисты в области статистики горячо спорят по поводу его методологии, в частности способа расчета прочности конструкций на основе соотношения

«сигнал — шум». «Нет никакого сомнения в больших заслугах Тагути, — отмечает Маркуардт, — однако мы не считаем его конкретные подходы пригодными абсолютно для всех случаев». Согласно Пеннеллу, посещение японских предприятий, которые завоевали премию Деминга, показано, что они знакомы с методами Тагути и применяют его экспериментальные конструкции, однако лишь немногие из них используют его критерии.

Эксперты подчеркивают важность практических шагов в применении того или иного аналитического метода контроля качества. «Все знают, что нужно делать, — отмечает Пеннелл, — однако если рассматриваемая программа не получит поддержки руководства, то она не найдет и практического применения».

Книги издательства „Мир“

С. Вайнберг

Открытие субатомных частиц.

1986. 80 к.

Л. Валантэн

Субатомная физика.

В 2-х томах.

1986. 3 р. 30 к.

К.П. Хьюбер

Константы двухатомных молекул.

В 2-х частях.

1984. 7 р. 70 к.

П. Эткинс

Порядок и беспорядок в природе.

1987. 1 р. 80 к.

М. Поуп, Е. Свинберг

Электронные процессы в органических кристаллах.

В 2-х томах.

1987. 6 р.

Эти книги вы можете получить наложенным платежом, направив заказ по адресу:

121019 Москва, просп. Калинина, 26, п/я 42. Магазин № 200 «Московский Дом Книги».



От идей Декарта к моделированию мозга



ПАТРИЦИЯ СМИТ ЧЭРЧЛЭНД

РЕФЛЕКТОРНОЕ поведение, как считал Декарт, объяснимо на основе физических связей между нервами и мышцами. Но нерелекторное поведение, обусловленное рассудком и намерениями, не поддавалось объяснению в рамках учения Декарта. В его знаменитом афоризме «Я мыслю — значит я существую» под «Я» подразумевается не физический объект, а дух, существующий независимо от физически реального мозга, но находящийся с ним в причинной взаимосвязи. Декартова идея о двух существенно различных субстанциях — физической и духовной — долгое время оставалась весьма привлекательной. Действительно, субъективные явления, которые внутренние осознаются, когда человек видит что-то или думает о чем-то, кажутся совершенно отличными от физической активности клеток мозга.

Однако то, какими вещи нам кажутся, зачастую далеко не совпадает с тем, какими находит их наука. Земля кажется неподвижной, но на самом деле она движется; в твердом на ощупь веществе большая часть объема занята пустым пространством; живые существа не созданы в одночасье, а появились постепенно, развиваясь путем эволюции из более простых структур. Невзирая на идеи Декарта и собственное внутреннее представление, те, кто придерживается материалистических взглядов, ожидают, что, разобравшись в природе мозга и открыв принципы, управляющие его деятельностью, смогут понять восприятие, научение и другие умственные функции как процессы нейробиологические.

Как в настоящее время обстоят дела с материалистическими представлениями о работе мозга? За последнее десятилетие неврология достигла замечательных успехов и теперь немало известно о свойствах нейронов (нервных клеток) и сложных молекул, от которых зависят реакции нейронов. В то же время экспериментальная психология и клиническая неврология собрали данные о поведении, которые многое выявили в таких психических способностях, как зрительное восприятие и память, очертив их масштабы

и особенности. Эти данные очень важны, коль скоро ученые хотят точно знать, что собой представляют функции, механизмы осуществления которых они пытаются выяснить.

Если столько известно о свойствах нервных клеток и природе психических способностей, нельзя ли уже сейчас объяснить, как человек видит и познает мир, как общается с себе подобными? Увы, имеющихся знаний, хоть они и необходимы, совершенно недостаточно. Дело в том, что мозг является своего рода вычислительной машиной, и понять, как он работает, невозможно, не зная «вычислительного» механизма, действующего в нервной системе. Нейроны играют роль основных элементов, но они взаимодействуют друг с другом, образуя сети и системы. Чтобы объяснить, как мозг обеспечивает способность видеть и познавать, нужно разобраться в том, как взаимодействуют сети нервных клеток в процессе представления, преобразования и хранения информации.

Да, мозг — вычислительная машина. Но какая? Четко ответить на этот вопрос трудно. Было бы легче, если бы мозг походил на знакомые неймановские компьютеры с их последовательной обработкой цифровой информации, жесткими связями и блоками памяти. Но сходство мозга с такими компьютерами очень слабое. Он, по-видимому, является вычислительной машиной совершенно иного типа. Так, мозг изменяется по мере приобретения новых знаний; информация, судя по всему, в нем хранится и обрабатывается в одних и тех же участках; его элементы можно называть скорее аналоговыми, чем цифровыми; наконец, мозг относительно защищен от сбоев. Вероятнее всего, мозг следует считать параллельным компьютером, в котором одновременно происходит большое число взаимодействий по множеству каналов. Кроме того, в условиях естественного отбора, в которых формировался мозг, предпочтение отдается быстрым, хотя и приблизительным решениям, а не точным, но медленным.

Кардинальным шагом вперед яви-

лось создание компьютерных моделей, приблизительно подобных мозгу. Модели нейронных сетей (называемые также моделями рассредоточенной параллельной обработки данных) пытаются уловить на некотором приемлемом уровне абстракции вычислительные принципы, управляющие сетями нейронов в нервных системах. Как правило, в этих моделях имеются элементы, подобные нейронам, линии связи, подобные аксонам (длинным отросткам нервных клеток, по которым посылаются нервные импульсы) и нагрузки на линиях связи, подобные синапсам (местам контакта нейронов).

Было сделано крупное открытие: модельные сети могут обучаться. Как и живые организмы, обладающие нервной системой, нейронподобные сети могут выявлять общие свойства явлений и переносить их на новые случаи. Ключом в этой способности к научению является то, что нагрузки в линиях связи, подобные синапсам, могут все более и более модифицироваться, так что ответ, даваемый сетью на поставленный вопрос, все более и более приближается к правильному. Каким образом нагрузки-«синапсы» меняются в нужном направлении и в нужной степени? Разработаны различные алгоритмы для корректировки «эффекта синапсов» — например, в виде функции ошибки в результате при данной исходной информации.

При помощи таких алгоритмов сеть можно не просто запрограммировать, а обучить решению задач исключительной сложности, например различать звуковое эхо от скал и от металлических предметов. С точки зрения дальнейшего развития техники тот факт, что простые сетевые системы могут научиться решать столь сложные задачи, чрезвычайно важен. Не менее важен и теоретический аспект: реально существующие нервные системы тоже должны обучаться путем различных модификаций синапсов. Какие алгоритмы используются для этого в мозгу, пока остается неизвестным, но есть надежда, что их удастся выявить в результате «стыковки» неврологических и модельных исследований.

Плодотворные идеи, порожденные моделированием нейронных сетей, заставляют еще глубже заглянуть в живой мозг. Основной вопрос о природе вычислительных операций и представления информации в нервных системах теперь стал проясняться благодаря тому, что представление информации в обучаемых модельных сетях сводится к состояниям элементов в их большой группе, а вычислительная операция — это, собственно,

совершаемый при участии синапсов переход из одного состояния в другое. Все это означает, что представление информации, как правило, должно быть распределено в больших группах нейронов, а не сосредоточено в отдельных клетках-«прародительницах». Точно так же управление движениями тела распределено между многими нервными клетками, а не исходит от каких-то нейронов-«приказчиков».

Хотя моделирование нервных систем находится в начальной стадии, пока еще нет никакой модели, которая бы конкретно объяснила, как человек видит и познает. Складывается впечатление, что пути нынешних исследований в конце концов приведут ученых к ответу на интересующие их вопросы, подобно тому как сами модели сетей дают решение поставленных задач. Достигнутое на сегодняшний день может служить основанием для дальнейших рассуждений о нейробиологии умственной жизни. Идеи Декарта были отражением мировоззрения XVII в. — до теорий Дарвина и Тьюринга, до появления неврологии как науки. Вооруженные достижениями неврологии и информатики, мы можем модернизировать мировоззрение Декарта и начать формировать новую теорию о природе разума, т. е. о том, что значит для мозга видеть, познавать и осознавать свое собственное существование, иными словами, о том, что значит быть человеком.

Вниманию читателей!

Р. Джонсон
Механические фильтры
в электронике.

1986. 2 р. 80 к.

Не счесть у робота
профессий.

1987. 7 р. 50 к.

Р. Эйрис
Перспективы развития
робототехники.

1986. 2 р.

Эти книги вы можете получить
наложенным платежом, направив
заказ по адресу:

121019 Москва, просп. Калинина,
26, п/я 42. Магазин № 200
«Московский Дом Книги».



ИСПЫТАНИЯ ВООРУЖЕНИЙ В КОСМОСЕ

DIRECTED ENERGY MISSILE DEFENSE IN SPACE. Ashton B. Carter. Office of Technology Assessment, OTA-BP-ISC-26, U.S. Government Printing Office, April, 1984.

REPORT TO THE AMERICAN PHYSICAL SOCIETY OF THE STUDY GROUP ON SCIENCE AND TECHNOLOGY OF DIRECTED ENERGY WEAPONS IN *Reviews of Modern Physics*, Vol. 59, No. 3, Part II; July, 1987.

THE STRUCTURE OF POSSIBLE U.S.-SOVIET AGREEMENTS REGARDING MISSILE DEFENSE. Ashton B. Carter in *On the Defensive? The Future of SDI*. Edited by Joseph S. Nye, Jr., and James A. Schear. University Press of America, 1989.

DEFENDING DETERRENCE: MANAGING THE ABM TREATY REGIME IN THE 21ST CENTURY. Edited by A.H. Chayes and P. Doty. Pergamon-Brassey, in press.

ПАМЯТЬ И НЕЙРОННЫЕ СИСТЕМЫ

CALCIUM-MEDIATED REDUCTION OF IONIC CURRENTS: A BIOPHYSICAL MEMORY TRACE. Daniel L. Alkon in *Science*, Vol. 226, No. 4678, pages 1037—1045; November 30, 1984.

A SPATIAL TEMPORAL MODEL OF CELL ACTIVATION. Daniel L. Alkon and Howard Rasmussen in *Science*, Vol. 239, No. 4843, pages 998—1005; February 26, 1988.

MEMORY TRACES IN THE BRAIN. Daniel L. Alkon. Cambridge University Press, 1988.

СПИНОВЫЕ СТЕКЛА

SPIN GLASS THEORY AND BEYOND. M. Mézard, G. Parisi and M. A. Virasoro. World Scientific Publications, Singapore, 1986.

SPIN GLASSES AND OTHER FRUSTRATED SYSTEMS. D. Chowdhury. World Scientific Publications, Singapore, 1986.

COMPLEX SYSTEMS. Edited by D. L. Stein. Addison-Wesley Publishing Company, in press.

ORIGINS OF ORDER: SELF-ORGANIZATION AND SELECTION IN EVOLUTION. S. A. Kauffman. Oxford University Press, in press.

Мазин И.И. ИМИТАЦИЯ «ОТЖИГА» — НОВЫЙ МЕТОД ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ. — *Природа*, 1987, № 7, с. 76.

Мазин И. И., Фейгельман М. В. СПИНОВОЕ СТЕКЛО КАК МОДЕЛЬ

МОЗГА. — *Природа*, 1986, № 2, с. 103.

Коренблит И. Я., Шендер Е. Ф. СПИНОВЫЕ СТЕКЛА И НЕЭРГОДИЧНОСТЬ. — *Успехи физических наук*, 1989, № 2, с. 267.

РИФТОВЫЙ ВУЛКАНИЗМ

- ANOMALOUS HEAT FLOW AND GEOID ACROSS THE CAPE VERDE RISE: EVIDENCE FOR DYNAMIC SUPPORT FROM A THERMAL PLUME IN THE MANTLE. R. C. Courtney and R. S. White in *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 87, No. 3, pages 815—867; December, 1986.

MAGMATISM AT RIFTED CONTINENTAL MARGINS. R. S. White, G. D. Spence, S. R. Fowler, D. P. McKenzie, G. D. Westbrook and A. N. Bowen in *Nature*, Vol. 330, No. 6147, pages 439—444; December, 1987.

THE VOLUME AND COMPOSITION OF MELT GENERATED BY EXTENSION OF THE LITHOSPHERE. D. McKenzie and M. J. Bickle in *Journal of Petrology*, Vol. 29, pages 625—679; 1988.

MAGMATISM AT RIFT ZONES: THE GENERATION OF VOLCANIC CONTINENTAL MARGINS AND FLOOD BASALTS. R. S. White and D. P. McKenzie in *Journal of Geophysical Research*; in press.

ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНЫЙ ТРАКТ В ПРОЦЕССАХ РОСТА И РАЗМНОЖЕНИЯ

GASTROINTESTINAL HORMONES AND PATHOPHYSIOLOGY OF FUNCTIONAL GASTROINTESTINAL DISORDERS. R. Uvnäs-Moberg in *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, Vol. 22, Supplement 128, pages 138-146; 1987.

MATERNAL BEHAVIOR. M. Numan in *The Physiology of Reproduction*, edited by E. Knobil et al. Raven Press, 1988.

ROLE FOR SENSORY STIMULATION IN ENERGY ECONOMY OF MOTHER AND INFANT WITH PARTICULAR REGARD TO THE GASTROINTESTINAL ENDOCRINE SYSTEM. K. Uvnäs-Moberg and J. Winberg in *Textbook of Gastroenterology and Nutrition in Infancy*, second edition, edited by E. Lebenthal. Raven Press, in press.

NEUROENDOCRINE REGULATION OF HUNGER AND SATIETY. K. Uvnäs-Moberg in *Obesity in Europe*. Vol. 1, edited by P. Björntorp and S. Rossner. John Libbey & Company, Ltd., in press.

Книги издательства „Мир“

Э. Баннаи
Алгебраическая комбинаторика.

1987. 3 р.

Л. Деврой
Непараметрическое оценивание плотности.

1988. 3 р. 20 к.

Дж. Козн
Граничные задачи в теории массового обслуживания.

1987. 2 р. 70 к.

Р. Линдон
Комбинаторная теория групп.

1987. 2 р. 80 к.

С. Хелгасон
Группы и геометрический анализ.

1987. 4 р. 60 к.

Р. Хокни
Численное моделирование методом частиц.

1987. 4 р. 10 к.

Т. Байерс
20 конструкций с солнечными элементами.

1988. 60 к.

М. Краус
Сбор данных в управляющих вычислительных системах.

1987. 1 р. 60 к.

Эти книги вы можете получить наложенным платежом, направив заказ по адресу:

121019 Москва, просп. Калинина, 26, п/я 42. Магазин № 200 «Московский Дом Книги».



ОБРАЗНОЕ МЫШЛЕНИЕ В ЛЕДНИКОВУЮ ЭПОХУ

AURIGNACIAN SIGNS, PENDANTS AND ART OBJECTS IN CENTRAL AND EASTERN EUROPE. J. Hahn in *Word Archaeology*, Vol. 3, No. 3, pages 252-266; Feb., 1972.

THE CREATIVE EXPLOSION. J. E. Pfeiffer. Cornell University Press, 1985.

DARK CAVES, BRIGHT VISION: LIFE IN ICE AGE EUROPE. Randall White. American Museum of Natural History/W. W. Norton & Company, 1986.

THE ORIGINS OF IMAGE MAKING. Whitney Davis in *Current Anthropology*, Vol. 27, No. 3, pages 193-216; June, 1986.

PRODUCTION COMPLEXITY AND STANDARDISATION IN EARLY AURIGNACIAN BEAD AND PENDANT MANUFACTURE: EVOLUTIONARY IMPLICATIONS. R. White in *The Human Revolution: Behavioural and Biological Perspectives on the Origins of Modern Humans*, edited by Christopher Stringer and Paul Mellars. Edinburgh University Press, in press.

TOWARD A CONTEXTUAL UNDERSTANDING OF THE EARLIEST BODY ORNAMENTS. R. White in *Patterns and Processes in Later Pleistocene Human Emergence*, edited by Erik Trinkaus. Cambridge University Press, in press.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ЦЕОЛИТЫ

ZEOLITE MOLECULAR SIEVES: STRUCTURE, CHEMISTRY AND USE. Donald W. Breck. John Wiley & Sons, Inc., 1974.

Имеется перевод: Д. Брек. ЦЕОЛИТОВЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИТА — М.: Мир, 1976.

ZEOLITE CHEMISTRY AND CATALYSIS. Jule A. Rabo. ACS Monograph 171, American Chemical Society, 1976.

Имеется перевод: ХИМИЯ ЦЕОЛИТОВ И КАТАЛИЗ НА ЦЕОЛИТАХ. Под редакцией Дж. Рабо. — М.: Мир, 1980.

HYDROTHERMAL CHEMISTRY OF ZEOLITES. R. M. Barrer. Academic Press, 1982.

Имеется перевод: Р. Баррер. ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ХИМИЯ ЦЕОЛИТОВ. — М.: Мир, 1985.

НАУКА ВОКРУГ НАС

A BINOCULAR ILLUSION. Paul Kirkpatrick in *American Journal of Physics*, Vol. 22, No. 7, pages 493; October, 1954.

REFLECTIONS ON A GRAMOPHONE RECORD. J. B. Lott in the *Mathematical Gazette*, Vol. 47, No. 360, pages 113-118; May, 1963.

Абачиев С. К. МНОГОЦВЕТНАЯ ГАРМОНИЯ ТРЕУГОЛЬНИКА ПАСКАЛЯ. — Наука и жизнь, 1981, № 4, с. 97-98.

Бондаренко Б. А. КОМБИНАТОРНЫЕ СВОЙСТВА ТРЕУГОЛЬНИКОВ ПАСКАЛЯ, ФИБОНАЧЧИ И ЛЮКА. — Вопросы вычислительной и прикладной математики. — Ташкент: НПО «Кибернетика», 1984, № 74, с. 149-162.

Уолфрем С. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. — В мире науки, 1984, № 11, с. 98-110.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

BIOMORPHS: COMPUTER DISPLAYS OF BIOLOGICAL FORMS GENERATED FROM MATHEMATICAL FEEDBACK LOOPS. Clifford A. Pickover in *Computer Graphics Forum*, Vol. 5, pages 313-316; 1986.

MATHEMATICS AND BEAUTY: TIME-DISCRETE PHASE PLANES ASSOCIATED WITH THE CYCLIC SYSTEM. Clifford A. Pickover in *Computers and Graphics*, Vol. 11, No. 2, pages 217-226; 1987.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 18.08.89.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.
Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,25 бум. л.

Бумага офсетная №1.

Усл.-печ. л. 12,5.

Уч.-изд. л. 16,14.

Усл. кр.-отт. 49,36.

Изд. № 25/6787. Заказ 659.

Тираж 27050 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Госкомиздата СССР

129820, ГСП, Москва, И-110,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Госкомиздата СССР

127576, Москва, Илимская, 7



Новые материалы,
новые машины

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Открыта подписка на ежемесячный международный журнал
«Курьер ЮНЕСКО». Журнал внесен в Каталог (часть 2)
советских газет и журналов на 1990 г.
Стоимость годовой подписки 8 руб. 40 коп.

перспективы

вопросы образования
№1 1989

unesco

65

природа и ресурсы



проблема
на проблемы
тема заочного
для проблемы
настало
на 10. Апрель
проект 28м
ежегод

Продолжается также подписка на
ежеквартальный журнал ЮНЕСКО на
русском языке:
«Museum» (71133), «Природа и
ресурсы» (71132), «Перспективы:
вопросы образования» (71136),
«Импакт: наука и общество» (71134),
«Бюллетень по авторскому праву»
(71138).

Подписка на эти издания, внесенные в
Каталог (части 1 и 2) советских газет и
журналов на 1990 г., принимается в
агентствах «Союзпечати» и
отделениях связи.



149

Quarterly review
published by Unesco
1988

museum

Бюллетень по авторскому праву

ISSN 0274-1802

Принять участие
в конференции
об авторском праве



Vol. XXV, No. 2, 1989

Всемирный конгресс
по образованию и информации
в области авторского права
14-16 сентября 1987 г.



КУРЬЕР



ЦИРК

Искусство для всех

В следующем номере:



ВЕЛИКАЯ СВЕРХНОВАЯ 1987 А

ЧЕМ ЗАМЕНИТЬ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ЖИВОТНЫХ
В ИСПЫТАНИЯХ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ?

КАК ВИРУСЫ ВЛИЯЮТ
НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КЛЕТОК

СПАРИВАНИЕ У ДРЕВЕСНЫХ СВЕРЧКОВ

МЕТАМОРФОЗА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

МЫШЦЫ СРЕДНЕГО УХА

ПИСЬМЕННОСТЬ МАЙЯ

ДОЛГИЕ ДЕБАТЫ О ВОЗРАСТЕ ЗЕМЛИ

О СКАЧКАХ УПЛОТНЕНИЯ,
РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ВДОЛЬ ПОТОКА МАШИН

КЛЕТОЧНАЯ ВСЕЛЕННАЯ И ЕЕ РАЗВИТИЕ
ВО ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВЕ