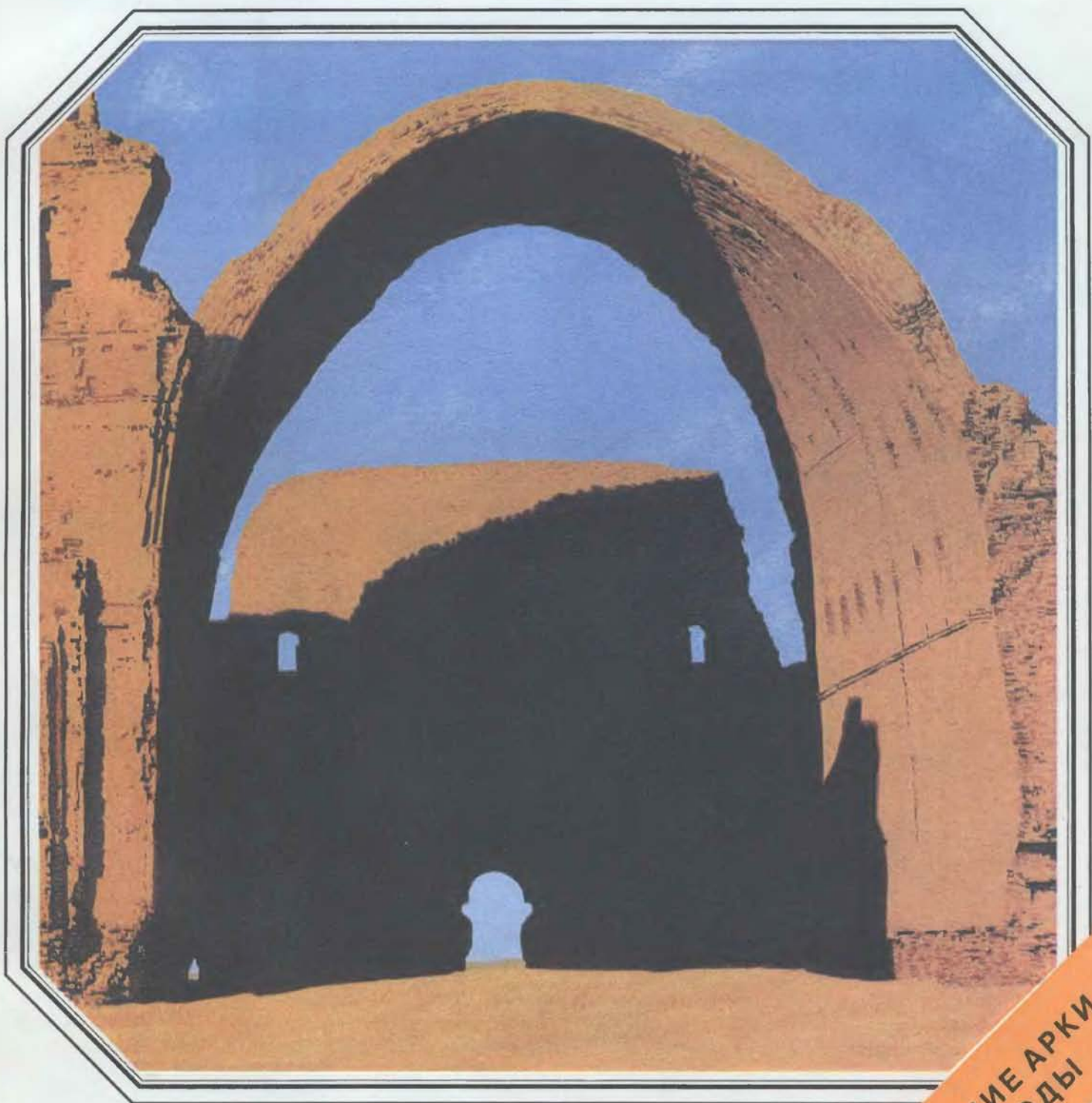


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Сентябрь **9** 1987

ДРЕВНИЕ АРКИ
И СВОДЫ

Внимание читателей!

В этом году 12-й номер журнала

В МИРЕ НАУКИ

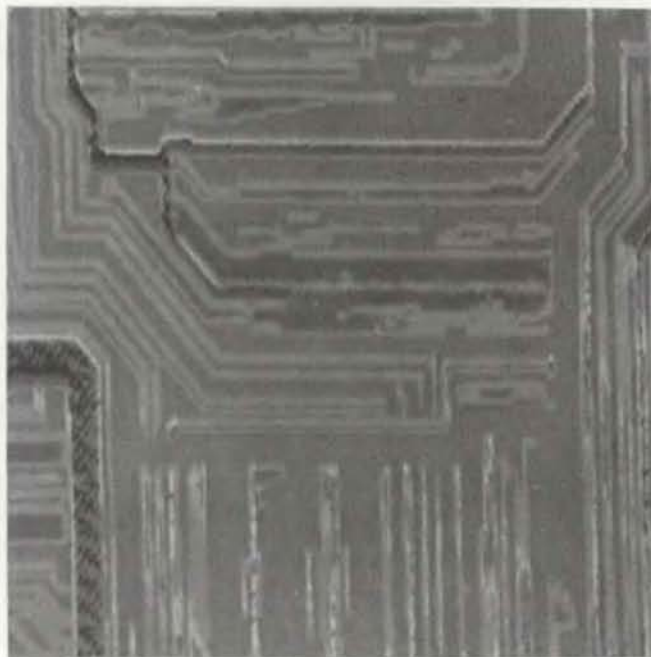
будет целиком посвящен современной вычислительной технике.

В него войдут 11 обзорных статей ведущих американских специалистов.

В них будут освещены различные аспекты, отражающие место вычислительных машин в современной науке, производстве, медицине и других сферах.

В статьях предполагается рассмотреть основные направления, в которых развивается современная вычислительная техника, а также научные и технические проблемы, стоящие на пути ее дальнейшего прогрессивного развития.

В журнале планируется опубликовать следующие статьи:



А. Пелед

**СОВРЕМЕННАЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ**
(фирма IBM)

Дж. Фокс

АРХИТЕКТУРА
(Калифорнийский
технологический институт)

Дж. Мейндл

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА
(Станфордский университет)

М. Крайдер

УСТРОЙСТВА ПАМЯТИ
(Университет Карнеги-Меллона)

Дж. Фолей

ИНТЕРФЕЙСЫ
(Университет Дж. Вашингтона)

Р. Кан

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ
(фирма Corporation for National
Research Initiative)

Д. Джелернтер

ПРОГРАММИРОВАНИЕ
(Йельский университет)

П. Хат, Дж. Суссман

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ДЛЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**
(Институт перспективных
исследований)

Г. Реннельс, Э. Шортлиф

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ДЛЯ МЕДИЦИНЫ**
(Медицинская школа Станфордского
университета)

А. Эрисман

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**
(фирма Boeing Computer Services)

Подписка на журнал
«В мире науки»
принимается во всех
отделениях «Союзпечать».
Цена одного номера 2 р.,
цена годовой подписки 24 р.
Индекс журнала 91310
по «Каталогу газет и журналов
зарубежных стран»,
раздел «Переводные научные
и научно-технические журналы».
Предварительные заказы
на 12-й номер журнала
«В мире науки» можно
направлять по адресу:
121019 Москва,
Проспект Калинина, д. 26,
п/я 42 Московский Дом Книги



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 9 · СЕНТЯБРЬ 1987

В номере:

СТАТЬИ (Scientific American, July 1987, Vol. 257, No. 1)

- 6 **Передовая технология и кризис сталелитейной промышленности США** *Джулиан Секели*
Прогрессивные технологические методы, снижающие стоимость производства чугуна и стали, могут помочь мелким американским заводам противостоять жесткой конкуренции со стороны иностранных производителей. Однако для длительного противостояния нужны принципиально новые технологические процессы
- 16 **Молекулы зрительного возбуждения** *Люберт Страйер*
Когда фоторецепторная клетка сетчатки — палочка — поглощает свет, начинается каскад реакций, приводящий к возникновению нервного импульса. В настоящее время этот каскад изучен вплоть до деталей на молекулярном уровне. Ключевую роль играет белок, называемый трансдуцином
- 26 **Кольца Урана** *Джеффри Н. Кузи, Ларри У. Эспозито*
Почему кольца Урана такие узкие и темные? Данные, полученные при пролете космического аппарата «Вояджер-2» этой планеты, позволяют предположить, что наблюдаемая система колец может быть всего лишь мимолетным эпизодом в бесконечных процессах созидания и разрушения
- 34 **Пляжи и барьерные острова** *Роберт Долан, Гарри Линз*
Большинство искусственных сооружений, предназначенных для защиты атлантического побережья США и побережья Мексиканского залива, в конце концов приходят в негодность. Зачастую было бы разумнее не вмешиваться в естественные процессы
- 44 **Болезнь Лайма** *Гэйл С. Хабичт, Грегори Бек, Джордж Л. Бенач*
Это опасное заболевание вызывается бактерией, которая передается человеку с укусом оленьего клеща. Развитие тяжелых симптомов артрита, нередко сопутствующих болезни Лайма, возможно, опосредуется регулятором деятельности иммунной системы интерлейкином-1
- 52 **Холодный ядерный синтез** *Ян Рафельский, Стивен Е. Джоунс*
Мюоны — частицы, во многом подобные электронам, — могут катализировать ядерные реакции синтеза, тем самым устраняя необходимость в мощных лазерах и высокотемпературной плазме. Не исключено, что этот процесс когда-нибудь будет использован для производства энергии
- 60 **Аэродинамика опыления ветром** *Карл Дж. Никлас*
Многие растения обладают почти совершенными приспособлениями для захвата переносимой ветром пыльцы. Шишки, соцветия различных типов и другие структуры направляют воздушный поток — и вместе с ним пылевые зерна, несущие спермии, — на воспринимающую поверхность половых элементов
- 68 **Арки и своды в древней архитектуре Ближнего Востока** *Гус В. Ванбик*
Из кирпича-сырца и глиняного раствора строители в Древнем Египте, Месопотамии и Леванте сооружали арки и своды, отличавшиеся совершенством форм и долговечностью. Их методы строительства и сегодня заслуживают изучения
- 78 **О прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия**
Франк фон Хиппель, Дэвид Х. Олбрайт, Барбара Г. Леви
Выполнение соглашения о прекращении производства основных ингредиентов ядерного оружия легко поддавалось бы проверке. Такое соглашение позволило бы установить более эффективный контроль за количеством оружия
(Scientific American, September 1985, Vol. 253, No. 3)

РУБРИКИ 3 **Об авторах**

4, 15, 33, 43, 51, 59, **Наука и общество**
67, 76, 87, 92, 100

5 **50 и 100 лет назад**

88 **Наука вокруг нас**

96 **Занимательный компьютер**

102 **Книги**

107 **Библиография**

SCIENTIFIC AMERICAN

Harry Myers
PUBLISHER

Jonathan Piel
EDITOR

BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller

Timothy M. Beardsley

John M. Benditt

David L. Cooke, Jr.

Ari W. Epstein

Gregory R. Greenwell

John Horgan, Laurie Burnham

Robert Kunzig, James T. Rogers

Ricki L. Rusting, Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

Georg-Dieter von Holtzbrinck
PRESIDENT

Gerard Piel
CHAIRMAN OF THE BOARD

© 1987 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. М. Попова
М. В. Суrowова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР
Н. А. Вавилова

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», 1987

На обложке



ДРЕВНИЕ АРКИ И СВОДЫ

На обложке изображены развалины Так-Кисры, огромного зала во дворце в Ктесифоне южнее Багдада, построенном в 3—6 вв. н. э. Зал перекрыт самым крупным в мире однопролетным (25,5 м) сводом из неармированного кирпича. Это один из интереснейших примеров свода, сооруженного методом наклонной кладки (см. статью Гуса В. Ванбика «Арки и своды в древней архитектуре Ближнего Востока», с. 68). В отличие от большинства сводов на Ближнем Востоке, сооруженных из сырца, этот свод был построен из слегка обожженного кирпича.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Marvin Mattelson

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	Dale E. Deemer, Allegheny Ludlum Steel Corp.	38	Michael Goodman	64	Patricia J. Wynne (слева), Karl J. Niklas (справа)
8-12	George V. Kelvin, Science Graphics	39	Stephen P. Leatherman	65	Karl J. Niklas
13	AB Sandvik Steel	40	Michael Goodman	69	Gus W. Van Beek
17	Lubert Stryer	41	Robert Dolan	70-72	Alan D. Iselin
18	Tom Prentiss	45	Samuel L. Howard	73	Alan D. Iselin (вверху слева и внизу), David B. Stronach (вверху справа)
19-24	George V. Kelvin, Science Graphics	46, 47	Tom Prentiss	74	Gus W. Van Beek
27, 28	Jet Propulsion Laboratory	48	Stanley F. Hayes, Willy Burgdorfer и M. D. Corwin, Rocky Mountain Laboratories (вверху); New York State Department of Health (внизу)	75	Paul Logsdon
29	George Retseck	49	Sally Black	79	Andrew Tomko (вверху), U. S. Department of Energy (внизу)
30	Jet Propulsion Laboratory (вверху); Mark Showalter и Maren Cooke, Ames Research Center (в середине); George Retseck (внизу)	53	Idaho National Engineering Laboratory	80-84	Allen Beechel
32-33	George Retseck	54-57	George Retseck	85	Urenko, the Netherlands
35	U.S. Corps of Army Engineers	61	Karl J. Niklas	89-91	Michael Goodman
36	Andrew Tomko	62	Patricia J. Wynne	97	James P. Crutchfield
37	United Press International	63	Karl J. Niklas (вверху), Patricia J. Wynne (внизу)	98	Edward Bell (вверху), Gordon Hughes (внизу)
		66	Patricia J. Wynne	99	Gordon Hughes

Об авторах

Julian Szekely (ДЖУЛИАН СЕКЕЛИ «Передовая технология и кризис сталелитейной промышленности США») — профессор материаловедения в Массачусетском технологическом институте (МТИ). Интерес к новым способам в сталеплавлении впервые проявил в 1977 г., когда он готовил для правительства доклад на эту тему. Несколько лет работал в консультационной фирме в Лондоне и преподавал в Имперском колледже в Лондоне, где ранее получил дипломы бакалавра (1959 г.) и доктора философии (1961 г.). В 1966 г. перешел на работу в Университет шт. Нью-Йорк в Буффало, а в 1976 г. — в МТИ. В 1982 г. Секели стал членом Национальной академии техники.

Lubert Stryer (ЛЮБЕРТ СТРАЙЕР «Молекулы зрительного возбуждения») — профессор клеточной биологии в Медицинской школе Станфордского университета. Степень бакалавра получил в 1957 г. в Чикагском университете, степень доктора медицины — в 1961 г. в Медицинской школе Гарвардского университета. В 1961—1964 гг. вел научные исследования на средства фонда Элен Хэй Уитни, в частности в качестве приглашенного научного сотрудника в Кембриджской лаборатории молекулярной биологии Совета медицинских исследований (Великобритания). В 1963—1969 гг., будучи профессором молекулярной биофизики и биохимии в Йельском университете, преподавал биохимию в Станфордском университете, сотрудником которого стал в 1976 г. Страйер — член Национальной академии наук США.

Jeffrey N. Cuzzi, Larry W. Esposito (ДЖЕФФРИ Н. КУЗИ, ЛАРРИ У. ЭСПОЗИТО «Кольца Урана») проявляют интерес к исследованиям структур и динамики планетных колец. Кузи — член группы получения изображений проекта «Вояджер» при Эймсовском исследовательском центре НАСА. Степень бакалавра получил в Корнеллском университете в 1967 г., степень магистра (1969 г.) и степень доктора (1973 г.) — в Калифорнийском технологическом институте. В течение года преподавал в Массачусетском университете в Амхерсте, а затем с 1974 по 1976 г. был сотрудником Национального исследовательского совета при Национальной академии наук США. В 1978 г., после двух лет работы в Лаборатории космических исследований в Калифорнийском университете в Беркли, перешел в

Эймс. Эспозито получил степень бакалавра в Массачусетском технологическом институте в 1973 г. и работал с Кузи во время подготовки докторской диссертации в Массачусетском университете в Амхерсте. Степень доктора получил в 1977 г. С тех пор является сотрудником факультета астрофизических, планетарных и атмосферных исследований Колорадского университета в Боулдере, активно участвует в осуществлении проекта «Вояджер»; он возглавляет рабочую группу этого проекта по изучению планетных колец.

Robert Dolan, Harry Lins (РОБЕРТ ДОЛАН, ГАРРИ ЛИНЗ «Пляжи и барьерные острова») начали сотрудничать около 15 лет назад, после того как их пути пересеклись в Геологической службе США. Долан, профессор наук об окружающей среде в Виргинском университете, изучал барьерные острова в течение 25 лет, отдавая при этом часть времени работе в Геологической службе. Имеет степень бакалавра от Южно-Орегонского колледжа и степень магистра от Университета шт. Орегон. В Виргинском университете работает с 1965 г. после получения степени доктора философии в Университете шт. Луизиана. Линз завершает работу над докторской диссертацией в Виргинском университете. Он сотрудничает с Геологической службой с 1969 г. и сейчас работает гидрологом в отделе водных ресурсов в Рестоне, шт. Виргиния. Имеет степень бакалавра от Мэрилендского университета и степень магистра от Делавэрского университета.

Gail S. Habicht, Gregory Beck, Jorge L. Venach (ГЭЙЛ С. ХАБИЧТ, ГРЕГОРИ БЕК, ДЖОРДЖ Л. БЕНАЧ «Болезнь Лайма») работают на кафедре патологии Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Бруке. Хабичт получила степень доктора философии в Станфордском университете. После этого вела исследование в Рокфеллеровском университете, а затем в учреждениях Скриппсовского фонда клинических и научных исследований. В 1971 г. перешла в Стони-Брук, где сейчас она доцент. Бек получил степень бакалавра в 1982 г. в Университете шт. Нью-Йорк в Олбани и стал научным сотрудником Медицинского центра Управления по делам участников войны в Нортпорте (шт. Нью-Йорк). Сейчас он штатный научный сотрудник в Стони-Бруке. Бенач получил в Университете Ратгерса в 1966 г. степень бакалавра и в 1971 г.

степень доктора философии, после чего поступил на службу в департамент здравоохранения шт. Нью-Йорк, где в настоящее время он научный сотрудник. Кроме того, Бенач, будучи доцентом кафедры патологии Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Бруке, занимается преподавательской деятельностью.

Johann Rafelski, Steven E. Jones (ЯН РАФЕЛЬСКИЙ, СТИВЕН Е. ДЖОУНС «Холодный ядерный синтез») встретились в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРНе) в 1983 г. Рафельский, который получил степень доктора философии во Франкфуртском университете и затем вел исследовательскую работу в Пенсильванском университете и Аргоннской национальной лаборатории, начал работать в ЦЕРНе в 1977 г. Одновременно с 1979 по 1983 г. он преподавал теоретическую физику во Франкфурте, а затем — до лета этого года — в Кейптауне. Рафельский много работал совместно с учеными США. Джоунс преподает физику и астрономии в Университете Брайана Янга, где в 1973 г. получил степень бакалавра. Степени доктора философии в области физики он был удостоен в 1978 г. в Университете Вандербилта. После года научной работы в Корнеллском университете и на мезонной фабрике Лос-Аламосской национальной лаборатории (LAMPF), занимался исследованиями по ядерному синтезу в Национальной инженерной лаборатории шт. Айдахо. Сотрудником Университета Брайана Янга стал в 1985 г. В дополнение к преподавательской деятельности Джоунс ведет научные исследования в области мюонного катализа в ряде других лабораторий, в том числе в Лос-Аламосе, Ванкувере, Резерфордской лаборатории в Англии и Японской национальной лаборатории физики высоких энергий в г. Цукуба.

Karl J. Niklas (КАРЛ ДЖ. НИКЛАС «Аэродинамика опыления ветром») изучает биомеханические свойства растений, занимая должность доцента ботаники в Корнеллском университете. Имеет степень бакалавра в области биологии и математики от Сити-Колледжа Нью-Йоркского городского университета. Степени магистра и доктора философии получил в 1974 г. в Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн. Проходил стажировку в Лондонском университете. В 1975 г. стал хранителем в Нью-Йоркском ботаническом саду. В 1978 г. перешел на работу в Корнеллский университет, где занимается одновременно биологией растений, эко-

логией и систематикой. В 1985 г. Никлас получил субсидию фонда Гугенхайма для исследований по моделированию опыления.

Gus W. Van Beek (ГУС В. ВАНБИК, «Архи и своды в древней архитектуре Ближнего Востока») с 1967 г. куратор кафедры археологии Старого Света Смитсоновского института. Руководил 11 сезонами раскопок в Тель-Йемме (Израиль). Имеет степень бакалавра искусств (после окончания Университета Тулса) и бакалавра богословия (после окончания Духовной семинарии Маккормика). В 1953 г. Университет Джонса Гопкинса присудил Ванбику степень доктора философии. В течение 6 лет работал в этом университете по проекту арабских публикаций, затем перешел в Смитсоновский институт. В настоящее время пишет книгу о строительстве сооружений из сырца.

Frank von Hippel, David H. Albright, Barbara G. Levi (ФРАНК ФОН ХИППЕЛЬ, ДЭВИД Х. ОЛБРАЙТ, БАРБАРА Г. ЛЕВИ «О прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия») — физики, работают в Центре энергетике и окружающей среды (ЦЭОС) при Принстонском университете. Фон Хиппель одновременно является профессором Принстонской школы по социальным и международным вопросам им. В. Вильсона. Степень бакалавра в области физики получил в Массачусетском технологическом институте, а доктора философии в области теоретической физики — в Оксфордском университете. Непосредственно перед приходом в Принстон он был постоянным сотрудником Национальной академии наук; ранее работал в различных университетских и правительственных научных лабораториях. Фон Хиппель был председателем Федерации американских ученых (ФАУ), а в настоящее время — член совета директоров журнала «Bulletin of the Atomic Scientists». Олбрайт — научный сотрудник в ЦЭОС и одновременно в вашингтонском отделении ФАУ. Степени бакалавра и магистра в области математики получил в Университете Райт-Стейт; он также имеет степень магистра в области физики, присвоенную ему Университетом шт. Индиана. В 1981—1982 гг. Олбрайт работал консультантом в Институте проблем окружающей среды, после чего и стал изучать физику в Университете Дж. Мэйсона. В 1983 г. работал в ФАУ и одновременно был консультантом в нескольких других научных организациях. В ЦЭОС пришел в 1984 г. Леви имеет степень бака-

лавра в области физики, полученную в Карлтон-Колледже, а также магистра и доктора философии в той же области, полученные в Станфордском университете. С 1969 г. она сотрудничает в журнале «Physics Today». С 1970 по 1976 г. преподавала математику и физику в Универ-

ситете Фейрлея Дикинсона; с 1977 по 1981 г. преподавала физику в Технологическом институте шт. Джорджия. С 1981 г. она штатный научный сотрудник ЦЭОС.

Наука и общество

Двойная загадка

КАК РАЗ ТОГДА, когда уже казалось, что сверхновая 1987А исчерпала свой запас сюрпризов, она преподносит еще один. При наблюдениях с помощью чувствительных световых приемников обнаружен слабый объект — компаньон вблизи этой яркой звезды, засиявшей на южном небе 24 февраля с. г. Трудно представить, как взрыв звезды мог бы создать два различных источника света. «Я нашел некие объяснения, как и многие другие ученые, — говорит Дж. Остройкер из Принстонского университета, — но я бы не назвал ни одно из них разумным».

Об этом явлении независимо сообщили две группы ученых: одна из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра в Кембридже (шт. Массачусетс), другая — из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне. Они проводили наблюдения с помощью спекл-интерферометров, которые записывают в цифровой форме информации о времени прихода и направлении каждого фотона. После длительной обработки на компьютере эти данные позволяют определить местоположение источников света с очень высокой точностью.

Сотрудники Гарвард-Смитсоновского центра, первыми сообщившие об этой находке, устанавливали свой интерферометр на 4-метровом телескопе Межамериканской обсерватории в Серро-Тололо (Чили) дважды; 25 марта и 2 апреля. После анализа, проведенного в течение нескольких недель, группа объявила, что в красном конце видимого спектра обнаружен источник света приблизительно в 1/12 секунды дуги от местоположения сверхновой 1987А. Предполагая, что Большое Магелланово Облако (малая соседняя галактика, где вспыхнула 1987А) отстоит от Земли примерно на 150 000 св. лет, это разделение соответствует примерно 250 млрд. миль. Чтобы разойтись на такое расстояние за один месяц (приб-

лизительное время, прошедшее между появлением 1987А и моментом измерения этого расстояния), два объекта должны были бы разлетаться друг от друга со скоростью, равной примерно половине скорости света.

Согласно сообщению ученых Гарвард-Смитсоновского центра, компаньон примерно на 3 звездной величины слабее сверхновой 1987А, звездная величина которой в момент наблюдения была около 4. Сам компаньон значительно слабее 1987А, тем не менее он намного ярче любого объекта, находившегося в этой области неба до вспышки сверхновой.

В поисках подтверждения своих результатов, Гарвард-Смитсоновская группа связалась с коллегами из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне, которые проанализировали спекл-интерферометрические данные, полученные на англо-австралийском телескопе в Сайдинг-Спрингс (Австралия). Британская группа, хотя и не полностью закончила свой анализ, вскоре сообщила об обнаружении следов объекта-компаньона в наблюдениях от 14 апреля. Как и американцы, британские ученые различили слабый объект только в красном конце видимого спектра. В записях, полученных на более коротких длинах волн, ни одна из групп такого объекта не обнаружила.

Астрономы считают, что слабый объект может быть обусловлен одной из нескольких причин: «световым эхом», отражающимся от облака, выброшенного звездой перед взрывом газа, который ярко засветился после интенсивного облучения при вспышке сверхновой; асимметрией взрыва, которая разорвала звезду на два отдельных куска; остатком вспышки сверхновой — пульсаром, испускающим пучок лучей сквозь «окно» в расширяющейся оболочке; неким массивным объектом, гравитационное поле которого действует как линза, раздваивая изображение сверхновой 1987А.

Только дальнейшие исследования помогут определить, верна ли хотя бы одна из этих теорий.

SCIENTIFIC
AMERICAN

ИЮЛЬ 1937 г. Во времена телеги и лошади семейный врач ставил диагноз, полагаясь в основном на свои пять чувств, без помощи каких-либо инструментов. С важным видом он осматривал вашу кожу в поисках сыпи, щупал пульс и заглядывал в горло и уши. Сегодня диагноз определяется уже не догадками, сделанными на основе внешних симптомов болезни. Если вы заболели, ваш врач сначала осматрит вас, а затем проведет серию лабораторных анализов, которые дадут точную информацию о природе и серьезности вашего заболевания. Эти анализы чрезвычайно повышают точность диагноза, уменьшают стоимость и продолжительность лечения и во всех случаях увеличивают вероятность излечения.

В интересном исследовании, проведенном недавно в Институте изучения транспорта Северо-Восточного университета, показана четкая связь между ужесточением закона и числом автомобильных аварий. Под ужесточением закона имеются в виду не просто аресты нарушителей правил дорожного движения, а их судебное преследование. Если каждый водитель будет знать, что за нарушение правил последует быстрое и обязательное наказание, он будет осторожнее.

Когда в декабре 1903 г. Орвилл и Уилбер Райт поднялись в воздух на своем хрупком биплане, открыв эру авиации, их аппарат приводился в движение самодельным двигателем мощностью 30 л.с. За прошедшие с того времени 34 года создатели двигателя увеличили его мощность в 50 раз, многократно улучшили надежность, плавность работы и все другие характеристики. Поэтому в современном авиационном двигателе трудно узнать «родственника» той первой машины, с которой в Китти-Хок началась история авиамоторостроения.

Можно ли делать стеклянные текстильные волокна? Оказывается, да. Под высоким давлением пара стекло превращается в тонкие волокна, которые затем вытягивают в пряжи, смазывают в нити, и из них с помощью современных ткацких машин изготавливают пряжу и ткнут ткани. В настоящее время эти ткани используют в основном как изоляционные материалы и фильтры. Можно предположить,

что недалек тот день, когда ткани из стекла будут успешно применяться для изготовления драпировок, занавесей и gobеленов в театрах, отелях и на кораблях для уменьшения опасности возникновения пожаров.



ИЮЛЬ 1887 г. Судя по последним сообщениям из Панамы, работы на трассе будущего канала вскоре прекратятся. Если только возникшие в процессе строительства трудности не были сильно преувеличены, новый же, запрошенный и введенных в заблуждение вкладчиков (по большей части бедных людей), будет жестокой несправедливостью, призванной отсрочить неминуемый крах и возбудить несбыточные надежды. Теперь, когда уже слишком поздно, французские вкладчики поймут, что неблагоприятные сообщения из Соединенных Штатов, сопровождавшие работы с самого начала, не были продиктованы низкими мотивами. Согласно сообщениям, руководство по осуществлению проекта строительства канала возьмут на себя правительства Франции и США, однако маловероятно, чтобы они пошли на это.

В журнале «American Journal of Science» готовится к публикации интересная работа М. Ли, автор которой сообщает о результатах своих трудоемких и обширных исследований, связанных с использованием солей серебра для получения фотографических изображений. Впечатляет та легкость, с которой автору удается получать самые красивые цвета, их богатство и разнообразие. Он приходит к обнадеживающему выводу о возможности цветной фотографии.

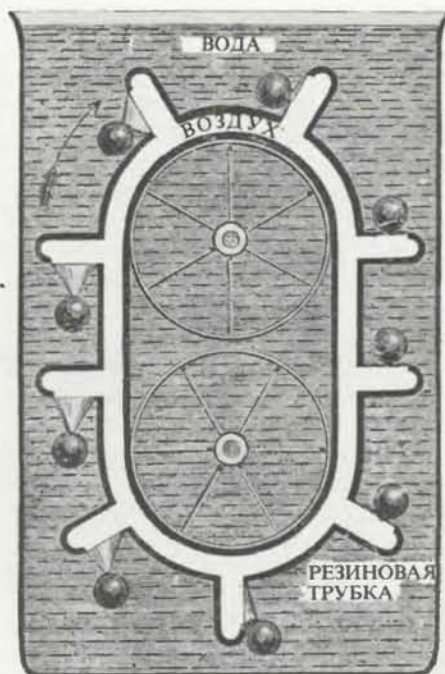
Вскоре после сокрушительного поражения яхты «Галатея» в соревнованиях у берегов Америки прошлой осенью ходили слухи о том, что американцами будет предпринята последняя отчаянная попытка отобрать Королевский кубок (Кубок Америки), для чего планируется строительство новой яхты. В конце концов этот слух подтвердился, но все было окутано тайной до спуска на воду новой яхты «Тистл». Легкость, с которой она победила все первоклассные английские яхты, говорит о том, что она станет самым серьезным соперником.

Доктор Э. Лав по заказу газеты «New York World» провел исследование качества чая, кофе и сахара. Об-

следование дало следующие результаты: 88 образцов чая не содержали добавок, а в 12 были добавки — в основном «ложный чай» и посторонние листья; в 72 образцах молотого кофе не было добавок, 28 образцов содержали добавки в виде цикория и молотого гороха; только 2 образца сахара из 100 содержали добавки в виде глюкозы. Что касается веса образцов, у 270 он соответствовал норме, а 30 оказались легче положенного веса.

Наш корреспондент описывает следующую «вечно движущуюся машину». Она представляет собой замкнутую резиновую трубку с выступами, к которым прикреплены тонкие резиновые мешки, а к каждому мешку креплен небольшой груз. Когда груз опускается, мешок наполняется воздухом, а когда поднимается — воздух из мешка выталкивается через отверстие в выступе и трубку в соседний шок, который затем оказывается на том же месте. Трубка надета на два погруженных в воду колеса; наполненные воздухом мешки поднимаются вверх, а те, из которых воздух вытолкнут, опускаются вниз.

(От редактора. Каждый мешок, оказывающийся в нижней точке трубки, будет наполняться воздухом, вытолкнутым из мешка, находящегося в верхней точке. Грузы в сжимающемся и расширяющемся мешках будут слегка опускаться. Нижний мешок, расширяясь, преодолевает большое давление воды. Поэтому каждый груз будет «терять движение» и постоянно терять энергию при нерабочем опускании грузов. Следовательно, такая машина не может служить вечным двигателем.)



«Вечно движущаяся машина»

Передовая технология и кризис сталелитейной промышленности США

Прогрессивные технологические методы, снижающие стоимость производства чугуна и стали, могут помочь мелким американским заводам противостоять жесткой конкуренции со стороны иностранных производителей.

Однако для длительного противостояния нужны принципиально новые технологические процессы

ДЖУЛИАН СЕКЕЛИ

ШИРОКО обсуждаемые проблемы сталелитейной промышленности США — постоянные производственные потери, банкротство, вынужденные слияния фирм и массовые увольнения — подтверждаются мрачной статистикой: с 1982 г. производственные потери в этой отрасли достигли примерно 6 млрд. долл., а число занятых сократилось с 500 тыс. в 1975 г. до менее 200 тыс. в настоящее время. Для объяснения такого удручающего положения в сталелитейной промышленности приводилось много причин: плохое управление, невнимание к проблемам со стороны профсоюзов, устаревшая технология, конкуренция иностранных производителей и вытеснение стали другими материалами, например пластмассами и алюминием.

Однако с этими трудностями столкнулись не только американские сталепроизводители. Подобные, хотя, может быть, и не столь острые проблемы преодолевают сталелитейную промышленность Японии и западноевропейских стран. В самом деле, анализ положения дел в мире выявляет застой и спад производства стали в промышленно развитых государствах на фоне быстрого роста сталелитейной промышленности в развивающихся странах. Согласно одной из оценок, мощности сталелитейных предприятий в развивающихся странах за пять лет (1985—1990) возрастут на 20%, тогда как в США ожидается их снижение примерно на 3%. Можно ли что-либо предпринять, чтобы остановить или по крайней мере замедлить тенденцию к спаду в американской сталелитейной промышленности?

К сожалению, проблемы, стоящие перед американской сталелитейной промышленностью, возникли в результате действия ряда факторов: международных тенденций, организационных слабостей и технологических разработок, не дающих однозначных готовых решений. Тем не менее внедрение новых технологических методов в сталелитейном производстве могло бы сыграть решающую роль в оживлении этой важной отрасли. Постепенные технологические улучшения в сочетании с другими мерами по увеличению производства или сокращению трудовых затрат могут повысить эффективность существующих заводов и улучшить качество выпускаемой ими продукции. Такие улучшения следует внедрять для того, чтобы обеспечить непрерывную жизнеспособность отрасли, по крайней мере в ближайшие несколько лет.

Представляется, однако, что для экономического оздоровления отрасли на более длительный период необходимо перейти на производство новых, высокоценных видов продукции. Для этого необходимы разработка и внедрение в сталелитейной промышленности новых прогрессивных технологических процессов, особенно для производства широкого ассортимента дорогих «заказных» марок стали.

РАССМАТРИВАЯ возможное влияние этих прогрессивных технологий на сталелитейную промышленность США, крайне важно иметь в виду, что эта отрасль в стране не является монолитной. Существуют три типа сталепроизводителей: крупные заводы с полным металлургическим циклом, мини-заводы и заводы по выпуску специальных сталей. Они за-

метно отличаются друг от друга составом технологических операций, применяемым оборудованием и «чувствительностью» к экономическим трудностям. Заводы с полным металлургическим циклом, на которых производство начинается с переработки железной руды и угля и кончается выпуском широкого ассортимента стального проката, производят примерно 70% рядовых сталей в стране. Большая часть остального объема производства приходится на мини-заводы, которые перерабатывают стальную scrap и выпускают ограниченный ассортимент низкосортных сталей. Заводы по производству специальных сталей, на долю которых приходится остальные 5% выпуска стали в стране (но значительно больший процент общих доходов), аналогичны мини-заводам в том смысле, что они обычно меньше, чем заводы с полным металлургическим циклом и работают на scrapе, однако они производят значительно более ценные виды продукции, чем мини-заводы, и часто ведут исследования и разработки своими силами.

Наибольшие экономические трудности испытывают производители с полным металлургическим циклом. В целом они имеют устаревшее оборудование с низким уровнем автоматизи-

МЕТОД НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ можно использовать для изготовления полос из нержавеющей стали. Фотография сделана в исследовательском центре фирмы Allegheny Ludlum Steel Corporation. По сравнению с традиционными этот метод обеспечивает экономию энергии, времени и затрат труда.

зации и не используют многие из новейших эволюционных улучшений в сталеплавильной технологии. Мини-заводы и заводы по выпуску специальных сталей преуспели в преодолении самых тяжелых экономических трудностей. В самом деле, некоторые из них являются весьма прибыльными. И те, и другие быстро внедряют у себя новые методы рафинирования и разливки стали, как только они появляются, и извлекают выгоды от их внедрения. Мини-заводы намеренно сосредоточивают свое внимание на выпуске тех видов продукции, которые могут заполнить узкие и локализованные ниши на рынке сбыта. В то же время заводы специальных сталей поддерживают большую гибкость производства, с тем чтобы выпускать продукцию по специальным требованиям заказчиков.

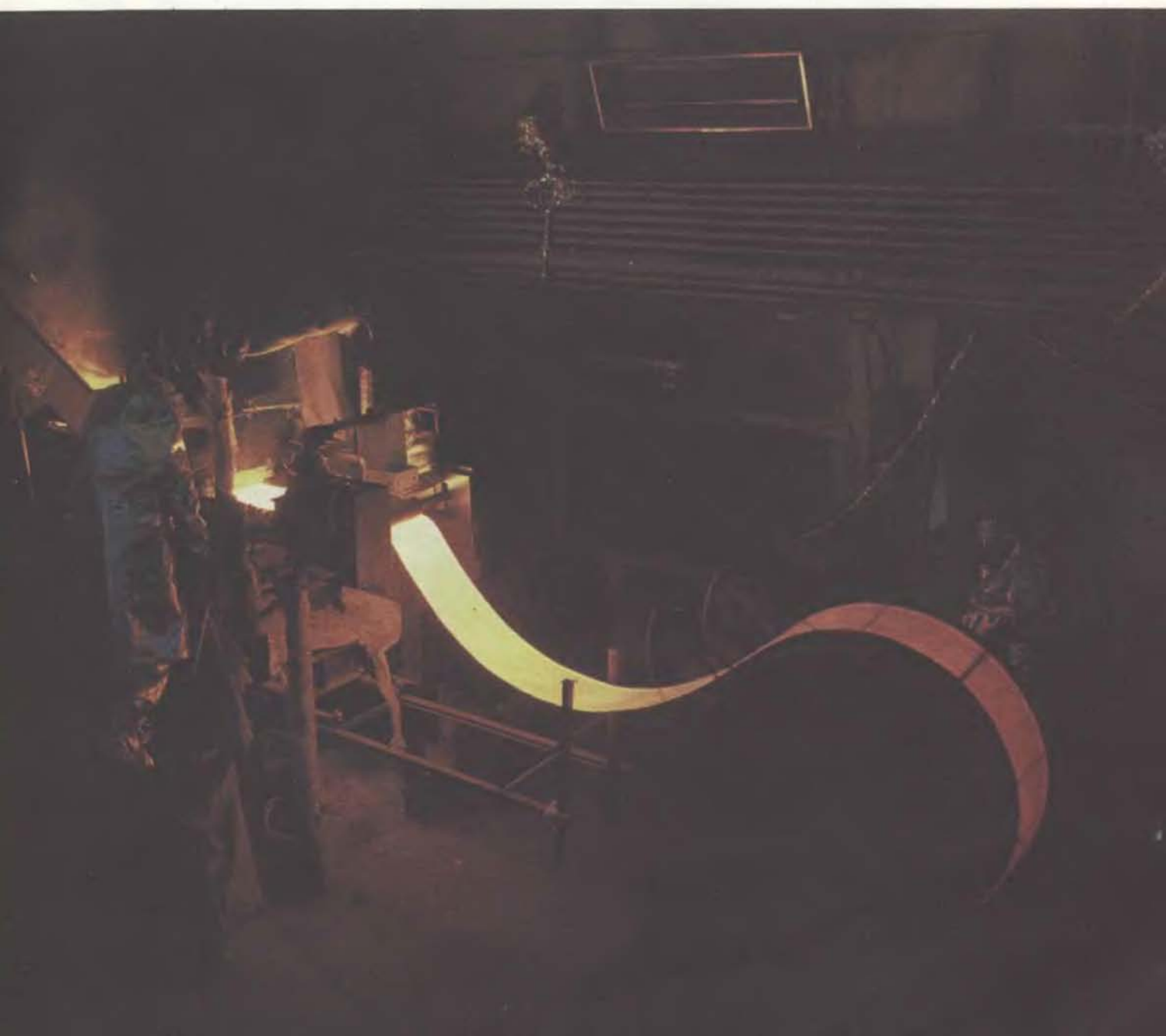
Владельцы заводов с полным металлургическим циклом в некотором смысле являются жертвами негибкости огромного предприятия, к которому они оказались привязанными ис-

торически. Процесс производства на таком заводе начинается с добычи угля и железной руды. Уголь нагревается без доступа кислорода и превращается в кокс (процесс коксования экологически вреден во многих отношениях). Руда измельчается и агломерируется. Подготовленные таким образом сырьевые материалы загружаются в доменную печь, где происходит плавление руды и восстановление содержащейся в ней окиси железа, в результате чего получается чугу́н. В доменную печь загружается также некоторое количество дробленого известняка, необходимого для образования жидкого шлака, с которым удаляется большинство примесей.

Чугун превращается в сталь в результате управляемой реакции окисления, т. е. соединения вредных примесей (например, углерода, кремния и марганца) с кислородом. На этой стадии может производиться легирование стали, т. е. добавление некоторых материалов, придающих готовой стали определенные свойства. Рас-

плавленная сталь разливается либо порциями на слитки весом 50—100 т, либо непрерывно на слябы (толщиной около 25 см и шириной 75—100 см), блюмы (сечением примерно 50 × 50 см) или заготовки (квадратного сечения со стороной от 7,5 до 25 м). Слитки, слябы, блюмы и заготовки многократно пропускаются через валки прокатных станов для получения прокатных профилей: полосы для судов, листы для автомобильных кузовов, фасонные профили, строительная арматура и прутки для производства проволоки и труб.

ТИПИЧНЫЙ для США завод с полным металлургическим циклом производит в год 2—5 млн. тонн готовой стали. При таком производстве потребляется примерно 25 ГДж энергии и 6 чел.-ч на тонну стали (1 Гигаджоуль примерно равен количеству энергии, получаемой при полном сгорании 45 кг угля). Производственные расходы (исключая капитальные затраты) обычно составля-

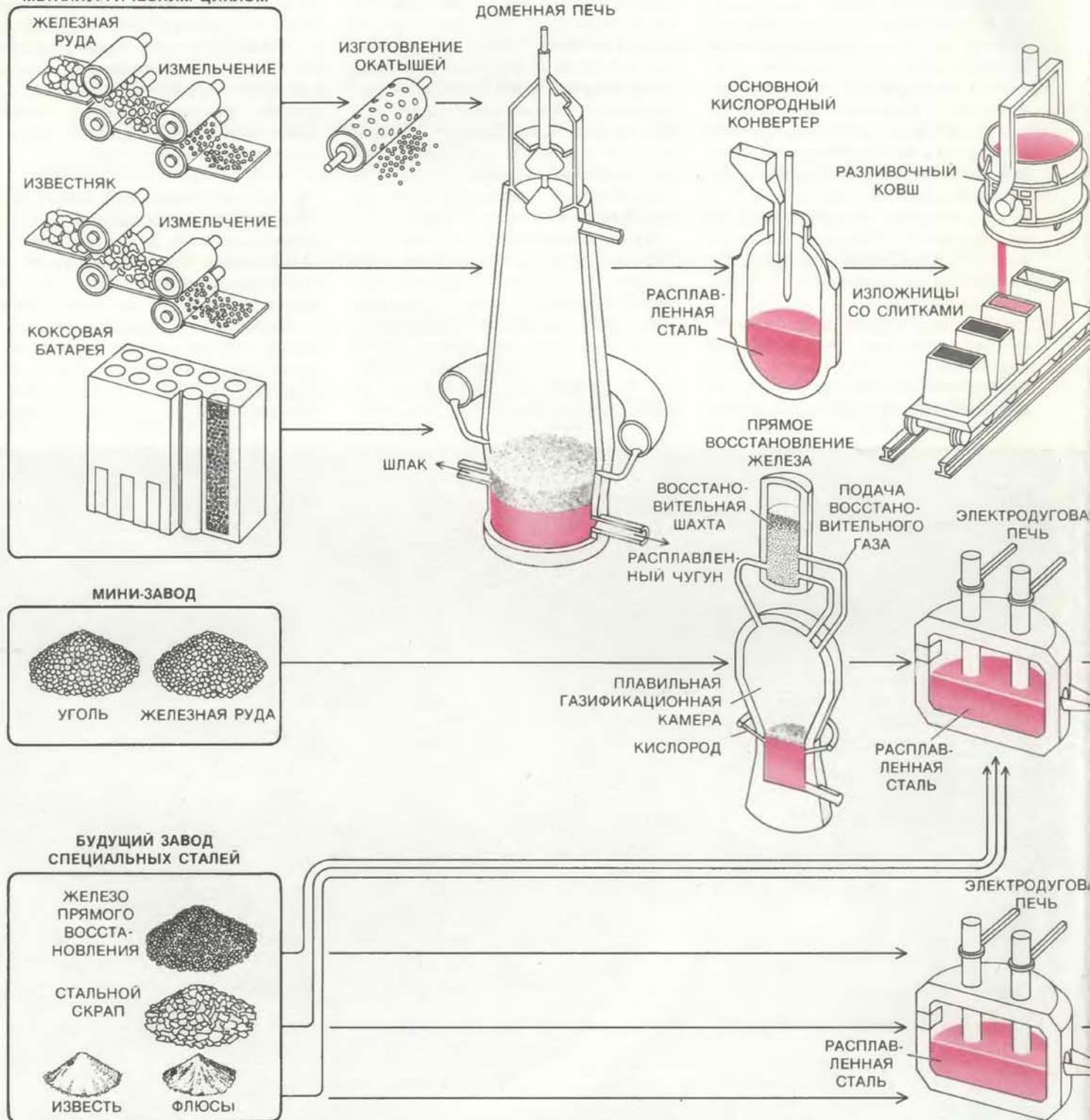


ют 400—500 долл. на тонну. В прокатном производстве основную долю производственных расходов составляет заработная плата, тогда как на начальных стадиях полного метал-

лургического цикла (коксование и производство чугуна и стали) большая часть производственных расходов приходится на потребляемую энергию. Капитальные затраты на

строительство завода с полным металлургическим циклом оцениваются примерно в 1600 долл. на тонну годового производства. Следовательно, капитальная стоимость типичного за-

ТРАДИЦИОННЫЙ ЗАВОД С ПОЛНЫМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ



ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ существенно различается в зависимости от типа завода: с полным металлургическим циклом, мини-завод или завод специальных сталей. Полный металлургический цикл разделяется на подготовительные и заключительные процессы. Первые из них включают коксование угля (получение кокса), подготовку железной руды для загрузки в доменную печь, в которой руда восстанавливается (освобождается от кислорода) и нагревается, образуя жидкий чугун и шлак (отход производства), и рафинировочные процессы превращения чугуна в сталь. За-

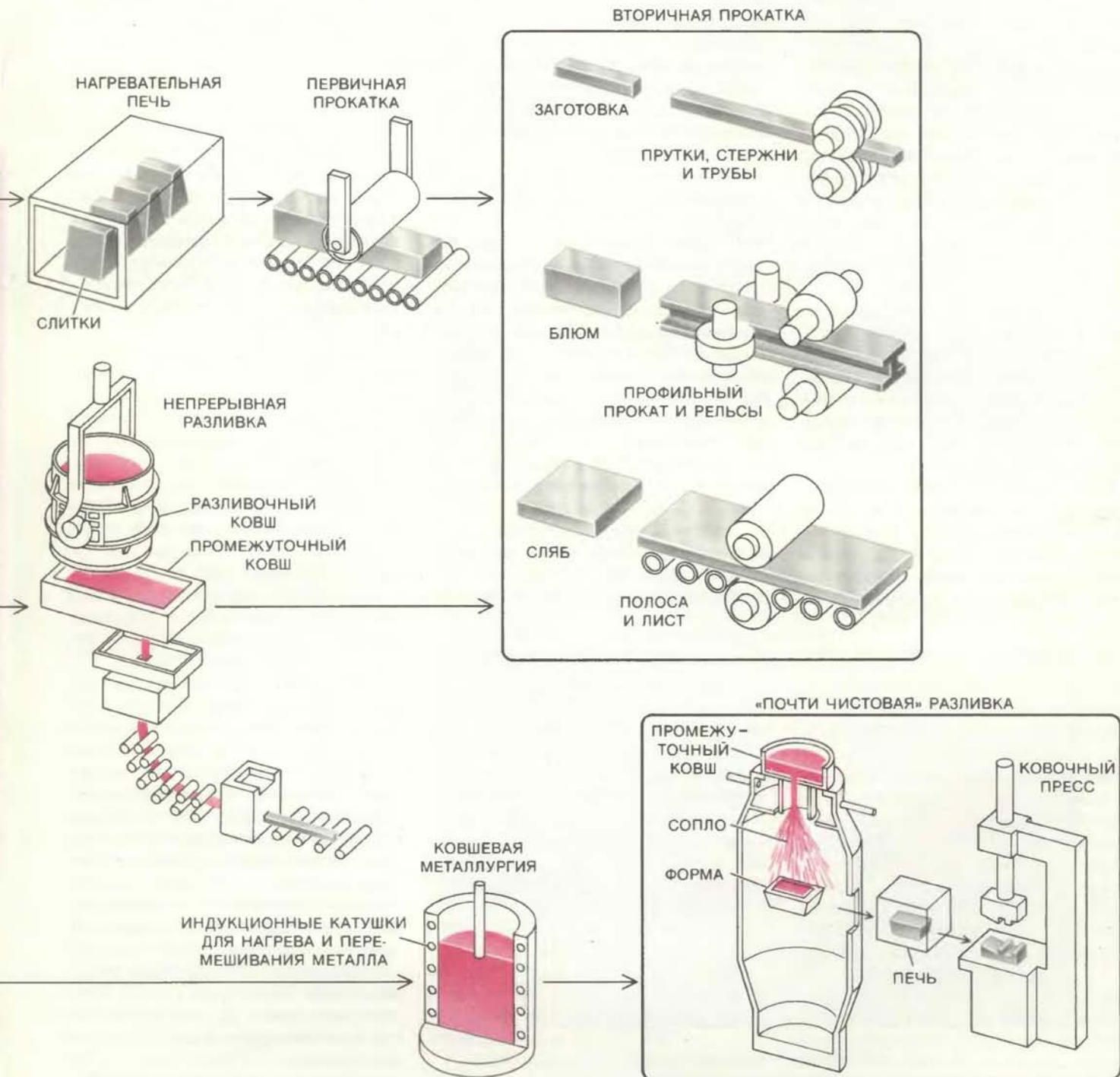
ключительные процессы включают разливку, повторный нагрев и прокатку, в результате которых жидкая сталь превращается в прокатные профили (прутки, трубы, профильный прокат, полосы и листы). На мини-заводах подготовительные процессы обычно отсутствуют и производство начинается с плавления стального скрапа, однако в скором времени на мини-заводах вместе со скрапом, вероятно, будет использоваться жидкое железо, полученное методом прямого восстановления. Процесс прямого восстановления железа требует значительно меньших капита-

вода с полным металлургическим циклом достигает нескольких миллиардов долларов с примерно равным распределением между начальными операциями цикла (коксование и про-

изводство чугуна и стали) и конечными операциями (прокатка).

В противовес этому японские владельцы заводов с полным металлургическим циклом впервые освоили

выпуск стали в ультрасовременных (но с традиционной технологией) сталеплавильных цехах, где на тонну стали расходуется на 20% меньше энергии и на 50% меньше трудовых



повложений, чем доменное производство, и основан на использовании в шихте железной руды и угля (а не кокса). Альтернативой является приобретение железа прямого восстановления, производимого на современных заводах путем восстановления железной руды без плавнения. Мини-заводы были первыми из сталелитейных предприятий, внедривших непрерывную разливку, т. е. непосредственное получение заготовок, блюмов и слябов из жидкой стали. Этот процесс исключает разливку на слитки и многочисленные операции прокатки, характерные для заво-

дов с полным металлургическим циклом. Заводы специальных сталей также работают на скрапе, но в отличие от мини-заводов, производящих низкосортную сталь для местного рынка, они выпускают высококачественные легированные стали по заказам потребителей. В перспективе заводы специальных сталей будут выпускать стали еще более высокого качества, применяя ковшовую обработку металла в жидком виде и его разливку практически в чистовую форму.

затрат (в человеко-часах), чем на американских заводах. Другим существенным различием в производстве стали на заводах с полным металлургическим циклом в этих двух странах является то, что японские стали отличаются заметно лучшим качеством в отношении химической чистоты, коррозионной стойкости, механических свойств и допусков на размеры. Различия в качестве сталей можно в значительной мере объяснить тем, что японцы применяют самое современное технологическое оборудование с компьютерным управлением и сумели добиться конструктивного отношения к делу со стороны и рабочих, и администрации. На основании этих фактов можно было бы легко заключить, что причиной плохой эффективности американской сталелитейной промышленности является устаревшее, с большой долей человеческого труда, машинное оборудование, которое все еще находится в эксплуатации на американских заводах с полным металлургическим циклом. Этот вывод в некоторой мере верен, однако он не объясняет, почему японские владельцы заводов с полным металлургическим циклом также испытывают экономические трудности.

Суть в том, что процесс производства стали в том виде, в каком он практикуется на заводах с полным металлургическим циклом (в любой стране), является теперь неэффективным и устаревшим процессом, до-

ставшимся нам от прошлого века. Таким образом, заводы с полным металлургическим циклом как бы приведены «к общему знаменателю» и поэтому следует рассмотреть другие факторы, довлеющие над экономикой сталелитейного производства, в частности затраты труда. В этом отношении развивающиеся страны имеют существенное преимущество над развитыми: уровень заработной платы в них обычно значительно ниже. По этой причине именно развивающиеся страны (например, Южная Корея или Тайвань), а не развитые (такие, как Япония), подрывают сбыт американской стали на внутреннем и международном рынках.

Мини-заводы до сих пор успешно конкурировали с американскими и иностранными заводами с полным металлургическим циклом, так как они почти полностью отказались от начального процесса металлургического цикла — получения чугуна, включая подготовку сырья и эксплуатацию доменных печей, — потребляющего значительное количество энергии и требующего больших капиталовложений. Мощность мини-заводов колеблется от 300 тыс. до 1,2 млн. тонн стали в год. Еще более важно то, что на производство тонны стали здесь расходуется только 2—3 чел.-ч, а также то, что капитальные расходы мини-завода составляют всего лишь 200—300 долл. на тонну годового производства. К тому же,

мини-заводы обычно отличаются хорошей организацией производства, а отлично налаженные отношения между рабочими и администрацией дают свои большие выгоды.

Кроме того, мини-заводы нашли выгодный путь для сбыта своей продукции: они продают готовую сталь на месте, тем самым сокращая транспортные издержки, и сконцентрированы на выпуске ограниченного ассортимента стальных профилей и изделий в узкой группе продуктов, производство которых экономически выгодно (см. статью: Джек Роберт Миллер. Сталеплавильные мини-заводы, «В мире науки», 1984, № 7). Эта группа изделий включает арматурные стержни для железобетона (изготавливаемые из низших сортов стали), проволочные стержни и прутки различного поперечного сечения. Однако в последнее время мини-заводы пытаются расширить свой ассортимент и наладить выпуск более высококачественных сталей.

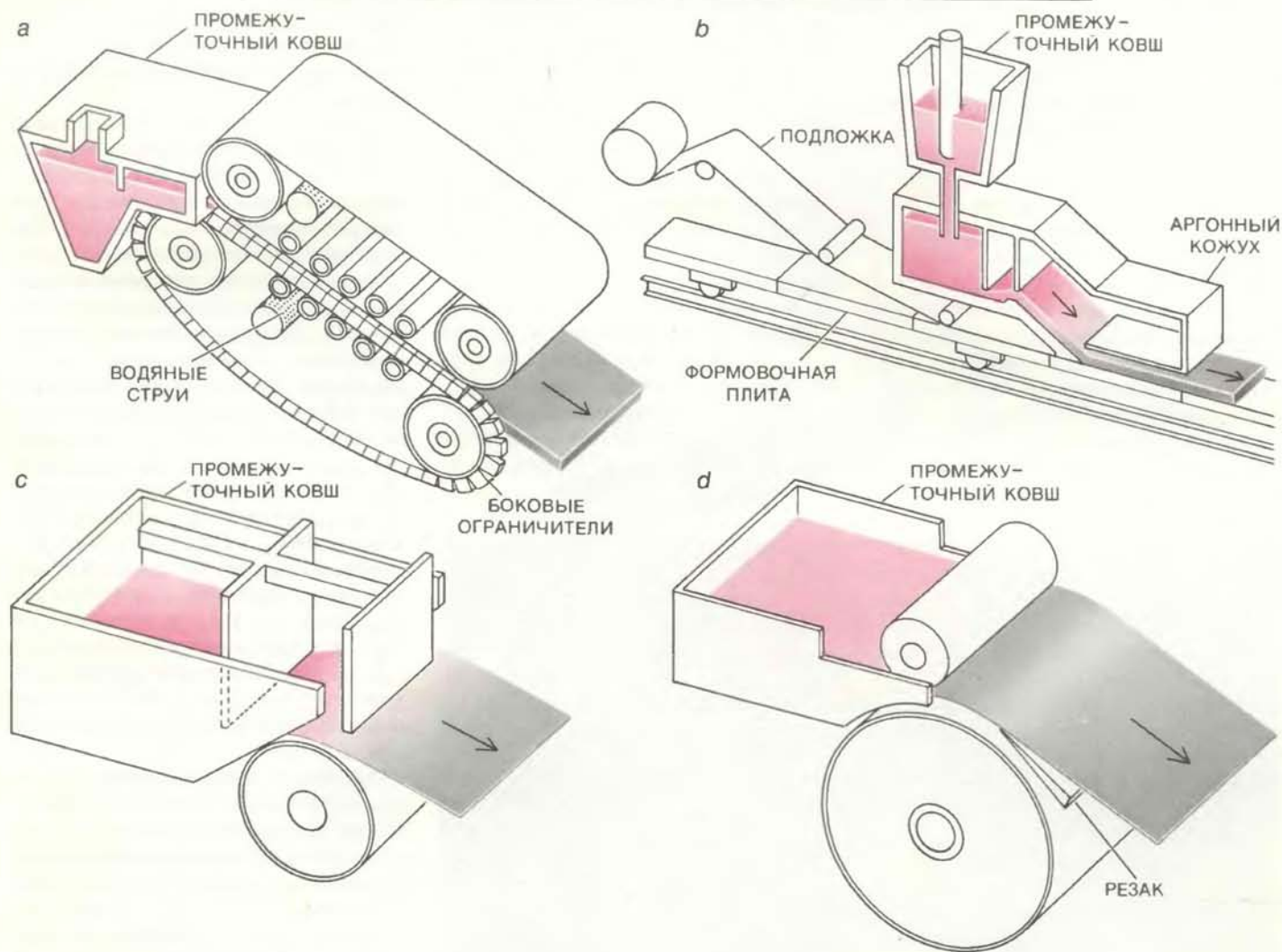
Технологический цикл мини-завода обычно основан на использовании стального скрапа (хотя они могут получать и восстановленное железо) и включает только рафинирование стали, разливку и прокатку. Одним из ключевых процессов, сделавших производство на мини-заводах экономически эффективным, является непрерывная разливка, применяемая теперь на всех мини-заводах. (Для сравнения: только около половины всех заводов с полным металлургическим циклом в США имеют машины для непрерывной разливки стали.)

При оценке того, что реально может новая технология и что она должна сделать, чтобы улучшить экономическое положение в стальной промышленности, необходимо учитывать те факторы, которые ограничивают конкурентоспособность американских производителей стали. В случае заводов с полным металлургическим циклом эти факторы сводятся к избытку рабочей силы, высокому потреблению энергии и большим капитальным затратам, а также негибкости производства. Расширение производства на мини-заводах также ограничивается рядом факторов, в частности наличием скрапа и содержанием в нем примесей (что может препятствовать выпуску некоторых высококачественных сталей) и высокой стоимостью сложного оборудования для производства плоского проката.

УКАЗАННЫЕ технологические и экономические соображения должны в конце концов определить пути дальнейшего технологического развития. Одним из технологических



ТИПИЧНЫЙ ДИАПАЗОН РАСХОДОВ на тонну годового производства металла для старого и современного заводов с полным металлургическим циклом и для мини-завода может быть представлен как сумма постоянных и переменных расходов. Постоянные расходы включают капиталовложения и затраты на рабочую силу и ремонт оборудования, которые не претерпевают существенных изменений на действующем заводе. Переменные расходы включают стоимость сырья, вспомогательных материалов и энергии, которые могут меняться из года в год. Капиталовложения на новую технологию на мини-заводах окупаются быстрее, поэтому они могут раньше других рассматривать возможности замены старого оборудования новым.



ПРОЦЕССЫ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ, разрабатываемые в настоящее время, позволят производить непрерывно стальную полосу толщиной от 12 до 50 мм (a, b) или стальной лист толщиной до 1 мм (c, d). Этот способ

снизит производственные расходы и позволит мелким заводам конкурировать с крупными заводами с полным металлургическим циклом.

методов, представляющих заманчивыми в этом отношении, является прямое восстановление железа, т. е. одноступенчатый процесс получения расплавленного железа из железной руды и угля. Процесс прямого восстановления железа может дать существенную экономию капитальных затрат и эксплуатационных расходов по сравнению с традиционным доменным производством и связанными с ним процессами коксования и агломерации руды, которые в настоящее время являются бременем для заводов с полным металлургическим циклом.

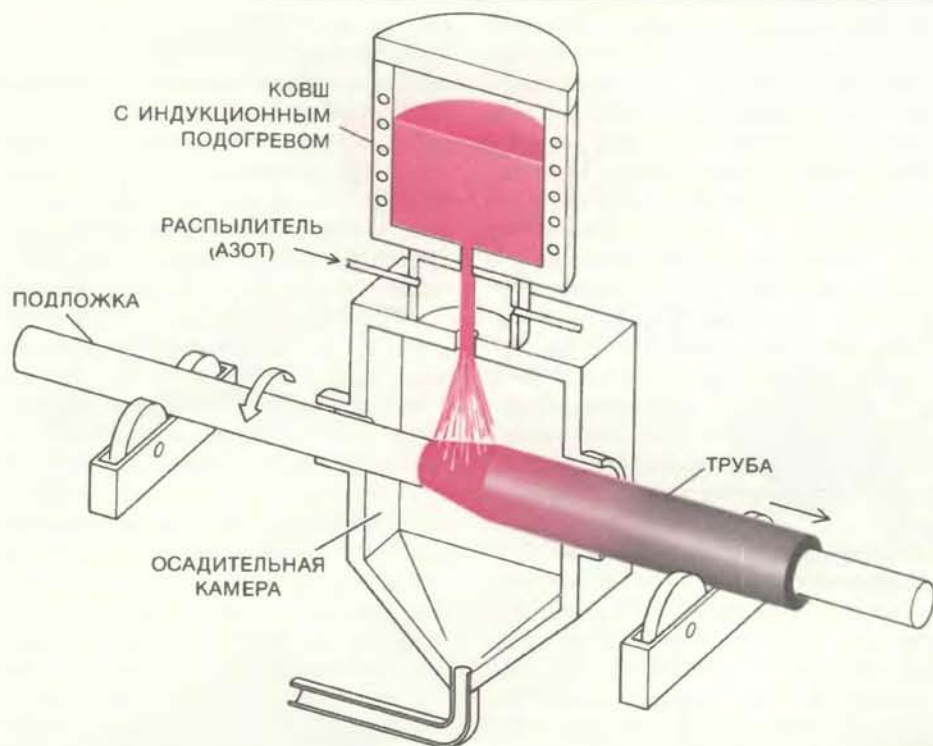
Другая группа новых технологических процессов также может стать движущей силой для снижения числа (и стоимости) стадий производства; эти процессы нацелены на одностадийное превращение расплавленной стали в конечный продукт. Такие процессы позволяют снизить затраты капитала и энергии и трудовые затраты, неизбежные в цепочке традицион-

ных процессов производства стали. Например, при обычной технологии листы или полосы получают путем трудоемкой и длительной прокатки слитков или слябов в прокатных станах. Если бы машина для непрерывной разливки стали могла выпускать непосредственно стальные листы толщиной несколько миллиметров, мини-заводы получили бы экономически выгодный способ производства плоского стального проката, который до сих пор был им недоступен, и тем самым завоевать выгодное положение на рынке сбыта.

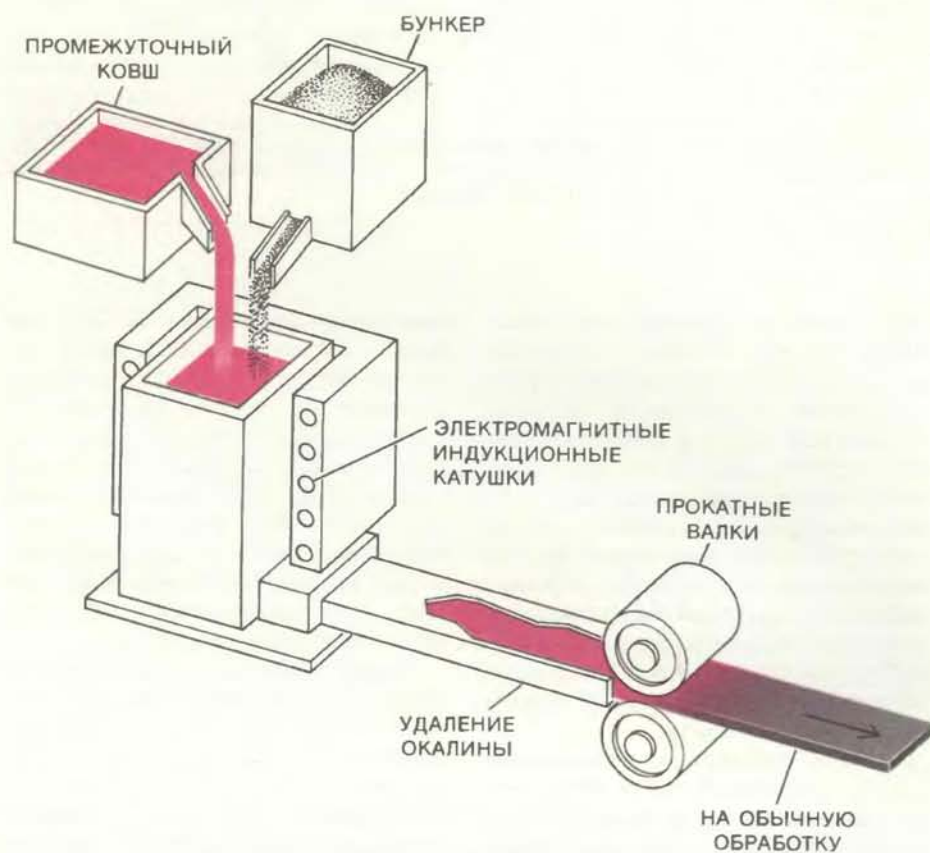
Процесс прямого восстановления железа уже разработан и находится на стадии экспериментального, а в отдельных случаях и промышленного производства; уже построены экономически эффективные установки, производящие в год от 30 тыс. до 1 млн. тонн горячего расплавленного железа. Ведется совершенствование различных процессов прямого восстановления железа, но все они основаны

на продувке шихты из железной руды (или частично восстановленной железной руды) и угля кислородом в установке наподобие конвертера. Конечным продуктом является расплавленное железо, сходное с расплавленным чугуном, получаемым в доменной печи. Уголь в данном процессе выполняет двойную функцию: действует как восстановитель и как топливо для генерации тепла, необходимого для плавления железа.

Железо прямого восстановления может быть привлекательным исходным материалом для мини-заводов, так как оно является потенциальным источником железа, не загрязненного «случайными» металлами, например медью, свинцом и цинком, которые обычно присутствуют в стальном скрапе. В таком железе могут стать заинтересованными и владельцы заводов с полным металлургическим циклом; процесс его производства может быть включен дополнительно в металлургический цикл или даже за-



НАПЫЛЕНИЕ является совершенно новым технологическим процессом, который позволит сталелитейным заводам выпускать высококачественные стали с высокими механическими свойствами и высокой коррозионной стойкостью. На приведенной здесь схеме процесса Оспрей жидкая сталь распыляется струями азота и, осаждаясь на вращающейся цилиндрической подложке, формирует бесшовную трубу.



РЕОЛОГИЧЕСКАЯ РАЗЛИВКА — процесс, в котором частично затвердевший металл поддерживается в текучем состоянии путем энергичного перемешивания; в будущем, вероятно, перемешивание будет осуществляться электромагнитными полями. Такое перемешивание позволит равномерно распределить в полужидком металле частицы или волокна армирующего материала. Получающийся материал — металлматричный композит — имеет высокую прочность на единицу массы. Такие материалы будут производить реконструированные и новые сталелитейные заводы.

менить старые коксовые батареи и доменные печи, которые приходится закрывать по экологическим соображениям.

Реализация процесса прямого восстановления железа, однако, наталкивается на ряд технических проблем, в частности создание материалов, способных противостоять чрезвычайно сильной высокотемпературной коррозии в конвертере или поддержание в тонком равновесии нескольких химических реакций, происходящих одновременно в системе. Существуют и некоторые экономические препятствия. В настоящее время в мире имеется некоторый избыток производственных мощностей для производства чугуна. Следовательно, владельцы заводов с полным металлургическим циклом, которые не могут позволить себе крупные капиталовложения, вряд ли пойдут на то, чтобы модернизировать производство с заменой доменных печей установками для прямого восстановления железа, даже если эта модернизация сулит более эффективное и дешевое производство железа.

Основным сдерживающим фактором перехода мини-заводов на технологию прямого восстановления железа является то, что продуктом этого процесса является железо, а не сталь, и, следовательно, им необходимо дополнительно устанавливать сталеплавильные печи. Так как сталеплавильные агрегаты являются неотъемлемым компонентом существующих мини-заводов, может оказаться экономически более выгодным использование импортированного железа прямого восстановления (восстановленного без плавления) вместо того, чтобы вкладывать капитал в строительство собственных установок для прямого восстановления железа, если для специальных целей требуется железо высокой чистоты. В свете этих соображений процесс прямого восстановления железа может заполнить некоторые ниши в американской стальной индустрии, но едва ли он будет иметь широкое влияние во всей отрасли.

НЕПРЕРЫВНАЯ разливка стали на полосы и листы (см. рисунок на с. 11), вероятно, будет играть в американской стальной промышленности более важную роль, чем процесс прямого восстановления железа, особенно в секторе мини-заводов. На первый взгляд технология непрерывной разливки весьма заманчива, так как она позволяет на мини-заводах исключить все или почти все прокатные операции, связанные с большими затратами труда. Эта технология может оказаться привлекательной и для устаревших заводов с полным метал-

лургическим циклом, так как переход от разливки в слитки к непрерывной разливке в тонкие заготовки или полосы позволит им исключить значительную долю прокатных операций. Преимущества для более современных заводов с полным металлургическим циклом, уже имеющих установки для непрерывной разливки стали, будут менее значительными, так как в этом случае исключается меньшее число прокатных операций. Тем не менее можно с уверенностью утверждать, что через 10—15 лет значительная доля мирового производства стали будет получаться способом непрерывной разливки.

В технологии непрерывной разливки стали все же еще есть несколько нерешенных проблем. Непрерывная разливка позволяет уменьшить объем последующей механической обработки металла, но она предъявляет более строгие требования к чистоте расплавленного металла. Традиционное производство стали, в котором слитки подвергались значительной обработке деформацией, характеризовалось большими потерями металла в отходы, но было более терпимым к колебаниям состава стали в ковше. В современной технологии разливки, применяемой на мини-заводах, потери металла в отходы недопустимы, поэтому устанавливаются жесткие допуски на размеры стальных изделий и предъявляются более высокие требования к составу металла.

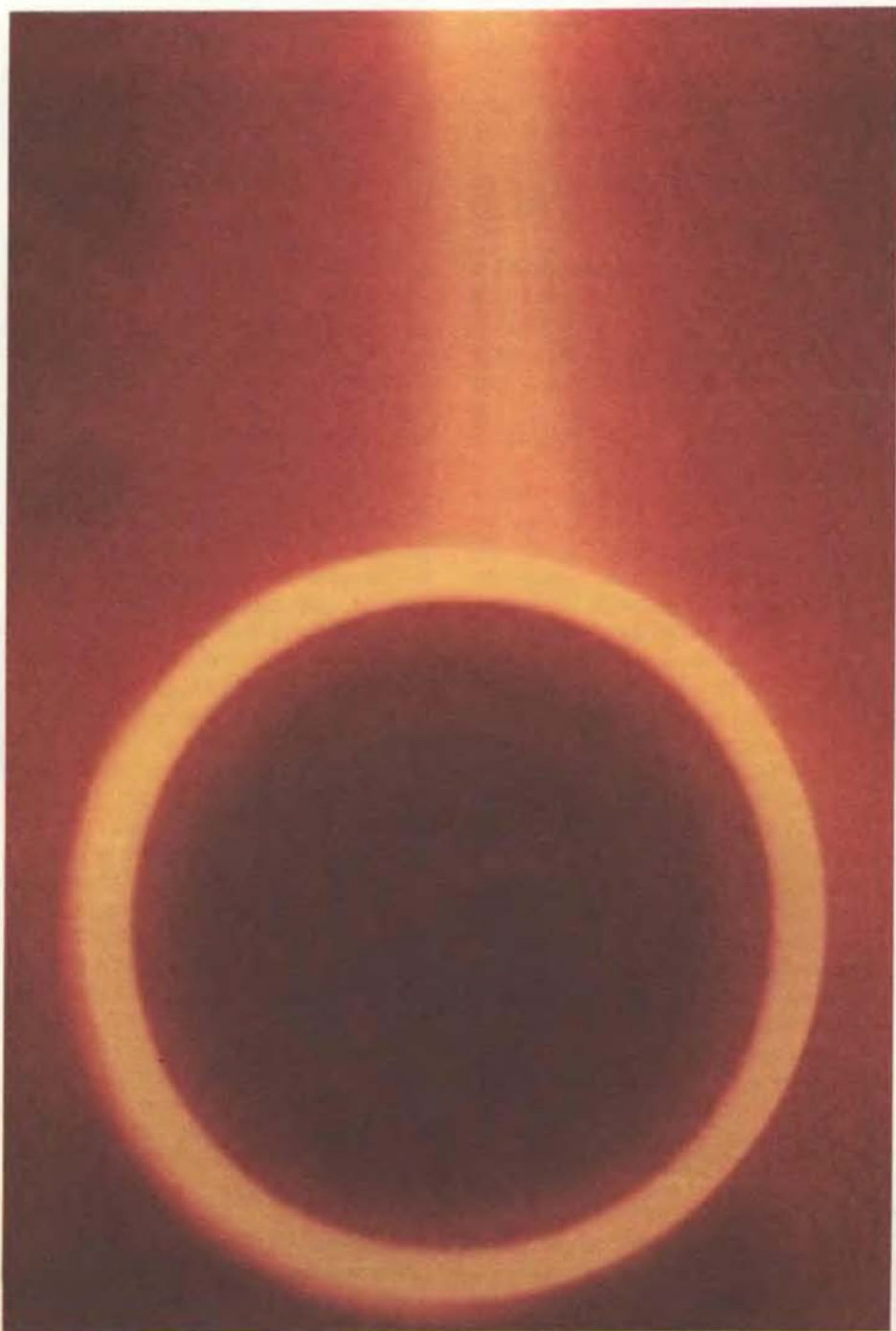
Например, в процессе непрерывной разливки поверхность расплава стали обычных марок загрязняется из атмосферы. В случае слябов, имеющих толщину 200—300 мм, проблема легко решается путем удаления на затвердевших слябах поверхностного слоя толщиной 0,5—1 мм. При непрерывной разливке на листы толщиной обычно не менее 1 мм такая обработка, очевидно, невозможна. В этом отношении заводы специальных сталей, на которых разливается преимущественно нержавеющая сталь, имеют определенное преимущество.

Основным экономическим эффектом от внедрения процессов прямого восстановления железа и непрерывной разливки могло бы быть снижение стоимости производства продуктов существующего ассортимента. Это снижение стоимости, оцениваемое в размерах 15—40%, могло бы оказать существенное влияние на внутреннюю конкуренцию между мини-заводами и заводами с полным металлургическим циклом. Однако маловероятно, что эти технологические процессы (даже в сочетании с реконструкцией стальной промышленности в пользу мини-заводов и заводов специальных сталей) смогут вос-

становить на длительный срок конкурентоспособность американской стальной промышленности на внутреннем рынке, не говоря уже о международном. Конкурирующие заводы в развивающихся странах имеют доступ к той же технологии сталелитейного производства, они могут использовать преимущество более низких уровней заработной платы в своих странах и, получая правительственную поддержку, могут игнорировать рыночные тенденции.

Для того чтобы американская стальная промышленность могла в будущем отвоевать свою долю на мировом рынке стали, необходимо раз-

работать принципиально новые процессы производства, которые еще не являются широко доступными. В свете текущих и ожидаемых в будущем экономических реалий ценность продукции, выпускаемой нетрадиционными методами, может существенно возрасти. К такой продукции могут быть отнесены стали с поверхностными покрытиями или подвергнутые поверхностной обработке, придающей металлу высокую коррозионную стойкость и износостойкость, а также стали, армированные волокнами и новые стальные сплавы с уникальными микроструктурными свойствами, полученными методами



ИЗГОТОВЛЕНИЕ НАКАЛЬНОЙ ТРУБКИ методом Оспрей. Фотография шведской фирмы AB Sandvik Steel.

быстрого охлаждения или порошковой металлургии. Естественно, для получения таких сталей нужны сложные технологические методы, и цены на них будут достаточно высокими, чтобы затраты капитала на их производство (и разработку) оправдались. По грубой оценке, минимальная цена таких сталей будет около 1000 долл. за тонну.

СРЕДИ НОВЫХ технологических процессов, заслуживающих внимания в этом отношении, можно выделить процесс так называемой «почти чистой» разливки. Принцип состоит как бы в продолжении идеи непрерывной разливки. Например, в так называемом процессе Оспрей струя расплавленного металла распыляется скоростными струями газа, и мелкие капли расплавленного металла напыляются на твердую подложку. Регулируя скорость и траекторию движения распылительного сопла или подложки, в принципе можно напылением получать изделия любой заданной формы.

Этот метод был успешно испытан в производстве труб: расплавленный металл попросту напыляли на поверхность вращающейся цилиндрической подложки. Аналогичным образом, используя более широкое неподвижное сопло, можно напылять слои стали на движущуюся ленту, получая таким образом стальную полосу или лист со скоростью 5—10 т/ч. Так как стальные капли быстро затвердевают на подложке, можно получать объемные изделия, обладающие нужными механическими свойствами и коррозионной стойкостью. Более того, при быстром охлаждении, применяемом в этом процессе, сталь приобретает однородную мелкозернистую структуру, что часто исключает необходимость в последующей механической обработке.

Другой областью, в которой исследования могут дать плодотворные результаты, является «реологическая разливка» (реокастинг), т. е. смешивание и разливка частично затвердевших расплавов. Ключевой проблемой реологической разливки является непрерывное перемешивание расплава, благодаря чему он остается текучим и легко разливается, даже если и имеет высокое (например, 30—50%) содержание твердой фазы. (Этот же принцип используется для приготовления мороженого.)

При разливке стали таким способом можно получить структуру с мелкими и однородными кристаллическими зернами, благодаря чему сталь приобретает нужные структурные и механические свойства. Кроме того,

принудительное перемешивание может быть эффективно использовано, в частности, для равномерного распределения в стали волокон или других армирующих элементов. Следовательно, модификация реологической разливки может быть использована для изготовления металломатричных композиционных материалов, обладающих великолепными механическими свойствами и высокой прочностью. Так как количество тепла, которое должно быть отведено от перемешиваемого расплава до его полного затвердевания, существенно ниже, чем теплота затвердевания стали в обычных ковшах, метод реологической разливки позволяет легко получать изделия почти готовой окончательной формы.

ЕСЛИ ВНУТРЕННЯЯ микроструктура металла определяет его механические свойства, то коррозионная стойкость и некоторые другие свойства зависят от структуры поверхностных слоев. Можно, следовательно, предполагать, что на будущих мини-заводах будут применяться один или несколько способов поверхностной обработки стали для получения специальных свойств. Одним из таких способов является лазерная обработка: мощный лазерный луч быстро проходит по поверхности материала и расплавляет поверхностный слой. Этот слой быстро охлаждается нижележащими слоями металла, так что в итоге получается модифицированная поверхностная структура без нарушения структуры нижележащей толщи металла.

Другими способами получения специальных поверхностных свойств являются плазменное напыление и магнетронный набрызг. При плазменном напылении поток высокоскоростного разогретого до высокой температуры ионизованного газа, полученного воздействием на газ электрической дугой, переносит материал покрытия на обрабатываемую поверхность. Плазменным напылением можно наносить на металлы термостойкие, износостойкие или коррозионностойкие покрытия. При магнетронном набрызге луч заряженных частиц направляется на поверхность расплава, помещенного рядом с обрабатываемой деталью. Металл разбрызгивается падающими на него частицами и попадает на поверхность детали.

Конечно, плазменное напыление и магнетронный набрызг известны уже несколько лет. Однако в последнее время были лучше выяснены происходящие в этих процессах явления (главным образом благодаря компьютер-

ному моделированию) и в качестве напыляемых стали доступными более термостойкие материалы; в настоящее время можно говорить об управлении применении этих способов для обработки больших масс материала, например стального листа для автомобильных кузовов.

ИССЛЕДУЯ положение в американской стальной промышленности, можно заключить, что никакой простой «технологический прием» не сможет спасти всю отрасль. Хотя на горизонте появилось много новых и обнадеживающих технологических идей, не все секторы отрасли смогут в равной мере воспользоваться выгодами от их внедрения. Зарождающиеся технологические способы, например непрерывная разливка и формирование напылением, окажутся более соответствующими нуждам и масштабу производства мини-заводов и заводов специальных сталей. Если эти идеи будут успешно реализованы, мини-заводы смогут оказаться еще более серьезными конкурентами заводов с полным металлургическим циклом как американским, так и иностранным. Давая волю воображению, можно представить, что ковшовая обработка металла, «почти чистовая» разливка и поверхностная модификация металла станут составными технологическими процессами в цикле относительно небольшого автоматизированного «утопического» сталелитейного завода, на котором плавная сталь будет получаться непосредственно из железной руды и других сырьевых материалов.

Трудно предполагать, что заводы с полным металлургическим циклом в их современном виде, т. е. с крупными негибкими производствами, доживут до конца XX в. Тем не менее, если мини-заводы прекратят эксплуатацию этих новых технологических разработок для своего расширения за счет заводов с полным металлургическим циклом, это было бы выгодным для всей национальной экономики.

Наука и общество

Семейные узы

ЭВОЛЮЦИЯ строения человеческого тела, как полагают, происходила постепенно: обезьяньи пропорции и положение тела, свойственные нашим далеким предкам, плавно сменяется морфологическими особенностями современного человека. Новая находка в Олдувайском ущелье наводит на мысль, что этот переход в действительности был внезапным. В песчаных слоях местонахождения, расположенного к востоку от равнины Серенгети в Африке, обнаружены костные фрагменты, по которым можно восстановить пропорции тела гоминида, жившего 1,8 млн. лет назад. Хотя потомков этой особи, появившихся спустя 200 тыс. лет, относят к виду *Homo erectus*, «цветущая дама в возрасте», реконструированная на основании упомянутых костных остатков, еще очень напоминает длиннорукого древнего гоминида.

Этот «Олдувайский гоминид 62» (ОН 62), представленный более чем 300 костными фрагментами, был найден прошлым летом участниками экспедиции, которой руководил Д. Джохансон — директор Института происхождения человека в Беркли и Т. Уайт из Калифорнийского университета в Беркли. Рассказывая о своем открытии в журнале «Nature», исследователи сообщили, что в отложениях, сформировавшихся 1,8 млн. лет назад, они обнаружили плохо сохранившиеся куски черепа, а также кости верхних и нижних конечностей. Все они были разбросаны по поверхности земли, где, вероятно, сотни лет подвергались выветриванию.

В результате реконструкции черепа перед учеными предстал профиль гоминида вида *Homo habilis*, который появился в Восточной Африке около 2 млн. лет назад. Черепов, относящихся к этому виду, находили немало и раньше, но кости нижних конечностей ОН 62 впервые позволили судить о росте и пропорциях тела *H. habilis*.

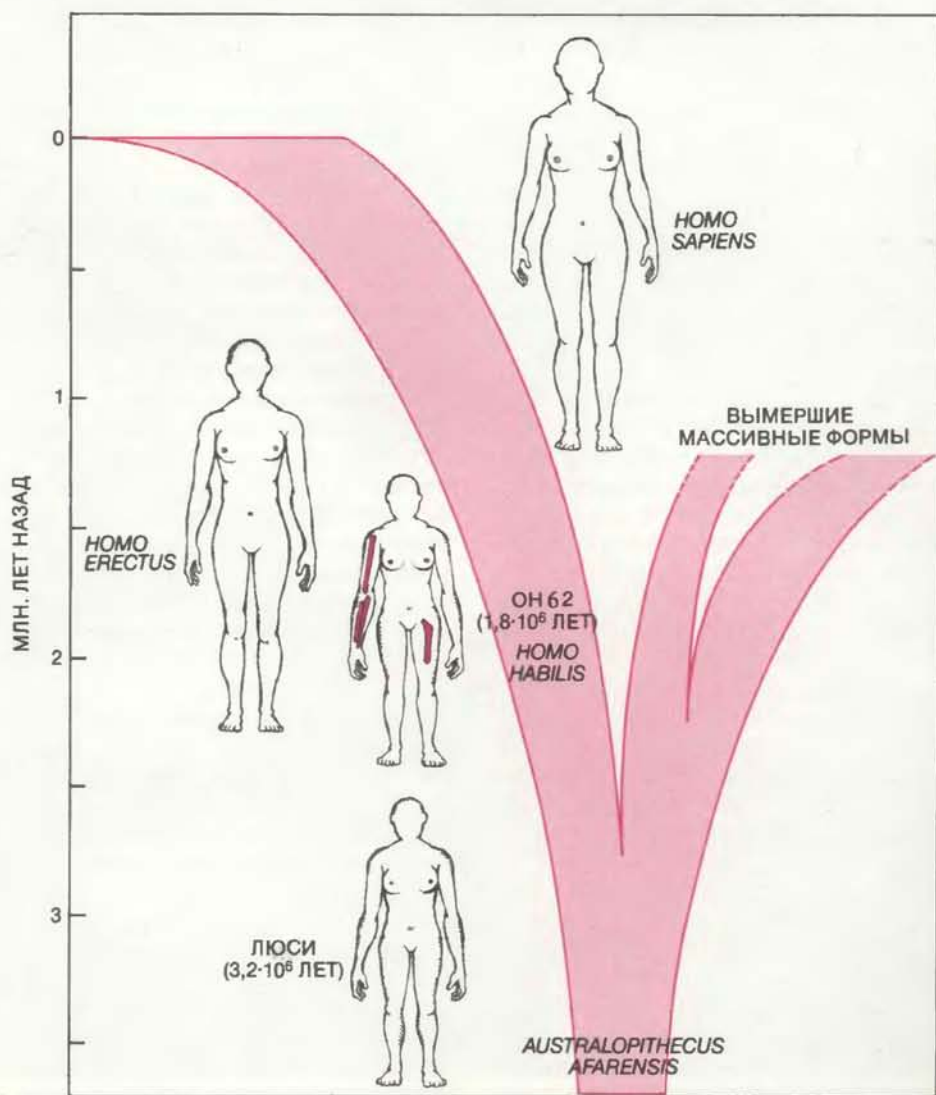
Портрет нашего предка оказался весьма неожиданным. Поскольку *H. habilis* более чем на миллион лет «моложе» знаменитой двуногой Люси, относящейся к виду *Australopithecus afarensis*, антропологи полагали, что по своим морфологическим особенностям *H. habilis* должен быть ближе к *H. sapiens*, чем к *A. afarensis*. Однако костные остатки ОН 62 поразительно сходны с таковыми Люси. ОН 62 — самка, умершая в зрелом возрасте (30 лет) была так же невелика, как и Люси: всего какой-нибудь

метр с небольшим, и руки у нее были тоже очень длинные по отношению к росту.

Джохансон и Уайт указывают, что рост может сильно варьировать в пределах вида, но пропорции тела, как правило, довольно постоянны. Следовательно, за исключением характерного увеличения емкости черепа, эволюция гоминидов в течение более миллиона лет как бы стояла на месте. Более того, на протяжении последующих 200 тыс. лет предки человека должны были испытать резкое увеличение в росте. Около 1,6 млн. лет назад представители *Homo erectus* сменили *H. habilis* в Восточной Африке. Как свидетельствуют ископаемые остатки женских особей *H. erectus*, рост этих последних достигал 1,5 м и более, а руки у них не доходили до колен.

В связи с находкой ОН 62 возникают два вопроса: почему морфологический тип гоминидов так долго оставался одним и тем же и почему потом он столь резко изменился? Джохансон считает, что сохранение черт, свойственных Люси, вероятно, не случайно. Длинные руки развились для лазанья по деревьям; во враждебной окружающей среде это приспособление дает его обладателю немалые преимущества: доступ к источникам пищи, спасение от хищников, возможность занять относительно безопасное место для ночлега.

Джохансона более всего интересует критический период от 1,6 до 1,8 млн. лет назад. «Нечто грандиозное происходило в Африке» во время этого 200-тысячелетнего промежутка, утверждает ученый и намеревается сконцентрировать дальнейшие исследования на том периоде, который стал свидетелем таких значительных изменений в морфологии древнего человека.



ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ПРОПОРЦИИ древних гоминидов — предков человека представлены на древе родственных связей. Кости верхних и нижних конечностей новой находки — «олдувайского гоминида 62» (ОН 62) свидетельствуют, что пропорции тела мало изменились за 1,4 млн. лет, разделяющие Люси (вид *Australopithecus afarensis* и ОН 62 (*Homo habilis*), а с появлением *Homo erectus*, что произошло 1,6—1,8 млн лет назад, претерпели резкие изменения.

Молекулы зрительного возбуждения

Когда фоторецепторная клетка сетчатки — палочка — поглощает свет, начинается каскад реакций, приводящий к возникновению нервного импульса.

В настоящее время этот каскад изучен вплоть до деталей на молекулярном уровне. Ключевую роль играет белок, называемый трансдуцином

ЛЮБЕРТ СТРАЙЕР

НАУКА о зрении переживает сейчас волнующее время. Много лет назад У. Раштон из Кембриджского университета писал: «Молекулы реагируют на свет так же, как люди на музыку. Некоторые не воспринимают ничего. Другие начинают слегка постукивать ногой или пальцем. Есть и такие, кто поднимается, танцует и меняет партнеров». В те времена Раштон мог дать лишь такое поэтическое описание: не было известно, какие конкретно молекулы участвуют в ответе фоторецепторных клеток сетчатки на свет и как они взаимодействуют.

Однако в последнее десятилетие во многих лабораториях (в том числе и в моей) получены экспериментальные данные, вскрывающие молекулярные основы зрительного возбуждения. Идентифицированы молекулы, принимающие участие в реакции на свет, составлена в основном схема их взаимодействия. Детальные биохимические исследования показали, что описание Раштона было провидческим. Молекулы, обеспечивающие ответ на свет, действительно «поднимаются, танцуют и меняют партнеров» в замечательном каскаде реакций, лежащем в основе механизма зрения.

ЭТОТ молекулярный каскад имеет определенную локализацию в фоторецепторных клетках сетчатки. Фоторецепторные клетки бывают двух типов, которые за их характерную форму называются палочками и колбочками. Палочки позволяют видеть черно-белые изображения при тусклом свете; колбочки осуществляют цветное зрение при ярком свете. Сетчатка человека содержит 3 млн. колбочек и 100 млн. палочек. Электрические сигналы, генерируемые колбочками и палочками, обрабатываются

другими клетками сетчатки, прежде чем передаются в мозг по зрительному нерву.

Мой интерес к молекулярным основам зрения первоначально был вызван некоторыми поразительными свойствами палочек. Как рецепторы палочки достигли предельной чувствительности. Палочка может быть возбуждена одним фотоном — наименьшим возможным количеством света. Каскад молекулярных взаимодействий усиливает этот крошечный «квант» информации в сигнал, который воспринимается нервной системой. Кроме того, степень усиления изменяется в зависимости от фонового освещения: палочки значительно чувствительнее при тусклом свете, чем при ярком. В результате они эффективно функционируют в широком диапазоне фонового освещения. Палочки привлекали меня еще и тем, что их сенсорная система упакована в хорошо различимые клеточные субструктуры, которые можно легко выделить и исследовать.

Палочка представляет собой длинную тонкую клетку, четко разграниченную на две части. Наружный сегмент клетки содержит большую часть молекулярного механизма, детектирующего свет и инициирующего нервный импульс. Внутренний сегмент специализируется на генерации энергии и обновлении молекул, необходимых в наружном сегменте. Помимо этого, внутренний сегмент формирует синаптическое окончание, которое служит для связи с другими клетками. Если изолированную сетчатку слегка потрясти, наружные сегменты палочек отпадают и весь аппарат возбуждения можно исследовать в высокоочищенном виде. Это свойство палочек делает их настоящим подарком для биохимиков.

Наружный сегмент палочки — это узкая трубка, заполненная стопкой тонких дисков; в одной клетке их примерно 2 тысячи. И трубка, и диски образованы двухслойной мембраной одного и того же типа. Но наружная (плазматическая) мембрана палочки и мембрана дисков имеют различные функции в рецепции света и генерации нервного импульса. Диски содержат большинство белковых молекул, участвующих в поглощении света и инициации возбуждающего ответа. Наружная мембрана служит для преобразования химического сигнала в электрический. Многие из решающих исследований зрительного возбуждения были посвящены процессу, связующему молекулы дисков с молекулами плазматической мембраны.

КЧИСЛУ наиболее важных молекул, связанных с мембраной дисков, относится родопсин. Это фоторецепторный белок палочек, который поглощает фотон и дает ответ, составляющий первый шаг в цепи событий, обеспечивающих зрение. Родопсин состоит из двух компонентов — органического соединения, называемого 11-*цис*-ретином, и белка опсина. 11-*цис*-ретиналь — производное витамина А. Опсин способен функционировать как фермент. Поглощение фотона 11-*цис*-ретином «включает» ферментативную активность опсина и приводит в действие биохимический каскад.

Молекула опсина представляет собой единую полипептидную цепь из 348 остатков аминокислот. Аминокислотная последовательность опсина недавно определена в лабораториях Ю.А. Овчинникова в Институте биоорганической химии им. М.М. Шемякина в Москве и Р. Харгрэва в Университете Южного Иллинойса.

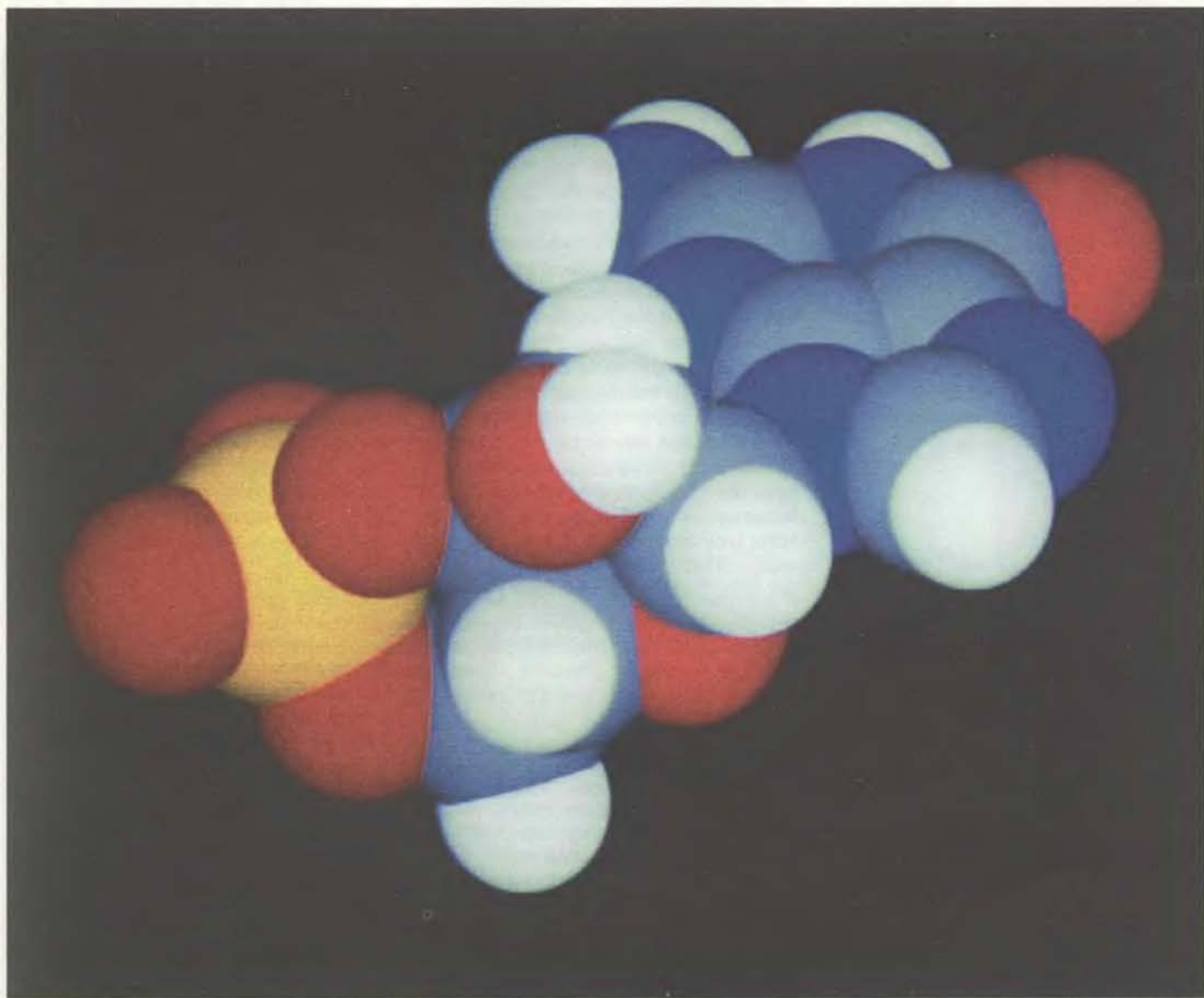
В их исследованиях получена существенная информация о трехмерной структуре этого белка, пронизывающего мембрану диска. Оказалось, что полипептидная цепь опсина образует семь участков так называемой α -спирали, которые расположены поперек мембраны; α -спиральные сегменты соединены короткими неспиральными участками (см. рисунок на с. 19). С одной из α -спиралей связана молекула 11-*цис*-ретинала, расположенная вблизи от середины мембраны так, что ее длинная ось параллельна поверхности мембраны. Таким образом ретинол вмонтирован в центр сложного, высокоорганизованного белкового окружения. Это окружение обеспечивает «подстройку» ретинала, влияя на спектр его поглощения. Сам по себе свободный ретинол в

растворенном виде имеет максимум поглощения в ультрафиолетовой области спектра — на длине волны 380 нм, в то время как родопсин поглощает зеленый свет на 500 нм. Этот сдвиг замечателен с функциональной точки зрения: благодаря ему спектр поглощения родопсина приводится в соответствие со спектром света, попадающего в глаз.

ЧТО ПРОИСХОДИТ, когда 11-*цис*-ретинол поглощает фотон? В общем виде ответ состоит в том, что молекула изомеризуется. Изомерами называются соединения, одинаковые по составу, но различающиеся по форме. Приставка «11-*цис*» обозначает определенный изомер ретинала. «Скелет» молекулы ретинала образован цепочкой атомов углерода; «11-

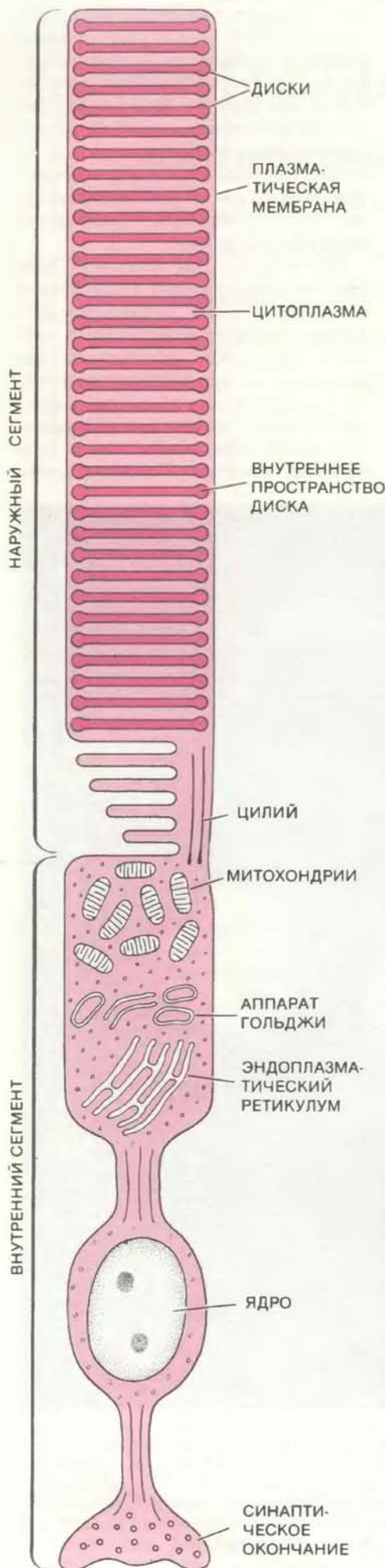
цис» означает, что атомы водорода, соединенные с 11-м и 12-м атомами углерода, расположены с одной и той же стороны от этой цепочки. При такой конфигурации в этом месте углеродной цепи имеется изгиб. В другом изомере, называемом *ол-транс* (т. е. полностью *транс*), атомы водорода при 11-м и 12-м атомах углерода лежат друг против друга, и углеродный скелет распрямлен.

Еще в 1957 г. Дж. Уолд и Р. Хаббард из Гарвардского университета установили, в чем заключается первичное молекулярное событие в процессе зрительного восприятия. Они показали, что при поглощении фотона 11-*цис*-ретинол переходит в форму *ол-транс*. Энергия света распрямляет изгиб цепи между 11-м и 12-м атомами углерода. Родопсин очень



ЦИКЛИЧЕСКИЙ 3'—5'-гуанозинмонофосфат (сGMP) в палочках сетчатки служит внутриклеточным медиатором, обеспечивая генерацию нервного импульса. В состав сGMP входят атомы азота (темно-синие), углерода (голубые), кислорода (красные), водорода (белые) и фосфора (желтые). Атом фосфора является частью кольцевой структуры, из-за которой соединение и называется ци-

клическим. Пока это кольцо цело, сGMP поддерживает открытое состояние натриевых каналов в наружной мембране палочки. Когда же оно размыкается (под действием специального фермента), натриевые каналы закрываются, в результате чего электрические свойства мембраны изменяются и возникает нервный импульс.



чувствителен к такому воздействию: поглощение фотона в половине случаев вызывает изомеризацию. Спонтанная же изомеризация молекулы ретиналя в темноте происходит приблизительно раз в 1000 лет. Такое различие имеет важное следствие для зрения. Когда фотон попадает на сетчатку, поглотившая его молекула родопсина «сообщает» об этом с высокой эффективностью, в то время как миллионы других молекул родопсина в клетке остаются «безмолвными».

Десятилетие спустя после работы Уолда и Хаббарда был достигнут определенный прогресс в понимании того, что происходит на последнем этапе каскада возбуждения — на наружной мембране. Плазматическая мембрана избирательно проницаема для электрически заряженных частиц, вследствие чего существует разность электрических потенциалов между внутренней и наружной стороной клетки. В состоянии покоя внутренняя часть клетки несет отрицательный заряд около 40 мВ по отношению к наружной. В 1970 г. в изящных электрофизиологических работах Ц. Томиты из Университета Кейо (Япония), а также У. Хэйгинса и С. Йосиками из Национальных институтов здоровья (США) было показано, что после освещения разность потенциалов на мембране палочки увеличивается. Это увеличение зависит от интенсивности стимула и фонового освещения; максимальная разность потенциалов составляет — 80 мВ.

Увеличение разности потенциалов, называемое гиперполяризацией, происходит вследствие уменьшения проницаемости мембраны для ионов натрия (которые несут положительный заряд). После того как в общих чертах была установлена природа гиперполяризации, мой коллега Д. Бэйлор показал, что поглощение одного фо-

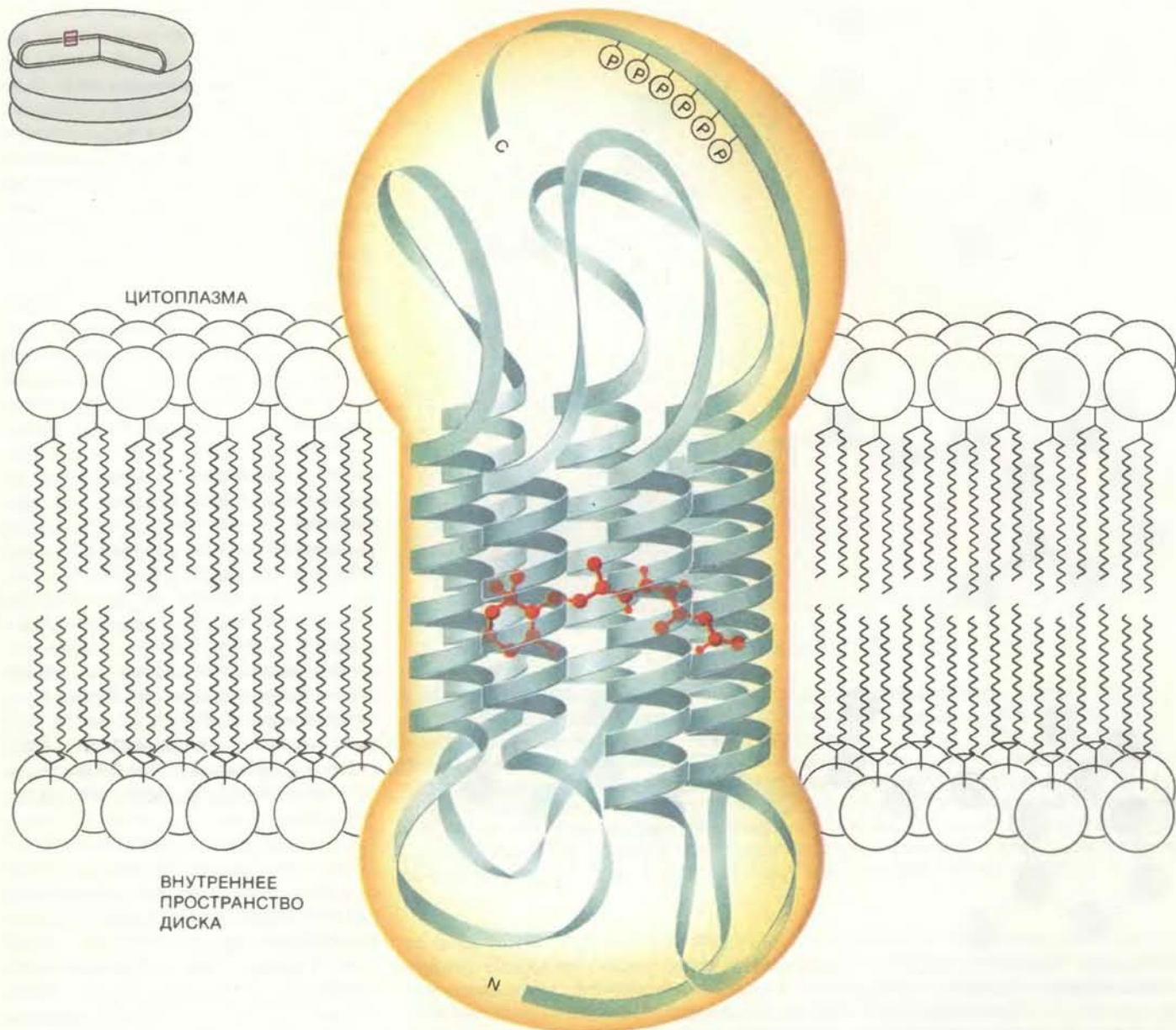
ПАЛОЧКА разделена на две части, выполняющие специализированные функции. Фоторецепторный механизм расположен в наружном сегменте клетки, который заполнен стопкой из примерно 2000 дисков — мембранных образований, происходящих из плазматической мембраны, но не соединенных с ней. Внутренний сегмент содержит органеллы, производящие молекулы, необходимые для восприятия света. Когда свет воздействует на диск, определенные молекулы в нем модифицируются. С помощью цепочки реакций сигнал передается на плазматическую мембрану. По ней он распространяется к синаптическому окончанию, откуда посылается к другим клеткам сетчатки.

тона приводит к тому, что в плазматической мембране палочки закрываются сотни натриевых каналов, блокируя вход миллионов ионов натрия (см. статью: Дж. Шнапф, Д. Бэйлор. Как фоторецепторные клетки реагируют на свет, «В мире науки», 1987, № 6). Возникнув под действием света, гиперполяризация затем распространяется по наружной мембране палочки на другой конец клетки к синаптическому окончанию, где возникает нервный импульс.

Эти фундаментальные исследования позволили создать представление о том, что происходит в начале и конце биохимического каскада, но оставили нерешенным вопрос: а что же происходит посередине? Каким образом изомеризация ретиналя в мембране диска приводит к закрыванию натриевых каналов в наружной клеточной мембране? В палочках плазматическая мембрана не соприкасается с мембраной дисков. Значит, передача сигнала от дисков к наружной мембране должна осуществляться с помощью какого-то посредника. Притом, поскольку один фотон может вызывать закрывание сотен натриевых каналов, каждый акт поглощения фотона должен сопровождаться образованием множества молекул посредника.

Что же является внутриклеточным медиатором возбуждающего сигнала? В 1973 г. Хэйгинс и Йосиками предположили, что в темноте в диске запасаются ионы кальция, а при освещении они высвобождаются и, достигая путем диффузии плазматической мембраны, закрывают натриевые каналы. Эта привлекательная гипотеза вызвала большой интерес и породила множество экспериментов. Однако недавние работы показали, что, хотя ионы кальция и играют большую роль в зрении, они не являются возбуждающим медиатором. Роль медиатора, как выяснилось, играет соединение, называемое 3'5'-циклическим гуанозинмонофосфатом, или сокращенно cGMP.

Способность cGMP функционировать в качестве медиатора тесно связана с его химической структурой. GMP — это нуклеотид того типа, который представлен в РНК. Как и другие нуклеотиды, он состоит из двух компонентов: азотистого основания, в данном случае гуанина, и остатка пятиуглеродного сахара рибозы. (Нуклеотиды, содержащие гуанин, называют в целом гуаниловыми нуклеотидами.) Слово «циклический» означает, что атомы углерода в остатке рибозы, обозначаемые 3' и 5', соединены через фосфатную группу. Связь между этими двумя атомами, называ-



МОЛЕКУЛА РОДОПСИНА, встроенная в мембрану диска, воспринимает свет и инициирует каскад возбуждения. Мембрана диска, как и плазматическая мембрана клетки, из которой она происходит, образована двойным слоем молекул липидов. Родопсин состоит из двух компонентов: низкомолекулярного соединения, называемого 11-*цис*-ретиналом, и белка опсина. Полипептидная цепь опсина

уложена в семь α -спиралей, соединенных короткими неспиральными участками; α -спиральные сегменты пересекают мембрану. 11-*цис*-ретинаяль (*красный*) присоединен к одной из спиралей вблизи середины мембраны. Поглощение кванта света ретиналом приводит к изменению его формы и активации родопсина. Эта модель структуры родопсина предложена Э. Драцем и П. Харгрэйвом.

мая фосфодиэфирной связью, замыкает молекулу в кольцо. Когда это кольцо целое, cGMP способен поддерживать натриевые каналы мембраны в открытом состоянии, а когда фосфодиэфирная связь расщепляется ферментом фосфодиэстеразой, натриевые каналы спонтанно закрываются.

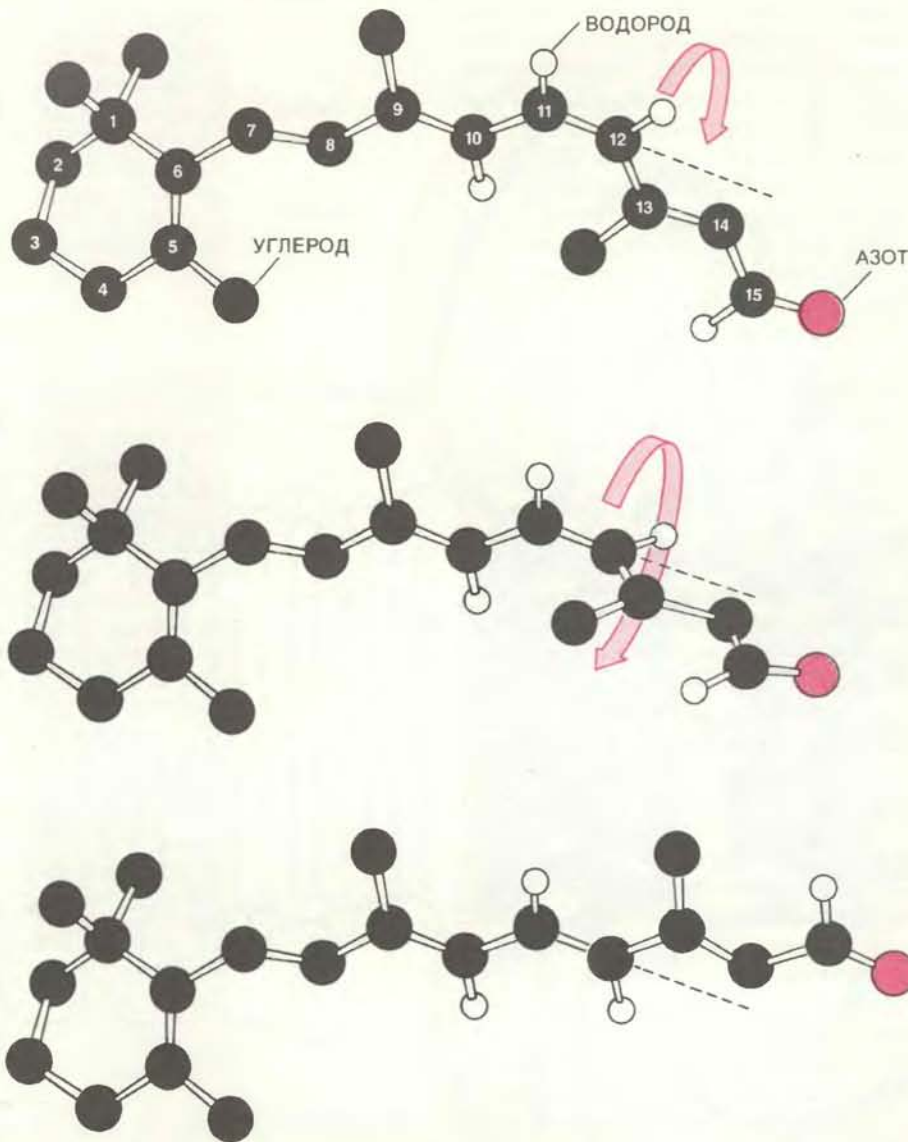
МЕЖДУ возбуждением родопсина и ферментативным расщеплением cGMP есть несколько промежуточных стадий. Когда ретинаяль поглощает фотон и активируется опсин, родопсин в свою очередь активирует фермент, называемый трансдуцином. Трансдуцин, действие которого было

впервые обнаружено в моей лаборатории, является ключевым интермедиатом в каскаде возбуждения. Этот белок активирует специфическую фосфодиэстеразу, которая раскрывает кольцо cGMP, присоединяя к нему молекулу воды (т. е. осуществляя гидролиз). Хотя схему этого пути описать несложно, выяснение и понимание его физиологической роли потребовали множества разнообразных экспериментов.

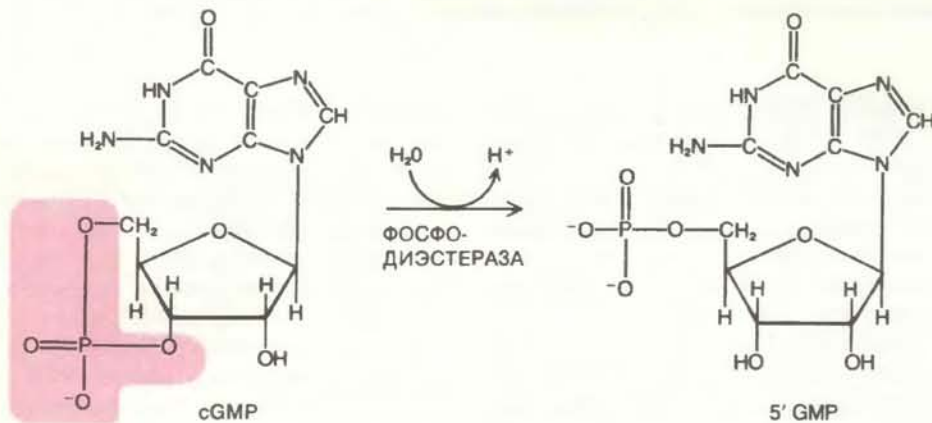
В 1971 г. М. Битенски и У. Миллер из Медицинской школы Йельского университета обнаружили, что на свету значительно уменьшается концентрация cGMP в наружных сегментах

палочек. Последующие эксперименты показали, что это уменьшение — следствие гидролиза cGMP под действием фосфодиэстеразы, специфичной к данному нуклеотиду. В то время кальциевая гипотеза была еще очень популярна, однако уже не вызывало сомнений и то, что cGMP обладает значительным прямым влиянием на возбуждающий ответ. В конце 1970-х годов было сделано два плодотворных наблюдения; именно они пробудили во мне интерес к циклическому гуанозинмонофосфату как кандидату в медиаторы.

На конференции, проходившей летом 1978 г., П. Либман из Пенсиль-



РЕТИНАЛЬ ИЗМЕНЯЕТ ФОРМУ в результате поглощения фотона. В 11-цис-ретиале (вверху) атомы водорода при 11-м и 12-м атомах углерода расположены с одной и той же стороны от углеродного скелета, так что в этом месте имеется изгиб. В форме цис ретиаль существует в темноте. Поглощение фотона вызывает вращение вокруг связи между 11-м и 12-м атомами углерода и образуется изомерная форма — *ол-транс*-ретиаль (внизу) без изгиба.



КОЛЬЦО циклического гуанозинмонофосфата (сGMP), которое образовано фосфатной группой, связанной с 3'- и 5'-углеродными атомами рибозы, размыкается под действием специфичной фосфодиэстеразы. Этот фермент присоединяет к сGMP молекулу воды так, что фосфодиэфирная связь рвется и остается просто 5'-гуанозинмонофосфат (5'-GMP).

ванского университета сообщил, что в суспензии наружных сегментов палочек один фотон может инициировать активацию сотен молекул фосфодиэстеразы в секунду. В более ранних работах в присутствии другого нуклеотида — аденозинтрифосфата (АТФ) наблюдалось гораздо меньшее усиление. По данным Либмана, значительное усиление достигается в присутствии гуанозинтрифосфата (GTP).

Гуанозинтрифосфат имеет такую же структуру, как нециклическая форма GMP, но в GTP с 5'-углеродным атомом связана не одна фосфатная группа, а цепочка из трех фосфатов, соединенных друг с другом фосфодиэфирными связями. Энергия, запасенная в этих связях, используется во многих клеточных функциях. Например, при отщеплении от GTP одной фосфатной группы (при этом образуется гуанозиндифосфат, GDP) выделяется значительное количество энергии. Таким путем клетка получает энергию, позволяющую осуществлять химические реакции, которые иначе энергетически невыгодны. В наблюдениях Либмана важно то, что этот процесс, по-видимому, имеет место при активации фосфодиэстеразы, где GTP служит необходимым кофактором.

Возвращаясь с конференции, на которой Либман сделал свое сообщение, я посетил Йельский университет, где остановился у Миллера. В беседе он показал мне интригующие экспериментальные записи. Миллеру и его сотруднику Г. Николу удалось инъецировать сGMP в наружный сегмент интактной палочки, и результаты этого оказались поистине впечатляющими. Как только циклический гуанозинмонофосфат попадал внутрь клетки, быстро уменьшалась разность потенциалов на плазматической мембране и резко увеличивалась задержка между подачей светового стимула и гиперполяризацией мембраны. Проще всего эти факты объяснить тем, что сGMP открывает натриевые каналы и они остаются открытыми до тех пор, пока сGMP не распадется под действием активированной светом фосфодиэстеразы.

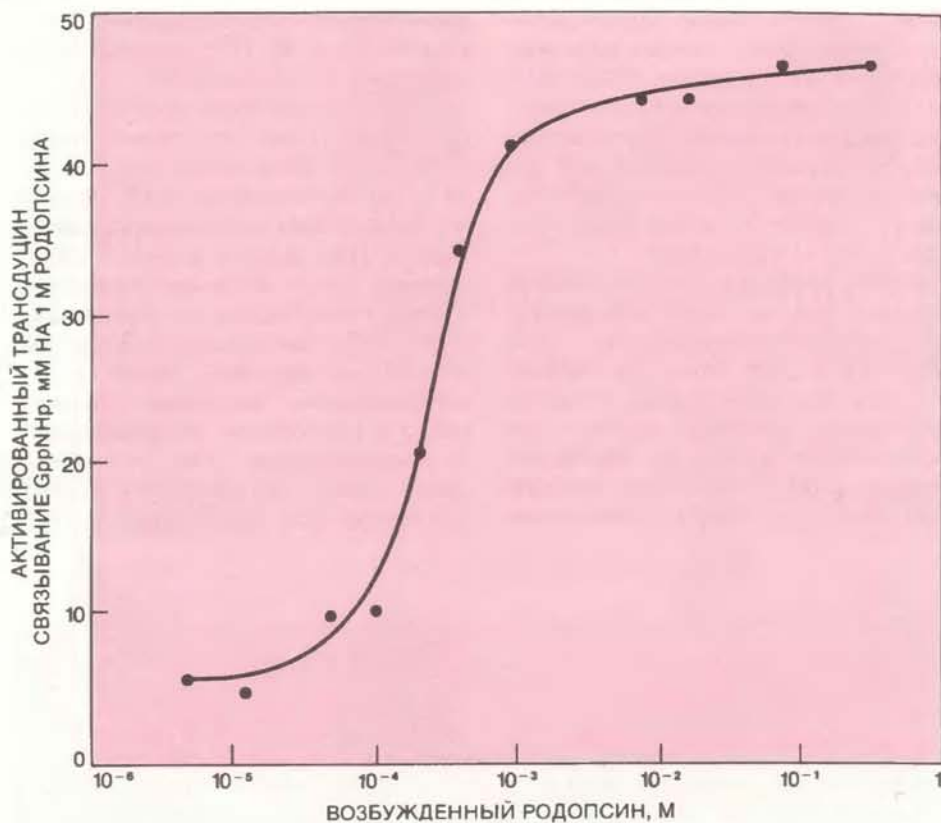
Эта гипотеза казалась весьма привлекательной, но прямых ее доказательств не было. По возвращении в свою лабораторию я обсудил новые данные с Б. Фангом, работавшим у нас после получения докторской степени. Он разделял мой энтузиазм в отношении циклического гуанозинмонофосфата как медиатора и мы решили исследовать молекулярный механизм активации фосфодиэстеразы, расщепляющей сGMP. В наших рас-

суждениях существенное значение имел тот факт, что для ее активации, как это обнаружил Либман, необходим GTP. Это позволяло предполагать, что важным интермедиатом активации может быть какой-то белок, связывающий GTP. Следовало тщательно рассмотреть, что же происходит с GTP в палочках. Целью нашего первого эксперимента было обнаружить связывание GTP и его производных в наружных сегментах палочек. Меченный радиоактивным изотопом GTP инкубировали с фрагментами наружных сегментов палочек. После нескольких часов препарат промывали на фильтре, задерживающем фрагменты мембран и крупные молекулы, такие, как белки, и пропускающем мелкие молекулы, в том числе GTP и родственные ему соединения. Оказалось, что значительная часть радиоактивности остается связанной с мембранной фракцией. В дальнейшем выяснилось, однако, что в мембране остается не GTP, а GDP.

Эти данные убедительно свидетельствовали, что в мембранах палочек содержится белок, способный связывать GTP и отщеплять от него одну фосфатную группу с образованием GDP. Казалось все более вероятным, что такой белок — ключевой интермедиат и что превращение GTP в GDP может приводить в действие процесс активации. Когда шла эта работа, У. Годшо-III и У. Циммерман из Амхерстского колледжа сообщили об открытии именно такого белка в мембранах палочек. Правда, было неясно, как их данные сочетаются с другими уже найденными кусочками общей мозаики.

ОДНИМ ИЗ поразительных фактов было то, что мембраны палочек не только связывают гуаниловые нуклеотиды, но при освещении из них высвобождается GDP, причем этот процесс значительно усиливается в присутствии GTP в окружающем растворе. Начала вырисовываться гипотеза, организующая этот, казалось бы, беспорядочный набор сведений. По-видимому, какой-то этап процесса активации включает в себя обмен GTP на GDP в мембране. Поэтому высвобождение GDP так сильно и увеличивается при добавлении GTP: GDP должен замещаться GTP. В дальнейшем GTP, возможно, превращается в GDP.

Складывалось впечатление, что обмен GTP на GDP имеет отношение к центральному событию процесса активации. Прежде всего, этот обмен происходит с большим усилием. Мы исследовали действие света на поглощение GTP мембранами палочек и об-



АКТИВАЦИЯ ТРАНСДУЦИНА сопровождается связыванием гуанозинтрифосфата (GTP). По горизонтальной оси отложена возрастающая концентрация родопсина, возбужденного под действием света. По вертикальной оси — связывание аналога GTP, обозначаемого GppNHp, фрагментами искусственной мембраны, содержащей только родопсин и трансдуцин. Наклон кривой показывает, что в этой системе каждая молекула родопсина активирует 71 молекулу трансдуцина. (В интактных палочках каждая молекула родопсина активирует 500 молекул трансдуцина). Активированный трансдуцин в свою очередь активирует фосфодиэстеразу, которая расщепляет cGMP.

наружили, что фотовозбуждение одной молекулы родопсина приводит к связыванию около 500 молекул аналога GTP (в этих опытах использовался не сам GTP, а его аналог, так как он не гидролизует, что позволяет исключить стадию обмена нуклеотидов). Открытие этого усиления стало важным шагом на пути к объяснению усиления, присущего каскаду возбуждения в целом.

Этот фундаментальный результат привел нас к предположению, что в каскаде возбуждения участвует белковый интермедиат, существующий в двух состояниях. В одном состоянии он связывает GDP, в другом — GTP. Обмен GDP на GTP, служащий сигналом к активации белка, инициируется родопсином и в свою очередь активирует специфическую фосфодиэстеразу. Фосфодиэстераза расщепляет циклический GMP, вследствие чего закрываются натриевые каналы в плазматической мембране. Опираясь на работу Г. Кюна из Института нейробиологии Юлихского университета (ФРГ), мы вскоре выделили предполагаемый белок. Он получил название трансдуцин, так как опосредует

трансдукцию — преобразование света в электрический сигнал. Впоследствии было установлено, что трансдуцин состоит из трех белковых субъединиц; их обозначают α , β и γ .

Располагая очищенным трансдуцином, мы могли проверить свою гипотезу о потоке информации в каскаде возбуждения. По нашему предположению, сигнал передается от активированного родопсина к трансдуцину и от его GTP-формы к фосфодиэстеразе. Если такая картина верна, следует ожидать, во-первых, что трансдуцин может переходить в GTP-форму в отсутствие фосфодиэстеразы, и, во-вторых, что фосфодиэстераза способна активироваться без возбужденного светом родопсина.

Мы с коллегами решили проверить оба эти предположения. Для проверки первого мы использовали синтетическую мембранную систему, не содержащую фосфодиэстеразы. На искусственную мембрану наносили очищенный трансдуцин в GDP-форме, а затем добавляли активированный родопсин. В этих опытах было установлено, что каждая молекула родопсина катализирует захват мембраной 71

молекулы аналога GTP. Значит, активируя трансдуцин, каждая молекула родопсина катализирует обмен GDP на GTP во множестве молекул трансдуцина. Таким образом, впервые удалось обнаружить усилительный эффект родопсина, для проявления которого требуется всего лишь еще один белок — трансдуцин.

Чтобы проверить второе предположение, мы выделили очищенную активную форму трансдуцина — комплекс его с GTP. Здесь нас ожидал сюрприз. Мы знали, что в неактивной GDP-форме молекула трансдуцина цельна — все три ее субъединицы находятся вместе. Оказалось, что при переходе в GTP-форму трансдуцин

диссоциирует: α -субъединица отделяется от β и γ . И GTP связывается со свободной α -субъединицей.

Теперь можно было поставить вопрос более точно, чем прежде: выяснить, какая субъединица трансдуцина — α (с присоединенным GTP) или β - γ стимулирует действие фосфодиэстеразы. Нам удалось получить однозначный ответ. Фосфодиэстеразу активирует α -субъединица (в комплексе с GTP); остающиеся вместе β и γ не влияют на фермент. Более того, α -субъединица вызвала активацию и без родопсина; это оправдывало предположение о том, что трансдуцин может активировать фосфодиэстеразу без родопсина, и под-

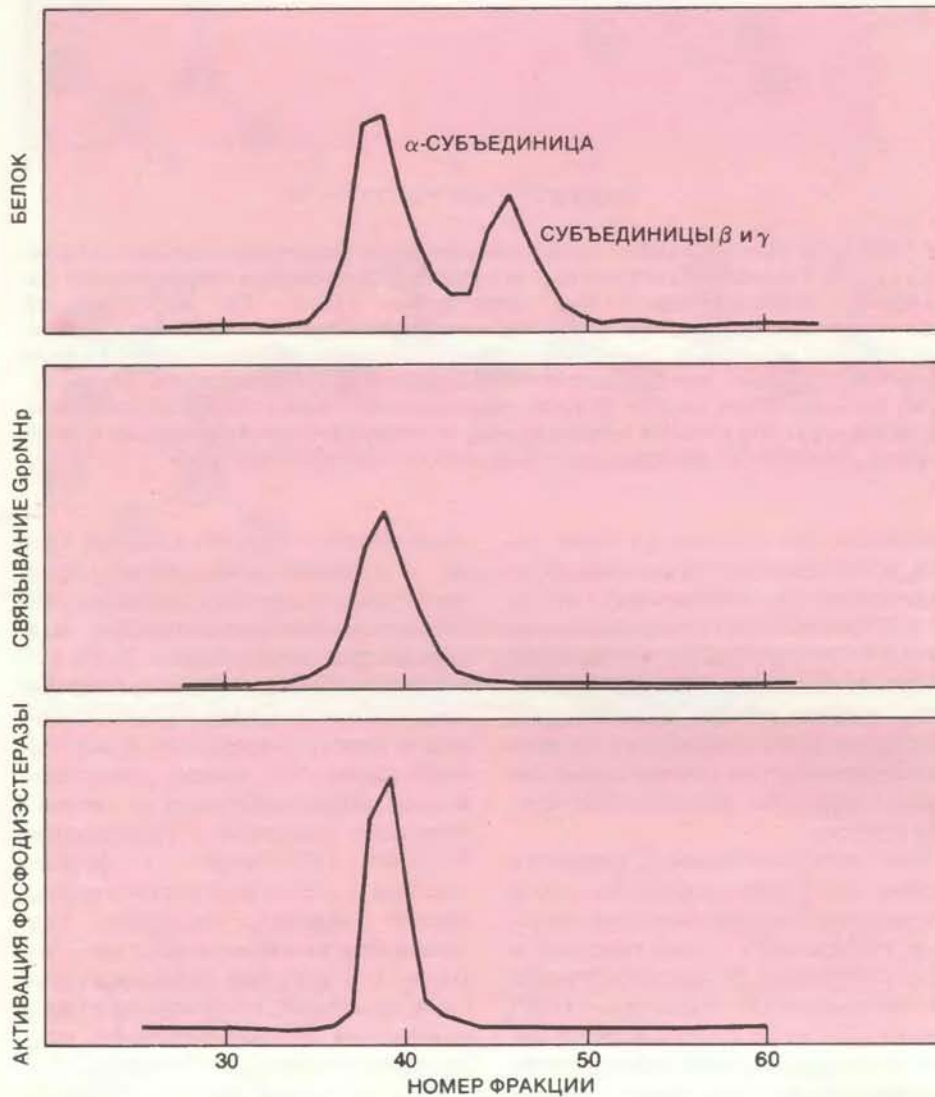
тверждало нашу общую картину потока информации при зрительном возбуждении.

КАКОВ механизм активации специфической фосфодиэстеразы трансдуцином? Группа Битенски обнаружила, что в темноте фосфодиэстераза мало активна, так как является объектом тормозного влияния. Добавление небольшого количества трипсина (фермента, расщепляющего белки) снимает тормозное влияние и фосфодиэстераза активируется. Было известно, что молекула фосфодиэстеразы состоит из трех полипептидных цепей; как и у трансдуцина, они обозначаются α , β и γ . Дж. Харлей, работавший в моей лаборатории после получения докторской степени, обнаружил, что трипсин разрушает γ -субъединицу, но не α и β . Вместе взятые, результаты Битенски и Харлея позволяют считать, что ингибитором фосфодиэстеразы является γ -субъединица.

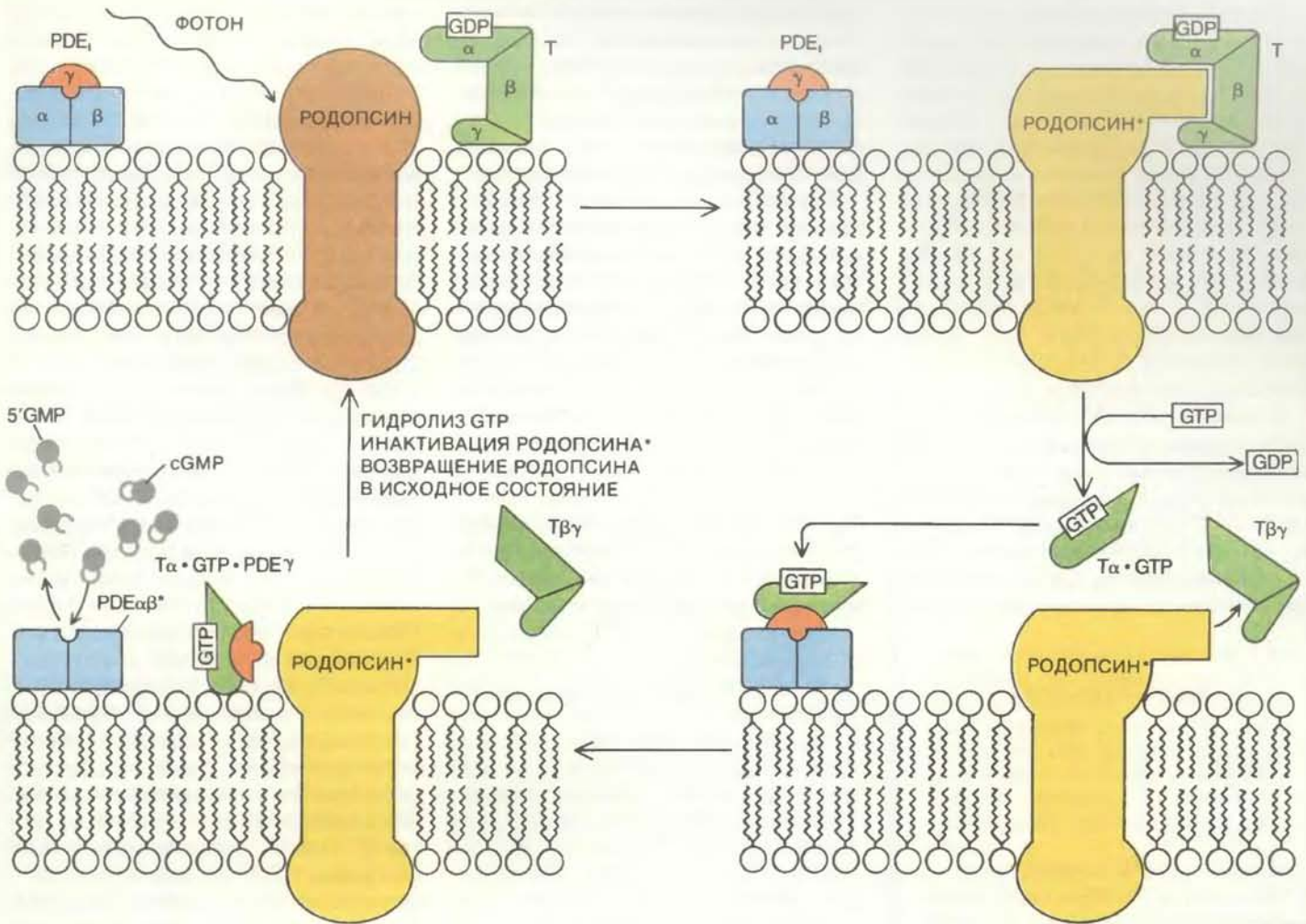
Эту точку зрения подтверждают результаты, полученные в моей и других лабораториях. Мои сотрудники и я выделили γ -субъединицу в чистом виде, добавили ее к активному комплексу α - β и обнаружили, что γ -субъединица подавляет каталитическую активность более чем на 99%. Кроме того, скорость разрушения γ -субъединицы трипсином хорошо соответствует скорости активации фосфодиэстеразы в каскаде возбуждения. Наконец, М. Шабр с коллегами из Центра ядерных исследований в Гренобле показали, что трансдуцин в GTP-форме может связываться с γ -субъединицей фосфодиэстеразы, образуя комплекс.

Все эти данные складываются в следующую картину. После воздействия света α -субъединица трансдуцина с присоединенным GTP связывается с фосфодиэстеразой и ингибирующая ее γ -субъединица отделяется. В результате проявляется каталитическая активность фосфодиэстеразы. Эта активность велика: каждая активированная молекула фермента может осуществить гидролиз 4200 молекул циклического гуанозинмонофосфата за 1 секунду.

Итак, стала ясной большая часть каскада возбуждения. Начальный шаг — это активация трансдуцина родопсином, возбужденным в результате поглощения кванта света. Родопсин вызывает освобождение из трансдуцина GDP. Освободившееся место занимает GTP, α -субъединица отделяется от остальной части белка, оставляя на себе GTP. Этот процесс длится всего лишь около миллисекунды, что было показано Шабром и



α -СУБЪЕДИНИЦА ТРАНСДУЦИНА служит переносчиком информации при активации фосфодиэстеразы. Молекула трансдуцина состоит из трех субъединиц, обозначаемых α , β и γ . Здесь показаны результаты гель-фильтрации трансдуцина. Раствор белка пропустили через колонку, заполненную гелем, собрали равные порции (фракции) вытекающей жидкости и определяли в каждой фракции содержание белка (вверху), связывание аналога GTP GppNHp (в середине) и способность активировать фосфодиэстеразу (внизу). Видно, что трансдуцин в растворе существует в виде двух компонентов различного размера: более мелкий компонент — это α -субъединица, крупный — объединенные β и γ . Связывание GppNHp и активация фосфодиэстеразы сопутствуют α -субъединице.



КАСКАД ВОЗБУЖДЕНИЯ начинается с поглощения фотона родопсином (вверху слева). Активированный родопсин (родопсин*) взаимодействует (вверху справа) с трансдуцином (Т), что приводит к обмену GDP на GTP, происходящему на α -субъединице трансдуцина. В результате α -субъединица отделяется от остальной (β - γ) части фермента (внизу справа). Трансдуцин снимает торможение с неактивной фосфодиэстеразы (PDE_{β}), по-видимому, удаляя ее

γ -субъединицу. Активированная фосфодиэстераза расщепляет множество молекул cGMP (внизу слева). Через некоторое время «встроенный таймер» α -субъединицы трансдуцина расщепляет GTP с образованием GDP и α -субъединицы. α -субъединица воссоединяется с частицей β - γ . Фосфодиэстераза также восстанавливается. В то же время родопсин инактивируется и затем переходит в форму, готовую к активации.

Т. МинВуонгом — студентом-старшекурсником, сотрудничавшим в моей лаборатории во время годичного отпуска для исследовательской работы. В результате действия одной молекулы родопсина образуется несколько сотен активных комплексов α -субъединицы трансдуцина GTP, что является первой ступенью усиления.

Затем α -субъединица трансдуцина, несущая GTP, активирует фосфодиэстеразу. На этой стадии усиления нет; каждая молекула α -субъединицы трансдуцина связывает и соответственно активирует одну молекулу фосфодиэстеразы. Следующую стадию усиления обеспечивает пара трансдуцинов—фосфодиэстераза, действующая как одно целое. α -Субъединица трансдуцина остается связанной с фосфодиэстеразой до тех пор, пока та не расщепит 3'-5'-связь в циклическом гуанозинмонофосфате. Как я уже отмечал, каждая активированная молекула фермента может осуществить

превращение нескольких тысяч молекул GMP. Это усиление и усиление, обеспечиваемое родопсином, лежат в основе замечательного по своей эффективности преобразования, благодаря которому один-единственный фотон вызывает вполне ощутимый нервный импульс.

ОДНАКО организм способен воспринимать свет многократно, значит, этот цикл должен и выключаться. Трансдуцин играет ключевую роль не только в активации, но и в деактивации. Его α -субъединица имеет, так сказать, встроенный таймер, который прерывает активированное состояние, превращая связанный GTP в GDP. Механизм действия этого таймера не совсем ясен. Известно, что гидролиз GTP с образованием GDP в фазе деактивации играет важную роль в осуществлении всего цикла. Реакции, ведущие к активации, энергетически выгодны. Напротив, некото-

рые реакции деактивации невыгодны; без превращения GTP в GDP система не может быть приведена в исходное состояние для новой активации.

Когда GTP расщепляется и образуется GDP, α -субъединица трансдуцина освобождает ингибирующую γ -субъединицу фосфодиэстеразы. Потом γ -субъединица опять связывается с фосфодиэстеразой, возвращая ее в состояние покоя. Трансдуцин восстанавливает свою доактивационную форму благодаря воссоединению субъединиц α и β - γ . Родопсин деактивируется с помощью фермента—киназы, распознающей его специфическую структуру. Этот фермент присоединяет фосфатные группы к нескольким аминокислотам на одном конце полипептидной цепи опсина. Как показал Кюн, родопсин затем образует комплекс с белком, называемым арестином, который блокирует связывание трансдуцина и возвращает систему назад в темновое состояние.

Исследования зрительного каскада в конце 1970-х и в начале 1980-х опирались в значительной мере на предположение о том, что циклический гуанозинмонофосфат открывает натриевые каналы в наружной мембране палочки и что его гидролиз приводит к их закрыванию. Однако о механизмах этих процессов было мало что известно. Действует ли cGMP на каналы прямо или же через какие-то промежуточные стадии? Определенный ответ был получен в 1985 г. Е.Е. Фесенко с коллегами из Института биологической физики в Москве.

В опытах этих исследователей использовалась микропипетка, в которую затягивался маленький участок плазматической мембраны палочки. Он плотно прилипал к кончику пипетки и та сторона, которая в норме была обращена внутрь клетки, оказывалась наружной. Эту сторону мембра-

ны омывали различными растворами и определяли их влияние на натриевую проводимость. Результаты были получены совершенно однозначные: каналы открываются непосредственно cGMP; другие вещества, включая ионы кальция, на них не влияют.

Блестящие эксперименты Фесенко нанесли последний удар по представлениям об ионах кальция как о медиаторе возбуждения и установили последнее звено в каскаде возбуждения. Окончательно обрисовался общий контур цепи возбуждения. Как мы и предполагали, поток информации направлен от родопсина к трансдуцину, затем к фосфодиэстеразе и, наконец, к cGMP.

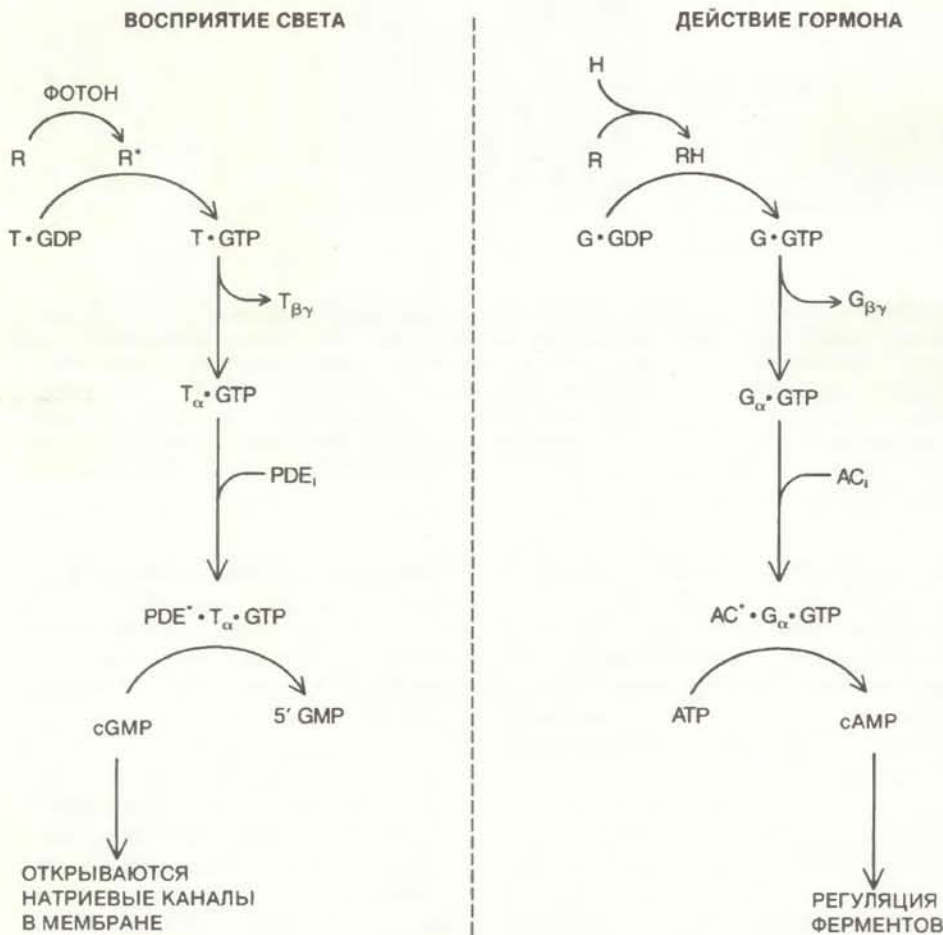
ХОТЯ выяснение путей и механизмов каскада возбуждения принесло глубокое удовлетворение, ряд важных вопросов все еще остается без

ответа. В частности, неясно, каким образом регулируется усилительный ответ каскада. Как говорилось выше, палочки значительно менее чувствительны на ярком свете, чем в темноте. Фоновое освещение должно как-то влиять на общий результат действия системы, т. е. на суммарное усиление, создаваемое на двух стадиях — при передаче сигнала от родопсина к трансдуцину и от фосфодиэстеразы к cGMP. Многое свидетельствует об участии ионов кальция в этом процессе, однако детали пока неизвестны.

Важно было также установить структуру натриевых каналов и механизмы, предотвращающие истощение циклического гуанозинмонофосфата в клетке. Большой вклад в изучение первой проблемы внесли группы Б. Кауппа из института нейробиологии при Оснабрюкском университете (ФРГ) и Либмана: они выделили управляемые cGMP каналы и реконструировали их функцию на модельных мембранах. Во второй проблеме ключевой элемент — это, вероятно, гуанилатциклаза — фермент, синтезирующий cGMP. Ясно, что должна существовать петля обратной связи, обеспечивающая после ответа на световой стимул восстановление концентрации cGMP до исходного уровня; не будь этого, клетка имела бы возможность сработать лишь несколько раз и тем надолго исчерпала бы способность к ответу. Природа такой петли, однако, остается неизвестной.

Результаты нынешних исследований, прояснившие вопросы, касающиеся зрительного каскада в палочках, имеют отношение и к иным типам клеток. Как показано Бэйлором, а также Кинг-Вай Яу из Университета Джона Гопкинса, система преобразования светового сигнала в других фоторецепторных клетках — колбочках — сходна с таковой палочек. Давно известно, что в колбочках содержатся три аналогичных родопсину зрительных пигмента, отвечающих на свет определенной длины волны — красный, зеленый либо синий. В состав всех трех пигментов входит 11-цис-ретиналь. Недавно Д. Натанс и Д. Хогнесс, применив методы молекулярной генетики, установили, что структура у этих колбочковых пигментов в принципе такая же, как у родопсина. Трансдуцин, фосфодиэстераза и каналы, контролируемые cGMP, в колбочках и в палочках очень похожи. Вероятно, не за горами то время, когда цикл преобразования и передачи сигнала в колбочках будет разработан столь же детально, как и для палочек.

Значение каскада с участием цикли-



МЕХАНИЗМ возникновения возбуждения при восприятии света (слева) и механизм действия гормонов (справа) поразительно подобны. Связывание гормона (H) с его рецептором (R), в результате чего образуется активный комплекс гормон-рецептор, аналогично возбуждению родопсина фотоном. Родопсин активирует трансдуцин, а комплекс гормон-рецептор активирует G-белок. Как и активация трансдуцина, активация G-белка включает связывание GTP α-субъединицей. G-белок активирует аденилатциклазу (AC), которую можно считать аналогом фосфодиэстеразы. Аденилатциклаза катализирует превращение аденозинтрифосфата (ATP) в циклический аденозинмонофосфат (cAMP), который участвует в регуляции многих ферментов. Фосфодиэстераза (PDE) расщепляет cGMP, вследствие чего открываются натриевые каналы в плазматической мембране фоторецепторной клетки и возникает нервный импульс.

ческого гуанозинмонофосфата не ограничивается зрением. Каскад возбуждения в палочках имеет заметное сходство с механизмом действия некоторых гормонов. Например, действие адреналина начинается с того, что он активирует фермент, называемый аденилатциклазой. Аденилатциклаза катализирует образование циклического аденозинмонофосфата (сАМФ), который служит внутриклеточным посредником для многих гормонов (см. статью: М. Берридж. Молекулярные основы внутриклеточной коммуникации, «В мире науки», 1985, № 12). А. Гилман из Научно-исследовательского медицинского центра Техасского университета, изучая регуляцию аденилатциклазы, обнаружил поразительный параллелизм с функционированием каскада возбуждения в палочках. Подобно тому как каскад возбуждения начинается с поглощения фотона родопсином, гормональный каскад начинается со связывания гормона специфическим рецептором, расположенным на поверхности клетки. Комплекс рецептор-гормон взаимодействует с так называемым G-белком, напоминающим трансдуцин. Такой же обмен связанных молекул, какой активирует трансдуцин (GTP на GDP), активирует и G-белок, когда он взаимодействует с комплексом рецептор-гормон. G-белок, как и трансдуцин, состоит из трех субъединиц. Аденилатциклаза активируется его α -субъединицей, снимающей тормозное влияние. Стимулирующее действие G-белка тоже прекращается благодаря встроенному таймеру, превращающему GTP в GDP.

СХОДСТВО трансдуцина и G-белков (идентифицировано несколько белков этого типа) касается не только активности, но и структуры. Трансдуцин и G-белки принадлежат к одному семейству — семейству белков, передающих те или иные сигналы. Все идентифицированные к настоящему времени представители этой группы имеют практически одинаковую β -субъединицу. Кроме того, α -субъединица выполняет одну и ту же функцию, что показано сейчас на молекулярном уровне. Недавно в нескольких лабораториях установили нуклеотидные последовательности ДНК, кодирующих α -субъединицы трансдуцина и трех G-белков. Судя по ДНК, аминокислотные последовательности этих четырех полипептидных цепей примерно на половине своей длины идентичны или почти идентичны.

При сравнительном анализе генетической информации обнаружилось, что в составе α -субъединиц трансду-

цина и G-белков имеются как участки, оставшиеся неизменными в ходе эволюции, так и сильно дивергировавшие области. В каждом белке имеются три места связывания: одно для гуаниловых нуклеотидов, одно для активированного рецептора (родопсина или комплекса гормон—рецептор) и одно для эффекторного белка (фосфодиэстеразы или аденилатциклазы). Места связывания GTP и GDP, как и следовало ожидать, исходя из их решающей роли в каскаде возбуждения, оказались наиболее консервативными.

Кроме того, оказалось, что GTP-связывающие участки этих белков напоминают одну область функционально совершенно иного белка, а именно так называемого фактора элонгации Tu. Этот белок играет важную роль в синтезе белков: он образует комплекс с GTP и с молекулами аминоацил-tРНК, а затем связывается с рибосомой, т. е. обеспечивает доставку аминокислот к месту удлинения синтезируемой полипептидной цепи. Цикл событий, происходящих с белком Tu в процессе его функционирования подобен трансдуциновому циклу. Цикл начинается расщеплением GTP. На молекуле Tu есть место связывания GTP, причем по аминокислотной последовательности оно очень сходно с участками связывания гуаниловых нуклеотидов в трансдуцине и различных G-белках.

Синтез белков — один из основных аспектов метаболизма клетки, и можно думать, что фактор элонгации Tu, участвующий в этом фундаментальном процессе, в ходе эволюции возник раньше, чем G-белки или родственные им трансдуцин. Собственно, Tu мог бы быть предком и трансдуцина, и G-белков. Контролируемое высвобождение и связывание белков, сопряженное с обменом GTP на GDP, несомненно, сформировалось на ранних этапах эволюции; фактор элонгации Tu, возможно, представляет один из первых вариантов такого цикла.

Одна из удивительных особенностей эволюции заключается в том, что механизм, возникший применительно к определенной функции, может в дальнейшем изменяться и использоваться для совершенно иных функций. Именно это, я думаю, и произошло с механизмом действия Tu. Сформировавшись в ходе эволюции для осуществления синтеза белка, он сохранялся на протяжении миллиардов лет и в конце концов вошел в систему передачи гормональных и сенсорных стимулов. В последние несколько лет одна из его функций — трансдуциновый цикл — выяснена до мельчайших деталей. Результаты

этих исследований вызывают глубокое удовлетворение. Впервые удалось на молекулярном уровне понять один из наиболее прецизионных сенсорных механизмов — механизм зрительного возбуждения.

Издательство МИР предлагает:

Ф. Айала, Дж. Кайгер СОВРЕМЕННАЯ ГЕНЕТИКА

В 3-х томах
Перевод с английского

Учебное пособие по генетике, написанное на уровне современных требований. Вышедшее в США вторым дополнительным изданием, оно удачно сочетает современные аспекты молекулярной генетики с генетикой популяций и эволюционным учением.

Содержание I тома. Организация генетического материала: понятия и методы классической генетики; хромосомные основы наследственности; организация ДНК в хромосомах; картирование хромосом; структура гена; организация генома вирусов; структура генома бактерий; методы изучения ДНК. **Содержание II тома.** Функция гена: генетический код; регуляция генной активности у про- и эукариот; генетика развития; культуры клеток и их использование в генетике; картирование генома человека; основы генетики количественных признаков. **Содержание III тома.** Эволюция генома; типы генных мутаций и скорость их возникновения; хромосомные мутации и их классификация; генетическая структура популяций; естественный отбор; инбридинг и географическая дифференциация популяций; вопросы видообразования и эволюции.

Книга предназначена для генетиков, молекулярных биологов, эволюционистов, для студентов биологических и медицинских вузов.

1988, 58 л. Цена 6 р. 10 к.
за комплект



Кольца Урана

Почему кольца Урана такие узкие и темные?

Данные, полученные при пролете космического аппарата «Вояджер-2» этой планеты, позволяют предположить, что наблюдаемая система колец может быть всего лишь мимолетным эпизодом в бесконечных процессах созидания и разрушения

ДЖЕФФРИ Н. КУЗИ, ЛАРРИ У. ЭСПОЗИТО

В 1977 г. неожиданный экспериментальный результат привел к удивительному, но неизбежному заключению: планета Уран окружена семейством узких темных колец, не похожих на те, что наблюдали когда-либо раньше. Дальнейшее накопление информации об этих кольцах поставило ряд фундаментальных вопросов. Почему кольца Урана так отличаются от широких, ярких колец Сатурна? Почему некоторые из них некруговые? Почему ширина некоторых изменяется, края резкие, а между кольцами находится обширное пустое пространство?

Сближение «Вояджера-2» с Ураном в январе 1986 г. предназначалось для проверки динамических моделей структуры колец с помощью точного определения положения известных колец, поиска новых колец и наблюдения размеров и детального распределения частиц внутри отдельных колец. По-видимому, наиболее важно то, что в задачу космического аппарата входил поиск малых спутников, облетающих между кольцами, которые, как предполагается, определяют движение частиц кольца, удерживая их с помощью гравитационных сил на орбите.

Камеры «Вояджера-2» обнаружили одно новое узкое кольцо и около 100 почти прозрачных поясов, которые невидимы с Земли. Наблюдалось также несколько незамкнутых (дуговых) колец. Частицы известных колец оказались крупнее, чем ожидалось: их размеры могут быть между размерами снежка и автомобиля (от 10 см до нескольких метров). Частицы вновь обнаруженных узких колец, напротив, намного меньше (около 0,02 мм), и их положение не имеет очевидной связи с ранее известными кольцами. Открыты десять небольших спутников, находящихся внутри орбиты Миранды, ближайшего к Урану из пяти его главных спутников (см. статью: Т. Джонсон, Р. Браун, Л. Содерблом. Луны Урана, «В мире науки», 1987,

№ 6). Два из новых спутников, вероятно, определяют положение частиц в самом внешнем кольце, но поблизости от других колец не было обнаружено ни одного спутника ожидаемых размеров. Основные кольца и новые спутники черны как уголь.

Данные, переданные с «Вояджера-2» через космическое пространство на расстояние около $5,5 \cdot 10^9$ км, подтвердили многие аспекты динамических моделей колец Урана. В то же время полученные результаты обнажили некоторые трудности этих моделей. Полученная информация открыла новые перспективы для развития теории колец Урана, а также очень сходных систем колец Сатурна, Юпитера и Нептуна.

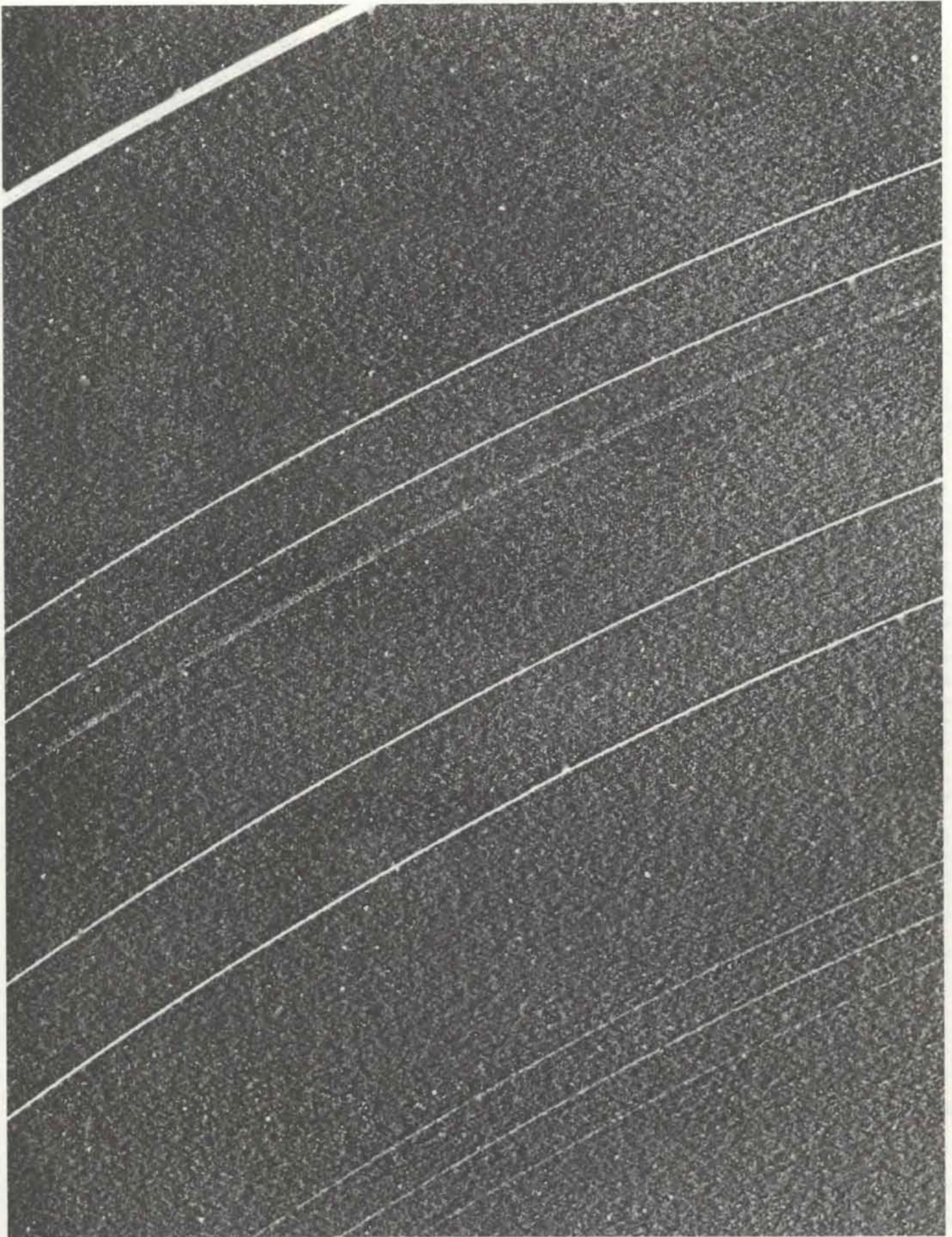
КОЛЬЦА Урана были открыты во время покрытия звезды, когда измерялась ее яркость при прохождении планеты между звездой и Землей. Основное достоинство этого метода, созданного для исследования атмосфер планет, — высокое разрешение, определяемое малыми видимыми размерами звезд. Во время покрытия звезды с Земли можно различить детали размером от 1 до 5 км (для сравнения: самые лучшие телескопические изображения внешних планет имеют относительно низкое разрешение — тысячи или десятки тысяч километров).

10 марта 1977 г. несколько групп исследователей наблюдали покрытие Ураном звезды SAO 158687. Для проверки своих приборов они начали наблюдения задолго до предполагаемого покрытия и продолжали их как можно дольше после него. С удивлением ученые обнаружили, что свет от звезды несколько раз в течение коротких интервалов времени резко ослаблялся как до, так и после прохождения Урана перед звездой. Сначала кратковременные затмения отнесли к поясу астероидов у планеты. Идея колец первоначально была отвергнута, так как затмения были столь кратковре-

менными, что любое кольцо должно было бы быть намного уже колец Сатурна. Тем не менее, когда через несколько дней данные независимых наблюдателей сравнили, стало ясно, что каждое затмение с одной стороны Урана соответствовало затмению с другой его стороны. Из этих наблюдений можно было сделать единственный вывод: планета окружена семейством узких колец.

В течение последующих нескольких лет в результате наблюдений более чем 200 покрытий звезд Ураном было обнаружено девять узких колец, причем все они расположены в пределах одного радиуса планеты от верхних слоев атмосферы Урана. Из-за различных систем обозначений первооткрывателей кольца получили названия (в порядке возрастания расстояния от Урана): 6, 5, 4, альфа, бета, эта, гамма, дельта и эпсилон. Большинство последних наблюдений было выполнено Дж. Эллиотом и Р. Френчем из Массачусетского технологического института и независимо Ф. Никольсоном из Корнеллского университета и их сотрудниками. Эти работы позволили установить свойства орбит колец с необычайно высокой точностью. Даже самые слабые возмущения самого Урана, вызываемые его главными спутниками, можно обнаружить с помощью этих данных.

Не все кольца имеют круговую форму и не все лежат в плоскости экватора Урана. Ширина колец составляет от менее 2 км почти до 100 км. Для сравнения: широкие основные кольца Сатурна заполняют пространство шириной около 60 тыс. км. Кольцо эпсилон Урана, самое удаленное и самое большое, имеет ширину от 20 до 96 км. Вариации ширины носят случайный характер: ширина кольца возрастает пропорционально удалению от Урана. Другими словами, в точке, ближайшей к Урану, кольцо эпсилон наиболее узко и почти непрозрачно. В самой дальней точке оно в пять раз



ИЗОБРАЖЕНИЕ КОЛЕЦ УРАНА, полученное «Вояджером-2» с расстояния около миллиона километров во время сближения космического аппарата с планетой. Шнуровидные кольца, в которых частицы упакованы наиболее плотно, имеют ширину всего несколько километров. Они разде-

лены сотнями километров пустого пространства. Новое кольцо, обозначенное 1986U1R, едва заметно между самым отдаленным кольцом (эпсилон) и следующим ярким кольцом (дельта). Кольца отражают всего 1% падающего света.

шире и в пять раз прозрачнее. Сходное поведение обнаруживают кольца альфа и бета в той части орбит, где они сближаются. Положение больших полуосей орбит от кольца к кольцу изменяется случайным образом.

Следующие три наиболее заметных кольца (эта, гамма и дельта) очень узки, шириной всего несколько километров, а кольца эта и дельта имеют, кроме того, более широкие и прозрачные компоненты. Эти кольца в среднем круговые, однако для каждого из них обнаруживаются, по-видимому, случайные вариации радиуса и ширины, которые даже больше средней ширины самого кольца.

Очевидная случайная «болтанка» радиуса и ширины колец эта, гамма и дельта подобна поведению некоторых узких колец системы Сатурна. Кольца Сатурна *F* и две кольцевые дуги в большой «щели», называемой Делением Энке, простираются в ширину всего на несколько километров и обнаруживают весьма нерегулярные изгибы и шатания, а также большую долю частиц микроскопической пыли. Эти свойства были объяснены происходящими сильными столкновениями частиц, вызываемыми гравитационным воздействием близко расположенных спутников.

Зная ширину колец Урана и то, как мало света они отражают, исследователи даже до пролета «Вояджера-2» определили, что частицы в кольцах очень темны. Оказалось, что плоская поверхность из материала колец дол-

жна отражать менее 5% падающего солнечного света. Пять главных спутников Урана, напротив, имеют отражательную способность около 30%. Для сравнения: отражательная способность поверхностей Луны и Марса* — примерно 10%.

ПРОЛЕТ «Вояджера-2» позволил впервые получить изображение колец Урана с близкого расстояния, изображение, которое теперь дает возможность сравнить кольца Урана с кольцами других планет-гигантов (Юпитера и Сатурна), вблизи которых побывал космический аппарат. Поскольку «Вояджер-2» прошел даже ближе к Урану — планете почти без видимых особенностей, покрытой газовой оболочкой, в 17 раз массивнее Земли, — «внимание» аппарата делилось между атмосферой Урана, кольцами и спутниками. Хотя было известно, что девять основных колец слишком узки и темны, чтобы камеры космического аппарата могли различать много деталей, заметные различия между кольцами были обнаружены (см. рисунок на с. 27).

Высокое качество изображений, полученных во время пролета, особенно примечательно, если учесть те трудности, с которыми пришлось столкнуться. Получение изображений колец можно сравнить с фотографированием куска угля на черном фоне у

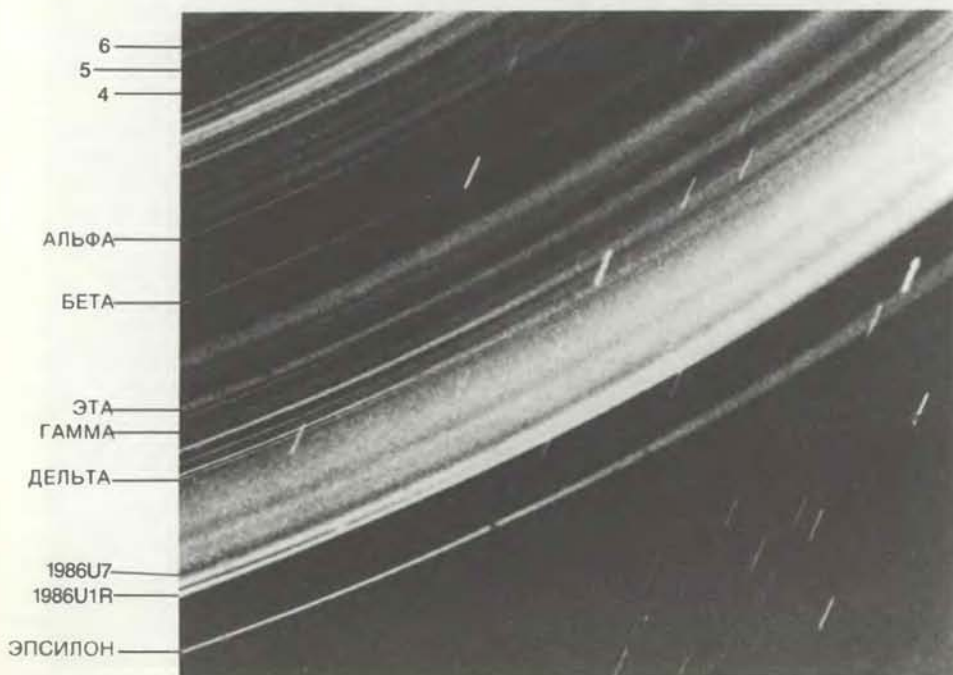
* Вероятно, в тексте ошибка. Должно быть: Луны и Меркурия. — *Прим. ред.*

подножия новогодней елки, освещенной единственной лампочкой на ее верхушке, с использованием камеры, заряженной пленкой чувствительностью 1 ед. ASA (менее 1 ед. ГОСТ). Получение такого изображения потребовало бы экспозиции 15 с. Отчетливое изображение колец было бы невозможно получить без крупных усовершенствований, кропотливо производимых в течение нескольких лет инженерами проекта (см. статью: П. Лэзер, У. Мак-Лафлин, Д. Вулф. Инженерное обеспечение встречи космического аппарата «Вояджер-2» с планетой Уран, «В мире науки», 1987, № 1).

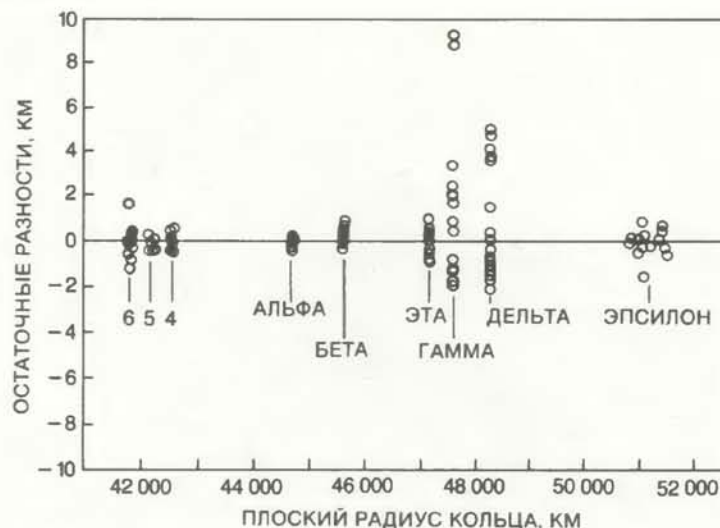
Получены также изображения во время пересечения «Вояджера-2» плоскости колец, когда камера видела их практически сбоку. После того как космический аппарат промчался мимо планеты и благодаря тому, что Солнце еще находилось за планетой, был сделан единственный снимок с длительной экспозицией в направлении Солнца, под малым углом от него. На этом снимке обнаружено около 100 чрезвычайно разреженных почти прозрачных поясов микроскопической пыли, окружающих известные кольца (см. рисунок внизу).

Как и при наземных наблюдениях, в экспериментах с участием «Вояджера-2» использовалось покрытие звезд. Методика была такой же, как и та, которая привела к открытию колец. В этом случае, однако, разрешающая способность была гораздо больше, поскольку космический аппарат проходил близко к Урану. Такое сближение дало возможность преодолеть фундаментальное ограничение затменных наблюдений: «размытость» тени исследуемых объектов. Четкость теней, отбрасываемых мелкими объектами или структурными образованиями в кольцах, быстро ухудшается из-за дифракции, поэтому их можно различить только с очень близкого расстояния. Наконец, когда «Вояджер-2» проходил за кольцами, его радиосигналы также подвергались затмению, давая другое независимое средство проведения наблюдений с высоким разрешением.

На лучших изображениях, полученных с «Вояджера-2», обнаруживается большое количество микроскопической пыли, широко распространенной в кольцах Урана. Эта пыль представляет особый интерес, так как маленькие частицы в планетных кольцах и вблизи них быстро удаляются вследствие разрушения микрометеороидами и электронами поясов радиации. Наличие такой пыли свидетельствует о том, что должен существовать локальный долгоживущий источник, состоящий из более массивных частиц.



ДИФФУЗНЫЕ ПОЛОСЫ микроскопической пыли обнаружены на единственном изображении с длительной экспозицией, сделанном после пролета Урана «Вояджером-2». Различаются примерно 100 полос. Самая дальняя деталь — кольцо эпсилон, которое кажется изолированным от основной массы пыли. Кольцо 1986U1R самое яркое, что указывает на значительное содержание пыли.



МОДЕЛЬ ТИПИЧНОГО КОЛЬЦА можно построить, если предположить, что оно определяется комбинацией сглаженных эллиптических орбит и случайных выбросов (слева). Выбросы можно выделить как «остаточные различия» между наблюдаемыми и «сглаженными» моделями колец. Остаточные различия, связанные с девятью основными

кольцами Урана, имеют размеры нескольких километров (справа). Для колец эта, гамма и дельта они настолько велики, что, по-видимому, обусловлены гравитационными возмущениями, создаваемыми близлежащими малыми спутниками.

ОДНАКО во всех основных кольцах пыли найдено мало (на нее приходится намного меньше 1% относительной площади). Наиболее насыщено пылью самое заметное из новых колец, обозначенное 1986U1R. То, что в основных кольцах пыли мало, оказалось неожиданностью. Аналогия с некоторыми узкими кольцами Сатурна позволяла предположить, что по крайней мере в кольцах эта, гамма и дельта Урана должно быть заметное количество пыли. Однако «Вояджер-2» обнаружил, что разреженная верхняя атмосфера Урана значительно плотнее, чем считалось раньше. Очевидно, атмосфера «тормозит» микроскопические частицы пыли и удаляет их с орбит всего в течение нескольких сотен лет, подобно тому как верхние слои земной атмосферы явились причиной гибели большего по размерам (но находившегося более близко) орбитального космического аппарата «Скайлэб».

Сравнение прозрачности колец на двух радиочастотах передатчика космического аппарата во время радиозатмения «Вояджера-2» дало надежные сведения о частицах колец. Самые крупные частицы в кольцах имеют размеры порядка нескольких метров, что сравнимо с размерами частиц колец Сатурна. Странно, однако, что в отличие от Сатурна в кольцах Урана, по-видимому, очень мало частиц миллиметрового и сантиметрового размера. Зная размеры частиц и предполагая, что их плотность примерно равна плотности наиболее примитивных метеороидов (около $1,5 \text{ г/см}^3$), можно получить плотность вещества колец на единицу поверхности — несколько сотен граммов на

1 см^2 . Это значительно больше плотности крупного кольца В Сатурна.

Однако эта оценка плотности не совпадает с величиной, которую дают динамические теории колец. Поскольку Уран не абсолютно сферичен, частицы эллиптических колец подвержены прецессии. Иными словами, они раскачиваются, так что ближайшая к Урану точка (периапис) медленно перемещается вперед вдоль орбиты. Скорость прецессии изменяется с расстоянием орбиты от планеты, поэтому наблюдаемая упорядоченная картина системы орбит частиц должна бы быть разрушена примерно за 100 лет во взаимных столкновениях частиц, в результате чего орбиты должны бы стать круговыми. Согласно наиболее популярной до полета «Вояджера-2» теории, согласованные эллиптические орбиты сохраняются благодаря тому, что взаимное притяжение частиц точно компенсирует такую дифференциальную прецессию. Если следовать этим предположениям, плотность колец должна быть на порядок величины меньше наблюдаемой.

Альтернативное предположение заключается в том, что небольшое трение, появляющееся при легких столкновениях в результате различий орбитальных скоростей сталкивающихся частиц при выпадении орбит этих частиц из фазы, может создать силы, необходимые для предотвращения дальнейшего рассогласования. Природа этих сил, сохраняющих согласованные эллиптические орбиты, остается неизвестной.

ЧЕРНОТА и отсутствие цветových оттенков частиц колец такие же,

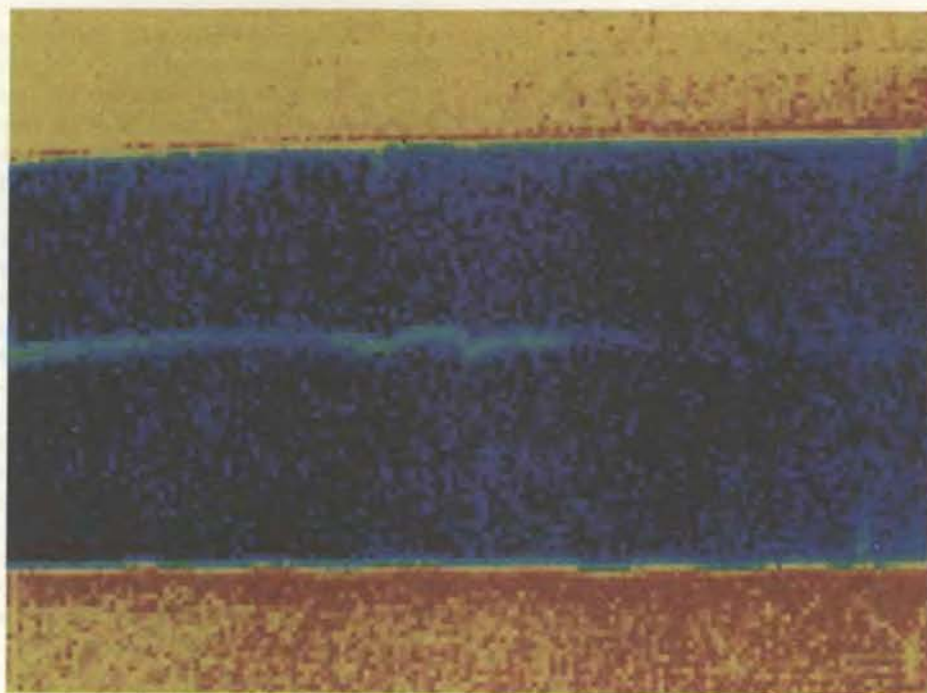
как у 10 внутренних малых спутников Урана, обнаруженных «Вояджером-2». Одна сторона внешнего большого спутника Сатурна (Япета) выглядит такой же темной, но имеет красноватый оттенок. Большинство астероидов, а также спутники и кольца Юпитера тоже красноватые.

Почему же внутренние спутники и кольца Урана такие темные? Согласно одной из гипотез, их поверхности первоначально содержали лед, обогащенный метаном. Обладающие большой энергией электроны из окружающего их радиационного пояса Урана бомбардировали поверхность и выбивали атомы водорода, оставляя на поверхности темный углерод. (Пять главных спутников Урана, которые расположены вне его радиационного пояса, значительно ярче, чем кольца и внутренние спутники.) Такой сценарий оставляет, однако, открытым один вопрос: процессы облучения, которые моделировались в земных лабораториях, обычно вызывали наряду с потемнением и покраснение. Но ни кольца, ни спутники Урана не имеют сколько-нибудь заметного красноватого оттенка.

Альтернативная гипотеза состоит в том, что темная, не имеющая оттенков поверхность колец и внутренних спутников свидетельствует о присутствии немодифицированного материала со свойствами примитивных метеороидов, называемых углистыми хондритами, которые содержат большое количество углерода, непрозрачных минералов и темных органических веществ. Можно сделать и более спорное предположение: материал поверхности представляет собой конгломерат, состоящий из летучих



СПУТНИКИ-«ПАСТУХИ» с обеих сторон кольца эpsilon удерживают частицы кольца на орбите своим гравитационным воздействием. Спутники, которые видны как яркие штрихи, получили наименование соответственно 1986U8 (с внешней стороны кольца эpsilon, вверху) и 1986U7 (с внутренней стороны, внизу). Темная полоса вокруг кольца эpsilon вызвана искажениями при обработке данных. «Вояджер-2» не обнаружил спутников-«пастухов» ни у одного из остальных восьми колец.



СУЩЕСТВУЕТ КОСВЕННОЕ СВИДЕТЕЛЬСТВО того, что внутри 325-километровой «щели» (вверху) в кольцах Сатурна, называемой Делением Энке, обращаются невидимые спутники-«пастухи». Во-первых, внутренняя (нижняя) зеленоватая кромка имеет волны по сравнению с внешней (верхней) кромкой. Во-вторых, на поверхности кольца внизу видны четкие наклонные контуры. Это результаты периодических сжатий и разрежений вещества кольца, создаваемых его волнистой кромкой. В-третьих, в центре щели есть узкое дуговое кольцо с изломами. Иллюстрация внизу показывает, как возникают сжатия и разрежения, если смотреть со спутника-«пастуха».

веществ, подвергшихся основательной переработке во время столкновения Урана с небесным телом размером с Землю. Такое столкновение может быть причиной того, что ось вращения Урана располагается фактически в плоскости орбиты планеты (см. статью: А. Ингерсолл. Планета Уран, «В мире науки», 1987, № 3). Во время сближения «Вояджера-2» в августе 1989 г. с Нептуном мы собираемся сравнить свойства колец Урана с яркостью и цветом дуговых колец и возможных внутренних спутников этой планеты, двойника Урана.

Независимо от причин темного цвета частиц колец спутники Урана должны оказывать значительное влияние на их структуру. П. Голдрейх и С. Тремейн из Калифорнийского технологического института предположили, что необычная узость и эллиптичность колец объясняются воздействием спутников, которые удерживают частицы в кольцах примерно так же, как овчарки стерегут стада овец. Сущность предложенного процесса состоит в том, что орбиты, первоначально круговые, превратились в эллиптические под гравитационным воздействием спутников-«пастухов», проходящих вблизи кольца (или догоняемых им). Изменяя эксцентриситет, «пастухи» тем самым изменяют угловой момент частиц кольца без изменения их орбитальной энергии. При том же угловом моменте частица на вытянутой орбите обладает большей энергией, чем на круговой. Когда избыток энергии гасится (например, во время последовательных столкновений частиц), орбита частиц становится круговой. Новая круговая орбита имеет другой угловой момент и располагается дальше от спутника.

В результате материал кольца удаляется от спутников: кажущийся эффект проявляется как бы в отталкивании спутниками колец за много периодов. Именно баланс между скоростью диссипации энергии и скоростью передачи углового момента через кольца может определять суммарную эксцентрисичность этих узких удерживаемых спутниками колец.

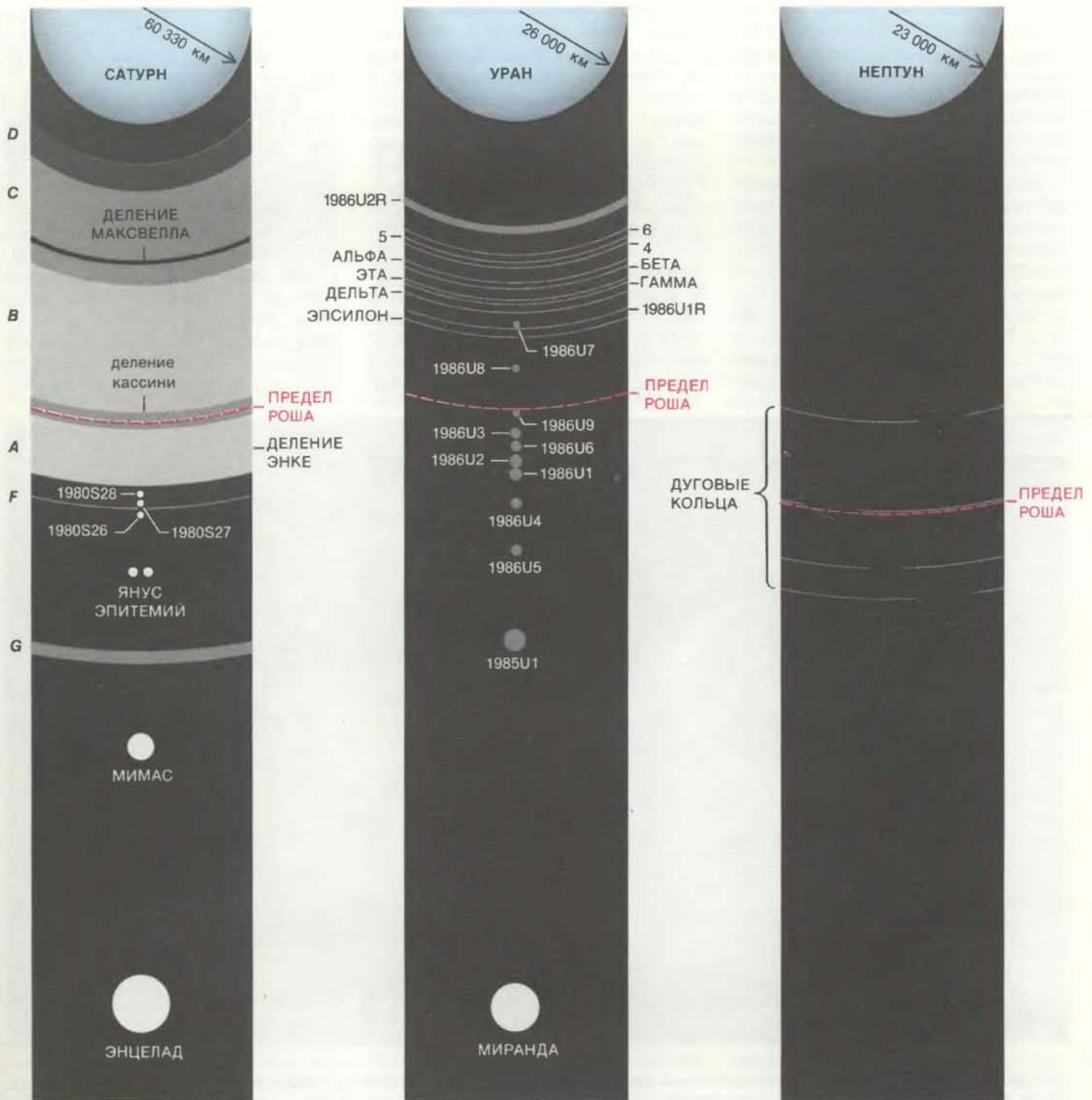
ИЗВЕСТНО, например, что по крайней мере одна «щель» в кольцах Сатурна — Деление Энке — «очищается» неизвестным до сих пор спутником в кольце, имеющим, по видимому, радиус около 10 км. Этот спутник «очищает» щель в результате описанного выше процесса перераспределения углового момента, который обеспечивает формирование колец. Небольшие эксцентриситеты орбит, передающие угловой момент, образуют «волны», которые затем гаснут на краях щели.

По многочисленным изображениям с высоким разрешением, полученным с «Вояджера-2», ясно, что большинство из 10 новых спутников находятся вблизи основных колец с их внешней стороны. Два самых внутренних спутника, 1986U7 и 1986U8 (которые были названы Корделией и Офелией), охватывают самое внешнее кольцо эпсилон. Их диаметры (от 40 до 50 км), сравнимы с диаметрами обычных астероидов, а их орбиталь-

ные периоды были определены с хорошей точностью по последовательным изображениям, полученным с «Вояджера-2».

На основе этих данных К. Порко из Аризонского университета и Голдрейх показали, что спутники 1986U7 и 1986U8 оказывают «резонансное» гравитационное воздействие, удерживающее частицы кольца эпсилон на ограниченных орбитах. При резонансе гравитационное притяжение ча-

стиц спутником распределяется во времени так, что оно постепенно суммируется и эксцентриситет орбиты увеличивается в той же мере, как возрастает амплитуда отклонения частицы, если толчки, вызывающие отклонение, повторяются точно с заданной частотой. Резонансное отношение, например, существует между внешним краем кольца A Сатурна и крупным спутником Янусом; частицы кольца завершают семь оборотов на



СИСТЕМЫ КОЛЕЦ И СПУТНИКОВ Сатурна (слева), Урана (в середине) и Нептуна (справа) обнаруживают поразительное сходство: переход от нескольких крупных спутников на внешних орбитах к множеству мелких спутников, примыкающих к кольцам с внешней стороны. Этот переход

грубо совпадает с зоной Роша — областью, где приливные силы от планеты достаточно сильны, чтобы раздробить небольшие объекты. По последним данным, множество мелких объектов перемешано с кольцами и спутниками. Здесь радиус каждой планеты принят за единицу.

каждые шесть оборотов спутника. Резонансное отношение также существует между внешним краем кольца В Сатурна и спутником Мимасом; период обращения спутника ровно в два раза больше периода обращения частиц.

В случае Урана частицы внутреннего края кольца эpsilon делают 24 оборота по орбите на каждые 25 оборотов спутника 1986U7; частицы внешнего края делают 14 оборотов на каждые 13 оборотов спутника 1986U8. Другими словами, оказывается, что вещество кольца эpsilon удерживается на орбите таким же образом, как положение внешних краев колец А и В Сатурна поддерживается Янусом и Мимасом. Этот процесс в состоянии «стеречь» вещество кольца, но лишь в определенных резонансных положениях.

Существует ли какой-то аналогичный процесс, который определяет положение каждого из восьми остальных основных колец Урана? Некоторые другие слабые резонансы действительно существуют, но они не могут обуславливать наблюдаемые орбиты. Кроме того, камеры «Вояджер-2» не обнаружили других малых спутников, связанных с кольцами.

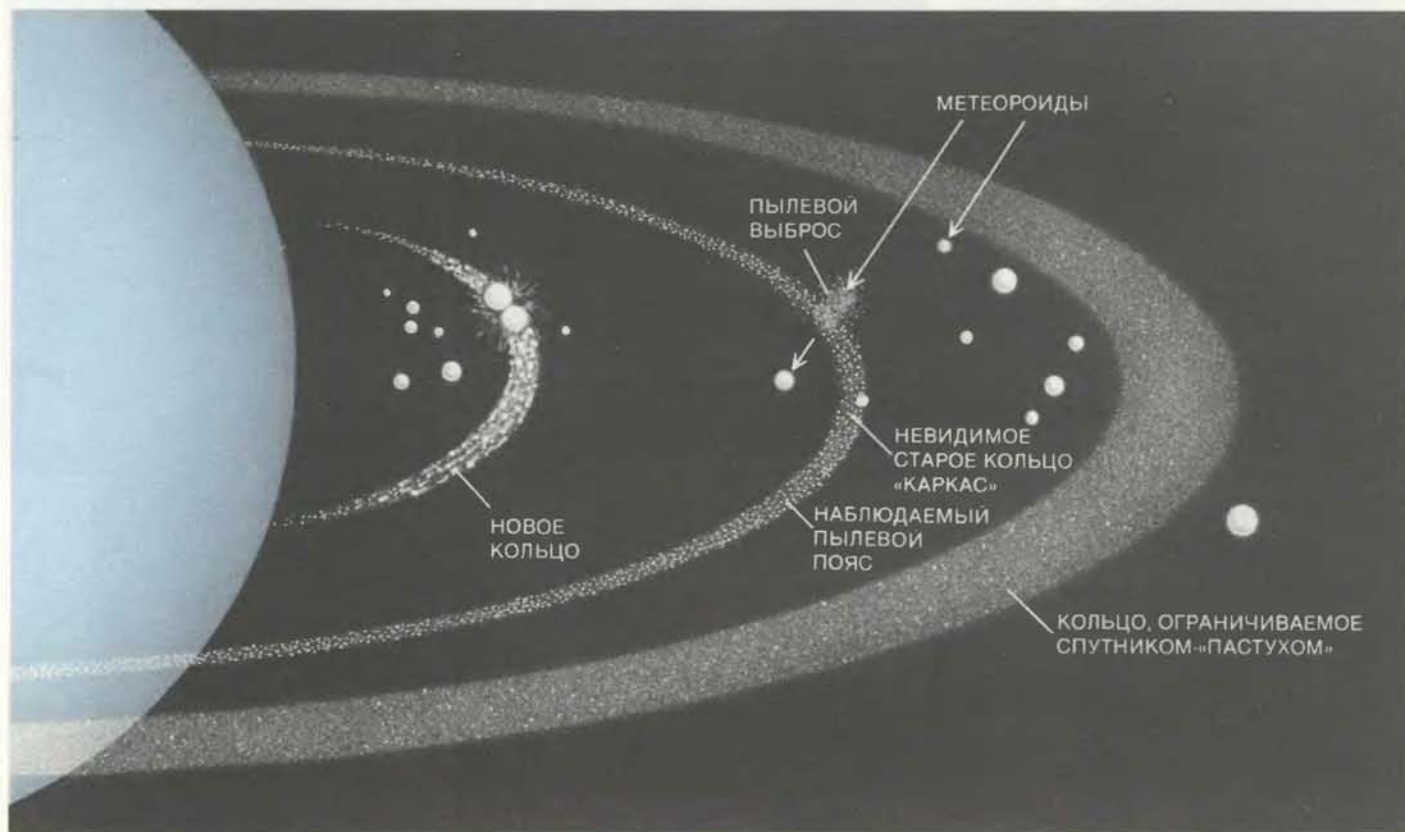
Конечно, это не означает, что их нет. Ограничения при наблюдениях позволяют предполагать существование большого числа мелких спутников, разбросанных среди колец, которые могут в принципе обеспечивать удержание внутренних колец от «размытия» и поддерживать необходимый эксцентриситет орбиты.

Другая проблема касается нескольких неполных дуговых колец вокруг Урана, обнаруженных «Вояджером-2». Похожие частичные дуговые кольца недавно были найдены около Нептуна, а два таких объекта наблюдались «Вояджером-1» и «Вояджером-2» внутри Деления Энке во время их сближения с Сатурном в 1980 и 1981 гг. И хотя были предложены гипотезы динамического ограничения, ни у Сатурна, ни у Урана нет условий, которым они должны удовлетворять. Существование частичных дуговых колец вокруг Сатурна и Урана остается загадкой.

НЕКОТОРЫЕ выводы можно сделать даже при нашем первом знакомстве с полученной информацией. Пояс из 10 следующих один за другим в порядке уменьшения размеров спутников находится внутри орбит

пяти основных спутников Урана, причем первые смыкаются с системой колец на ее внешнем крае. Любая правдоподобная модель динамики колец предсказывает, что узкие плотные кольца должны рассеиваться в плоскости орбиты и становиться совершенно прозрачными за время, гораздо меньшее возраста Солнечной системы. Отсюда следует, что либо существование колец должно поддерживаться малыми спутниками-«пастухами», либо кольца образовались недавно. Жизнь неполных дуговых колец, таких, как наблюдались у Нептуна и в Делении Энке, в отсутствие какого-либо поддерживающего их процесса еще короче.

Ряд наблюдений свидетельствует о том, что система колец Урана, так же как и другие системы колец, имеют много других признаков молодости. Всего лишь за несколько сотен лет все пылинки, которые заполняют пространство системы колец, если они малы, будут «стянуты» с орбит и закончат свою жизнь яркой вспышкой метеора в атмосфере Урана. Даже вновь открытые спутники не могут существовать больше миллиарда лет (примерно 1/5 возраста Солнечной системы). Как отмечает Ю. Шумей-



ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛНЫХ КОЛЕЦ и частичных дуговых колец могло происходить при столкновении мелких спутников друг с другом или при разрушении их ударами метеороидов. Столкновения могли привести к образованию кусков вещества, которые из-за небольшой разницы в скоростях движения быстро образовали бы дугу. С течением времени каждая дуга могла бы стать полным, но почти прозрач-

ным кольцом (слева). Такие стабильные пояса вещества могли затем стать источником материала-мишени, постоянно разрушаемого микрометеороидами и создающего короткоживущую пыль (в центре). Некоторые кольца могут сохраняться благодаря ограничивающему действию спутников-«пастухов» (справа).

кер из Геологической службы США, любой спутник, имеющий возраст более миллиарда лет, по-видимому, должен быть разрушен бомбардировкой кометарными метеороидами даже при современном уровне плотности бомбардировки. Внутренний спутник Урана Миранда имеет необычную структуру поверхности, которую можно объяснить геологически недавней реаккрецией спутника из столкнувшихся фрагментов. Мелкие спутники, число которых должно быть более значительным, чтобы обеспечить условия, необходимые для поддержания основных колец, еще более подвержены таким катастрофическим разрушениям.

Возможно, некоторые или даже все узкие кольца Урана образовались одновременно или по отдельности во время катастрофического разрушения спутников кометарными метеороидами. Большинство колец, даже если принять максимальную плотность вещества на единицу поверхности, содержат массу, достаточную для образования объекта размерами всего 1—2 км. Ранние предшественники колец могли давно исчезнуть, рассеянные действием «выживших» спутников колец или поглощенные самой планетой. Точно так же частичные дуговые кольца, наблюдавшиеся с «Вояджера-2», могут быть короткоживущими скоплениями обломков, образовавшимися в результате столкновений, включающих маленькие и пока не обнаруженные объекты поясов мелких спутников, напоминающих пояс астероидов. Когда такие дуги расширяются, они становятся симметричными, почти прозрачными поясами обломков. Даже если каркас пояса, состоящий из крупных частиц, нельзя увидеть, их длительная эрозия микрометеороидами становится источником наблюдаемых поясов микроскопической пыли. Сходные процессы могут происходить в системах колец и спутников Юпитера, Сатурна и Нептуна.

«Закулисное население», которое в конечном счете обуславливает такие взаимодействия, может состоять буквально из многих тысяч или даже миллионов мелких спутников, размерами от сотен метров до нескольких километров. Эти мелкие спутники — продолжение внутренней тенденции системы к образованию все большего числа мелких объектов, что можно наблюдать во всех трех системах планет-гигантов, которые исследовал «Вояджер-2». Население малых спутников дало бы недостающее звено между кольцами и главными спутниками. И, наверное, не будет случайно, если такую совокупность удастся найти поблизости от так называемой

зоны Роша — области, где приливные силы планеты препятствуют образованию крупных спутников.

ИТАК, сейчас мы начинаем понимать, что система узких колец Урана могла иметь бурное и беспорядочное прошлое. Современная система Урана, состоящая из 10 узких колец, множества пылевых поясов, нескольких узких дуговых колец и «стаи» мелких спутников, по-

видимому, может быть только фрагментом этого прошлого и лишь мимолетным эпизодом в процессах созидания и разрушения на пути к будущим кольцам Урана. Системы колец Юпитера, Сатурна и Нептуна могли иметь сходную историю. Некоторые аспекты физики систем колец и спутников могут быть скрытыми и постепенно эволюционирующими, подобно известному ныне дрейфу континентов на Земле.

Наука и общество

Планктон управляет климатом

НА ПЕРВЫЙ взгляд морские водоросли не могут оказывать какого-либо влияния на облака, проплывающие над океаном на высоте сотен и тысяч метров. Однако группа специалистов по физике атмосферы сделала недавно удивительный вывод о том, что на самом деле два типа объектов связаны между собой: водоросли, согласно этому предложению, могут быть одним из элементов «термостата», который регулирует температуру поверхности земли путем контроля за яркостью облаков и, следовательно, за потоком солнечного излучения, отражаемого облаками назад, в космическое пространство. По мнению авторов, их теория может объяснить, почему изменения климата в продолжение 4,5 млрд. лет земной истории были сравнительно невелики, хотя, как считается, яркость Солнца возросла за этот период на 30%.

Указанная гипотеза представлена в журнале «Nature» Р. Чарлсоном из Вашингтонского университета и Дж. Лавлоком из Экспериментальной станции Кумб-Милл в Лондоне (Великобритания). Известно, что морские водоросли выделяют химическое вещество, называемое диметилсульфидом (ДМС), которое испаряется с поверхности океана и затем окисляется в атмосфере. Среди продуктов этой реакции — субмикронные частицы (диаметром порядка 0,01 мкм) сульфатов. Авторы полагают, что над открытым океаном этот «сульфатный аэрозоль» составляет большую долю ядер конденсации, необходимых для того, чтобы началось образование облачных капель.

Имеются указания на то, что ДМС продуцируется наиболее быстро теми водорослями, которые обитают в теплой, соленой и ярко освещенной воде. Если это так, то данные водоросли могут замыкать цепочку отри-

цательной обратной связи. Когда океан становится теплее, водоросли производят больше частиц сульфатов и таким образом способствуют образованию облаков, состоящих из более многочисленных, но менее крупных капель. Такие облака отражают назад в космическое пространство довольно большую долю солнечного излучения и тем самым противодействуют потеплению воды. Теория предполагает, что температура поверхности океана может быть на удивление чувствительной к числу частиц, производимому водорослями, поскольку над океаном (в противоположность ситуации на суше) ощущается недостаток подходящих частиц. Чарлсон считает, что они «обнаружили важный недостающий член уравнений климата».

Можно ли заметить связь между увеличением числа частиц, являющихся ядрами конденсации, и усилением сильно отражающей облачности? Исследования, проведенные С. Туоуми из Аризонского университета и независимо от него Дж. Коукли из Национального центра атмосферных исследований в Боулдере, шт. Колорадо, отвечают на этот вопрос утвердительно: богатый частицами дым, выходящий из труб океанских судов, вызывает увеличение облачности, которое можно измерить. На фотографиях, сделанных со спутников, это влияние заметно по более ярким полоскам на картине, показывающей отражающую способность облаков.

Почему планктон производит ДМС? Пытаясь ответить на этот вопрос, Чарлсон и Лавлок прибегают к гипотезе Лавлока, в соответствии с которой жизнь развивалась таким образом, чтобы создать благоприятные для нее самой условия. Многие биологи, вероятно, не согласятся с таким объяснением, но так или иначе идея о том, что за обратную связь в механизме формирования климата частично отвечает планктон, рассматривается как вполне обоснованная.

Пляжи и барьерные острова

Большинство искусственных сооружений, предназначенных для защиты атлантического побережья США и побережья Мексиканского залива, в конце концов приходят в негодность.

Зачастую было бы разумнее не вмешиваться в естественные процессы

РОБЕРТ ДОЛАН, ГАРРИ ЛИНЗ

ОДНИ ИЗ наиболее замечательных в мире пляжей тянутся от Новой Англии на юг вдоль атлантического побережья США, огибают Флориду, и доходят до северного побережья Мексиканского залива (для краткости будем называть весь этот участок восточным побережьем. — *Ред.*). Значительная часть пляжей, общая протяженность которых равна 4300 км, лежит на 295 «барьерных островах», расположенных между открытым морем и материком. Пляжи, как на материке, так и на островах, подвергаются постоянному воздействию моря, которое в одних случаях строит новые пляжи, в других — разрушает старые и во всяком случае непрерывно видоизменяет их.

Первые жители прибрежной зоны, сознавая, что берега относятся к опасным для обитания местам, селились на сторонах островов, обращенных к матерiku, причем подальше от берега. На материке строительство также велось на достаточном удалении от моря. В последние несколько десятилетий ситуация резко изменилась. Теперь строительные работы ведутся предельно близко к береговой линии. Сегодня такие курорты, как Атлантик-Сити, Ошен-Сити, Виргиния-Бич, Хилтон-Хед, Джекилл-Айленд, Майами-Бич и Галвестон-Айленд, располагаются на барьерных островах, а летние дома усеивают многие пляжи. Неудивительно поэтому, что значительно возросла необходимость в проведении работ по защите островов и пляжей.

Ни северо-восточный штормовой ветер, ни тропический ураган не могут, двигаясь у побережья, не пересечь или по крайней мере не оказать воздействия на пляжи или барьерные острова. Ураганы обладают большей разрушительной силой, чем зимние северо-восточные шторма, но они менее часты, в особенности у атлантичес-

кого побережья. Там северо-восточный штормовой ветер примерно тридцать раз в году создает волны, достаточно мощные для того, чтобы приводить к абразии пляжей, барьерных островов и фронтальных дюн, тянувшихся параллельно берегу. В среднем каждые сто лет зимний шторм вызывает катастрофические разрушения пляжей и островов, от которых страдают и живущие там люди. Побережье Мексиканского залива больше всего страдает от ураганов. Перед властями, таким образом, встает дилемма: строить ли защитные сооружения, которые должны обладать достаточной эффективностью в больших временных масштабах, или предоставить природе самой делать свою работу, как это происходило в течение веков.

Жесткий северо-восточный шторм, обрушившийся на берег 7 марта 1962 г., стал своего рода репером для специалистов по геологии прибрежных районов и береговому строительству. Этот шторм унес множество жизней и нанес материальный ущерб на сумму 300 млн. долл. Масштабы бедствия стало возможным оценить лишь спустя несколько дней. Берег был размыв до линии дюн. На некоторых участках гряды Аутер-Банкс у побережья Северной Каролины было унесено такое количество пляжевого материала, что обнажились решетки, установленные за тридцать лет до этого события для усиления естественных процессов, ведущих к образованию дюн. Дороги были погребены под осадками, принесенными заливавшими берег волнами, а каналы, ве-

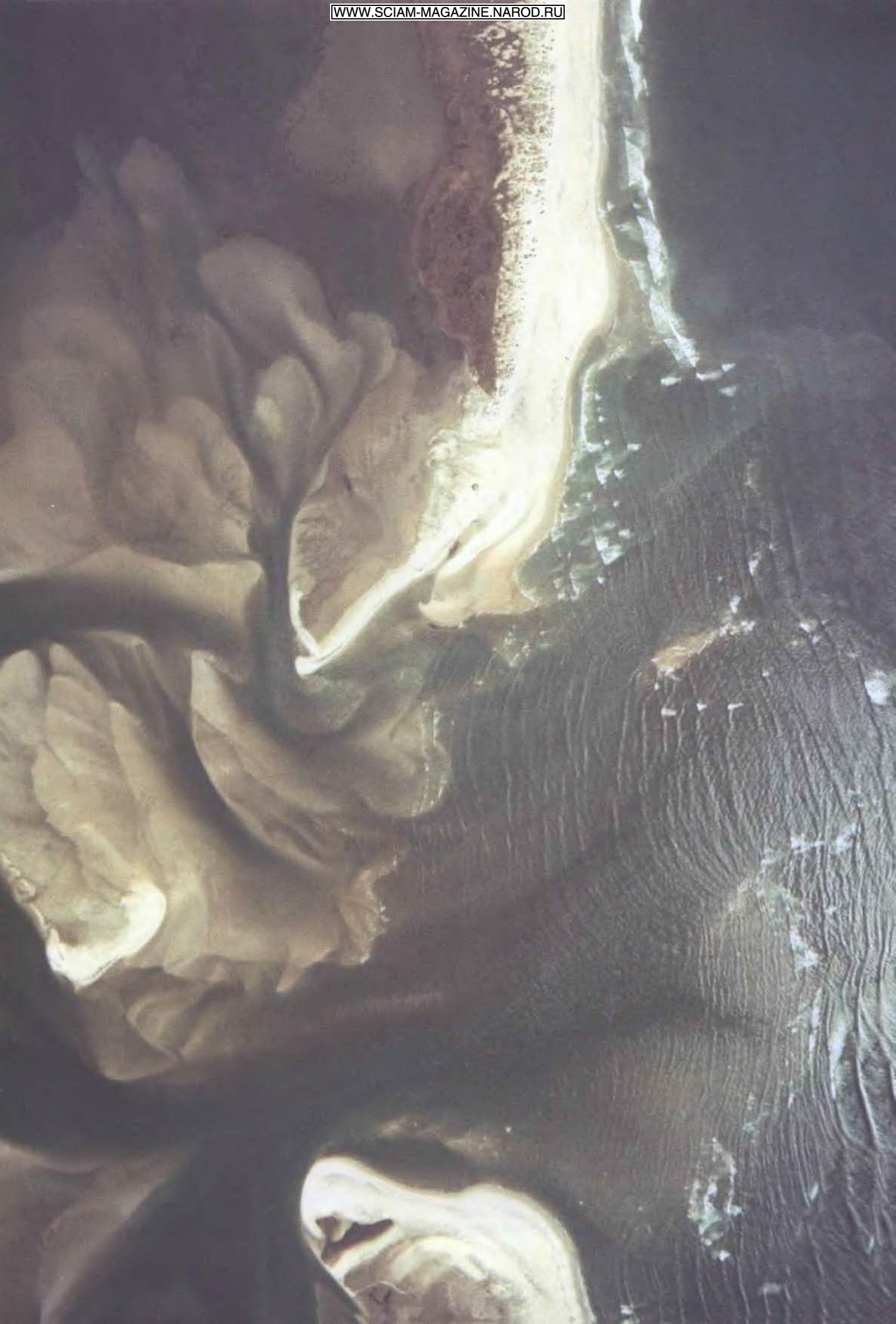
дущие в лагуны, оказались занесенными песком и мелким обломочным материалом.

Шторм 1962 г. убедил многих в том, что работы по укреплению пляжей и барьерных островов велись неправильно. Выяснилось, что искусственные песчаные дамбы и барьерные дюны не могут защитить стоящие на берегу строения от сильного шторма. Стало ясно также, что для проведения любых мероприятий по временному или долгосрочному заселению таких опасных мест, как пляжи побережья или барьерных островов, необходимо лучше представлять естественную динамику этих районов.

Таким образом, упомянутый шторм ознаменовал собой поворот в изучении береговых процессов. В результате проведенных с тех пор исследований мы теперь знаем, как были сформированы пляжи и барьерные острова, какие силы изменяют их и почему они будут продолжать изменяться, несмотря на попытки человека приостановить естественные процессы.

Пляжи и барьерные острова создаются из всего того осадочного материала, который переносится волнами и прибрежными течениями. Пляжи относятся к одному из наиболее распространенных типов береговых структур осадочного происхождения: они занимают 33% береговой линии Северной Америки. Источниками осадочного материала, из которого строятся пляжи, являются реки, подверженные эрозии скалы, ледниковые отложения и остатки организмов, подобные кораллам и ракушкам.

БУХТА ДРАМ на острове Кор-Банкс у побережья Северной Каролины. Во время прилива направленные к берегу течения переносят песок через бухту и откладывают его в виде веерообразной отмели (слева). Похожая ситуация возникает во время отлива: на это указывает меньшая отмель за пределами бухты.



Большинство пляжей на Земле состоит главным образом из кварцевого песка, обломков тяжелых минералов и пород, а также ракушки. На западном побережье США и на побережье Новой Англии некоторые пляжи, расположенные вблизи скалистых уступов и мысов, состоят из более крупного материала, включая гравий и окатанные камни, называемые булыжником. На поперечном разрезе

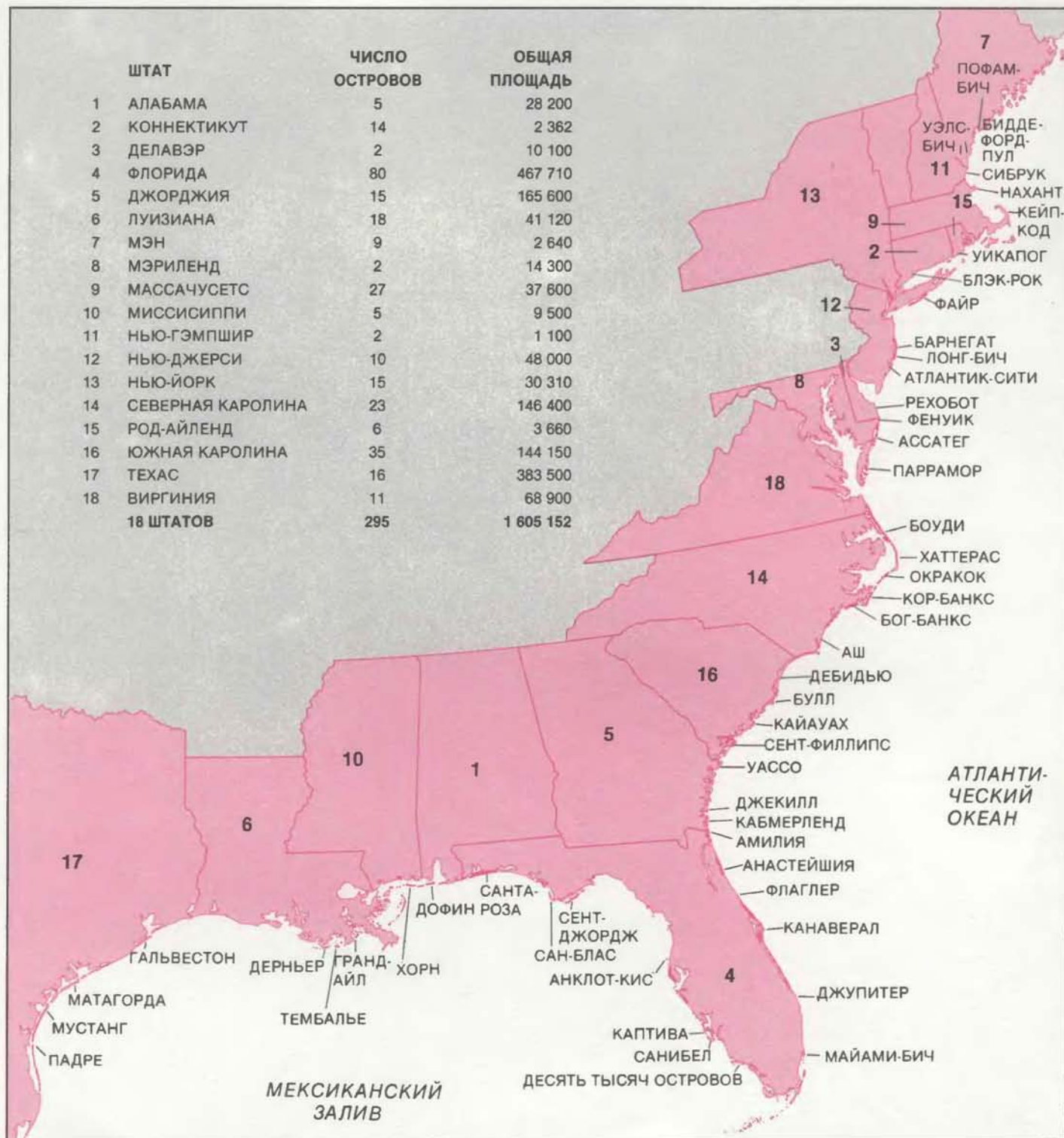
пляжа можно видеть осадочные слои, сложенные из частиц разного размера, указывающего на их происхождение и на процессы, ответственные за их перенос. В эти слои внедрены элементы хорошо отсортированных тонких песков, нанесенных ветром.

Формирующие процессы

На песчаном побережье почти всякое изменение волновой активности

или колебаний уровня моря приводит к изменению пляжа. Перенос песка волнами и течениями может осуществляться как к берегу, так и в море, а вдольбереговыми течениями и параллельно берегу. Пляжи постоянно «подстраиваются» под изменения приливов, волнения и течений.

Береговые равнины восточного побережья представляют собой довольно плоские осадочные образования,



ОСНОВНЫЕ БАРЬЕРНЫЕ ОСТРОВА у атлантического побережья США и северного побережья Мексиканского залива. Всего насчитывается 295 таких островов. Они получи-

ли свое название в силу того, что находятся между океаном и материком. Острова построены из осадков, перемещенных морем. На карте обозначены и некоторые курорты.

имеющие небольшой уклон в направлении к морю, где они переходят в широкий континентальный шельф. Песчаные пляжи и барьерные острова, которые в основном и образуют материковую часть прибрежной зоны этих равнин, являются продуктами морских процессов, создающих и преобразующих морские окраины этих береговых равнин.

Процессы, формирующие барьерные острова, в течение многих лет остаются предметом споров среди ученых. Имеются серьезные аргументы в пользу того, что большая часть барьерных островов у восточного побережья образовалась от 4000 до 6000 лет назад. За прошедшее время они претерпели изменения и продолжают изменяться до сих пор. Торф и ископаемые стволы деревьев — остатки лесов, когда-то произраставших на островах со стороны материка, — находят теперь на океанских пляжах. Другими словами, острова двигаются к матерiku. Сравнивая современные аэрофотоснимки со снимками, сделанными ранее, или со старыми картами, можно обнаружить отступления пляжей и барьерных островов в небольшом масштабе времени.

На протяжении длительных периодов времени изменения пляжей и барьерных островов происходят под действием нескольких факторов, среди которых важную роль играют природа осадков и интенсивность динамических локальных процессов. Однако основным фактором всегда остается периодическое изменение уровня моря.

Колебания уровня моря

На протяжении последних 500 тыс. лет уровень моря в глобальном масштабе изменялся несколько раз. Во время более теплых межледниковых периодов материковый лед таял, границы океанов расширялись, и береговая линия двигалась в глубь материков. Во время более холодных ледниковых периодов, когда вода изымалась из океанов и запасалась на материках в ледниках, береговая линия двигалась в сторону моря. Эти процессы вовлекали в движение огромные массы воды, достаточные для того, чтобы береговая линия смещалась на большие расстояния через плоские береговые равнины и континентальный шельф.

К концу последнего ледникового периода (висконсинского), 12—14 тыс. лет назад, уровень моря был примерно на 100 м ниже, чем сейчас, поэтому береговая линия на восточном побережье располагалась на 30—120 км мористее по сравнению с ее современным положением. Пере-



ШТОРМ может разрушить здания, стоящие вблизи берега. Так выглядело побережье острова Файер, шт. Нью-Йорк, после особенно сильного весеннего шторма 1962 г. Шторм такой силы случается примерно раз в столетие.

ход от ледникового периода к межледниковью ознаменовался повышением уровня океанов и морей. Этот процесс происходил в течение примерно 8000 лет, так что к современному значению уровень приблизился 4000—6000 лет назад. По мере повышения уровня моря и смещения береговой линии через континентальный шельф огромные массы песка двигались с мигрирующей береговой зоной и откладывались на пляжах. Осадки, которые откладывались в виде пойм и дельт в речных системах у побережья, также перераспределялись под воздействием волн и двигались вдоль берега.

После того как уровень моря более или менее стабилизировался, волны, течения и ветер, воздействующие на песок, стали формировать пляжи и барьерные острова. Пока в береговой зоне имелось достаточное количество осадков, пляжи продолжали расти в сторону моря до достижения равновесного состояния. Равновесие в этом случае определялось балансом ветровой и волновой энергии и наличием достаточного количества рыхлых

осадков для переноса при данном уровне моря.

Все данные свидетельствуют в пользу предположения, что это равновесие было достигнуто примерно в то время, когда уровень моря приблизился к современному значению. В ту пору барьерные острова были, вероятно, гораздо шире, чем сейчас. С течением времени развивался сложный ландшафт этих островов. Под воздействием штормов вода проделывала проходы в узких косах, что приводило к образованию новых бухточек. Длинные стрелки соединяли более широкие и устойчивые косы, где формировались ряды пляжевых и дюнных гребней. Так образовывались длинные цепочки барьерных островов. Исключениями из этой картины являются «морские острова» у берегов Джорджии и Южной Каролины. Они возникли при затоплении прибрежных районов материка и затем были перестроены в результате отложения пляжевого материала на стороне, обращенной к морю.

В последующий период уровень моря продолжал медленно повышаться

(за последние 100 лет повышение составило чуть больше 30 см). В результате произошло дальнейшее отступление береговой линии и укрупнение заливов и проливов позади барьерных островов. Скорость отступления пляжей и барьерных островов за последние несколько тысяч лет менялась вследствие того, что менялись скорость повышения уровня моря, поступление песка в береговую зону и наклон дна, определяемый воздействием штормов и волн. Частично смытый материал откладывался в определенных местах в море (примером может служить отмель Даймонд-Шоулз у мыса Хаттерас), но в основном он оставался в «бюджете» барьерных островов (внося вклад в расту-

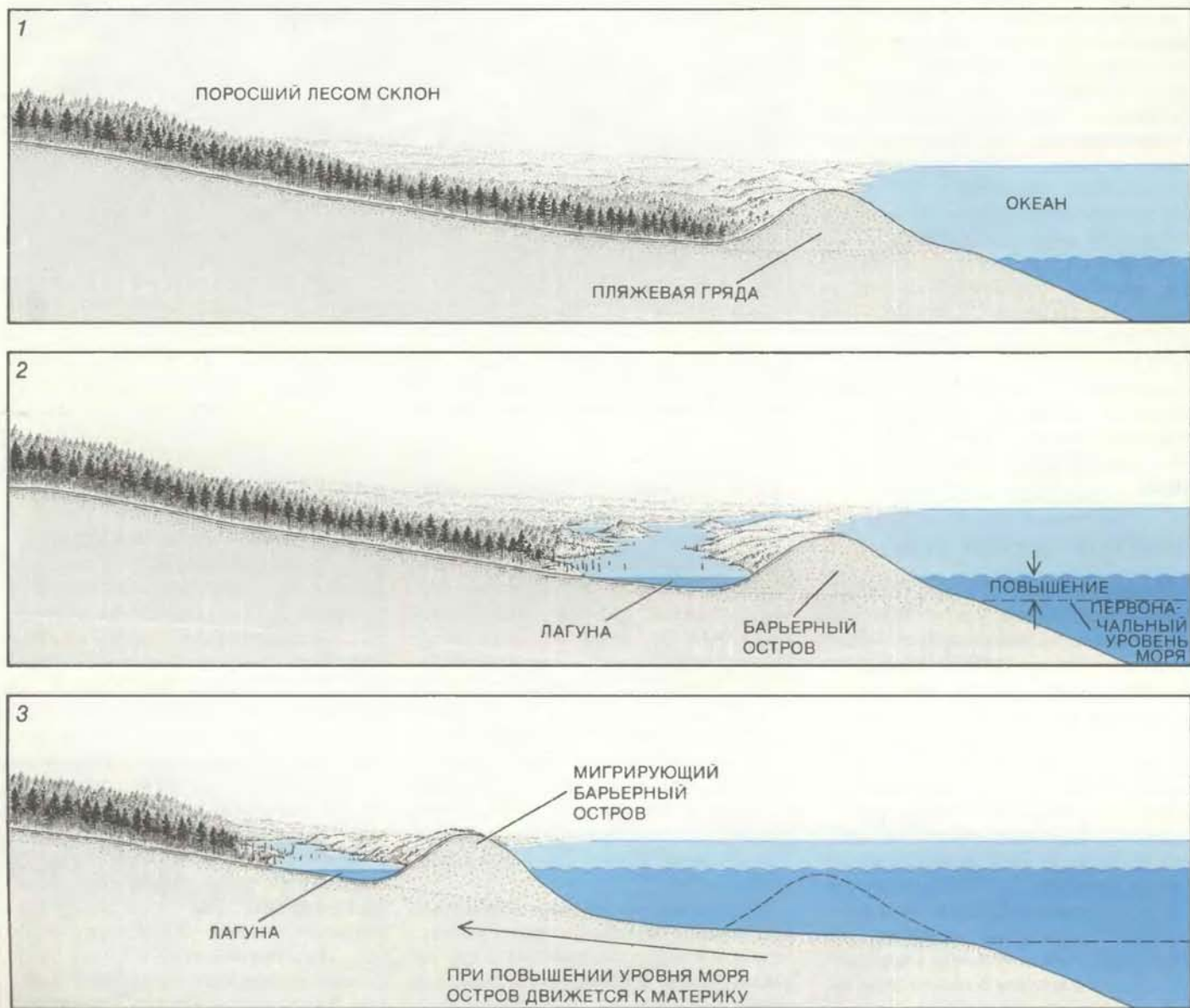
щие косы, заполняя узкие бухточки и формируя дюны) или переносился на материк при штормах.

Мигрирующие острова

Два наиболее важных фактора, определяющих движение пляжей и барьерных островов в сторону материка, — это перемещение наносов при перехлестывании воды и образование бухточек, называемых бухточками размыва. Штормы служат причиной обоих явлений. Во время сильных штормов пляж и примыкающие к нему дюны затопляются нагоняемой водой и волнами. Когда вода перехлестывает через пляж и течет в направлении к заливам и проливам, осадки

забираются с пляжа и переносятся во внутренние области острова. В результате форма и положение острова меняются, но полная масса осадков на нем сохраняется.

Перехлестывание воды и формирование бухточек размыва — обычные явления на атлантическом побережье, в особенности к югу от мыса Кейп-Код. Временные бухточки возникают во время штормов, когда вода перехлестывает через более узкие участки острова и прорывает их, создавая проходы в лагуны и заливы, находящиеся позади пляжей. Если бухточка открыта, песок движется через нее и откладывается с внутренней стороны острова в виде крупных веерообразных отмелей. Во время приливов пе-



ЭВОЛЮЦИЯ БАРЬЕРНОГО ОСТРОВА. Он начал образовываться 15 тыс. лет назад (1), когда уровень моря был на 100 м ниже современного. Волны и ветер формировали на континентальном шельфе дюны. Со временем уровень моря повышался (2), вода прорывалась через дюны и затопляла низкие области позади них, образуя лагуны. В результа-

те первоначальная область дюн превращалась в остров. Постоянное воздействие волн и повышение уровня моря заставляли остров смещаться в направлении материка по мере того, как песок уносился с пляжа и откладывался на стороне, обращенной к материка. Современное положение острова (3) продолжает изменяться по тем же причинам.

сок уносится, поэтому аналогичная дельта может образоваться и со стороны океана. Наносы в бухточках во время отливов обнажаются и постепенно становятся новым основанием для формирования соленых маршей (болот). На отмелях, находящихся ниже уровня малой воды, появляется подводная растительность.

Перехлестывание воды более характерно для среднего участка атлантического побережья, чем для других его районов. Этот участок лежит недалеко от путей большинства зимних штормов, а величина прилива здесь невелика. Как следствие, здесь часты высокие штормовые нагоны. К северу и югу величина прилива больше и перехлестывание происходит реже. На побережье Мексиканского залива штормов бывает немного, но на него часто обрушиваются ураганы. В каждом районе, таким образом, пляжи и барьерные острова имеют свои отличительные особенности, отражающие частоту и силу штормов и величину прилива.

При изучении береговой абразии обычно опираются на данные, полученные из обследований суши, карты, картины изменений, выявляемых на повторных аэрофотоснимках одного района. На протяжении последних десяти лет мы в Виргинском университете разработали программу работ, позволяющую картировать перемещение береговой линии и изменения, происходящие при штормовых нагонах, на участке побережья протяженностью 1200 км. Результаты исследований показывают, что в целом абразия береговой линии на среднем участке атлантического побережья происходит со скоростью от 40 до 130 см/год. В этих средних величинах скрыты значительные вариации скорости от острова к острову; в действительности отдельные небольшие участки пляжей могут даже расти.

Скорость абразии зависит от того, по какому пути идут шторма, от направления, с которого подходят к берегу волны, и от ориентации береговой линии. Исключительно высокие скорости абразии обнаружены на барьерных островах у побережья Виргинии и на пляжах побережья Луизианы, где много речных дельт. В этих местах скорость абразии достигает 70 см/год. У побережья Виргинии и Луизианы острова короче и ниже, чем многие другие барьерные острова, и состоят из тонкого слоя мелкого песка и ракушки, перекрывающего алевроитовые глины. В силу своей удаленности, уязвимости перед штормовыми нагонами и недостатка пресной воды острова у побережья Виргинии не пользовались популярностью в пе-



ИСКРИВЛЕННЫЕ УЧАСТКИ побережья, имеющие форму полумесяца, заметны на фотографиях, сделанных с космических аппаратов и самолетов. Наличие этих особенностей позволяет предположить, что в больших масштабах времени воздействие волн, течений, приливов и ветра имеет повторяющийся характер, а не случайный. Сведения относительно того, в каких местах эти эффекты наиболее значительны, могут помочь при планировании строительства вблизи берега. Изображенный участок побережья находится на мысе Кейп-Код.

риод быстрого освоения атлантического побережья в 1960-е годы. Благодаря этому общественная организация, называемая Корпорацией сохранения природных ресурсов, смогла купить 13 этих островов, которые сохраняются в первозданном виде.

Регулярность процессов

Интересно, что некоторые дома, построенные на пляжах атлантического побережья и барьерных островах в 1950-х годах, остались на местах, в то время как более современные дома, построенные неподалеку, не выстояли под ударами штормов.

Это обстоятельство вынуждает поставить вопрос о том, являются ли изменения береговой линии в конкретном месте случайными или же имеют регулярный характер и, значит, могут считаться предсказуемыми; во втором случае можно говорить об упорядоченности процессов, вызывающих эти изменения. Результаты исследований, проводимых в последние 20 лет, позволяют предположить, что даже в масштабах десятков и сотен метров береговые процессы и береговые формы рельефа имеют упорядоченную структуру. Этот вывод противоречит распространенному мнению о том, что изменения,

происходящие на пляжах и барьерных островах, носят случайный характер.

Даже бегло взглянув на снимки атлантического побережья, сделанные из космоса, можно обнаружить повторяющиеся структуры береговой линии, имеющие форму полумесяца, в больших и малых масштабах. Некоторые из них объясняются вариациями интенсивности береговых процессов. Так, например, скорость абразии берега у барьерных островов, расположенных у побережья Виргинии, зависит от конфигурации береговой линии. Наиболее быстро абразия идет там, где береговая линия обращена на северо-восток, а медленнее всего — там, где она смотрит на юго-запад. В результате возникает последовательность вогнутых и выпуклых участков побережья.

Крупнейшими структурами такого рода на атлантическом побережье являются дуги островов Аутер-Банкс у Северной Каролины, простирающиеся на расстояние от 100 до 150 км. Внутри этих больших дуг находятся участки в форме полумесяца меньшего масштаба, включая пляжные вы-

ступы (от 10 до 30 м), гигантские пляжные выступы (от 100 до 200 м) и даже структуры длиной в километр и более. На береговых барах и ложбинах могут также образовываться последовательности структур в форме полумесяца; они возникают в ответ на изменения волнения, уровня моря и приливов. Более мелкие формы то появляются, то исчезают и могут мигрировать вдоль берега; структуры большего размера определяют картину береговой абразии и переклестывание воды во время сильных штормов.

Распределение осадков, отложенных на побережье Дэлавера во время весеннего шторма 1962 г., показывает, что хотя переклестывание происходило на всех участках пляжа и барьерных островов, расстояния, на которые проникали вода и песок на сушу, были существенно неодинаковыми. Анализ этого распределения и осредненного за 40 лет положения береговой линии позволяет предположить, что в средней многолетней картине береговой абразии и в процессах проникновения воды на сушу во время отдельного шторма наблюдаются регу-

лярные особенности. Эта регулярность играет важную роль при определении картины абразии и штормовых разрушений.

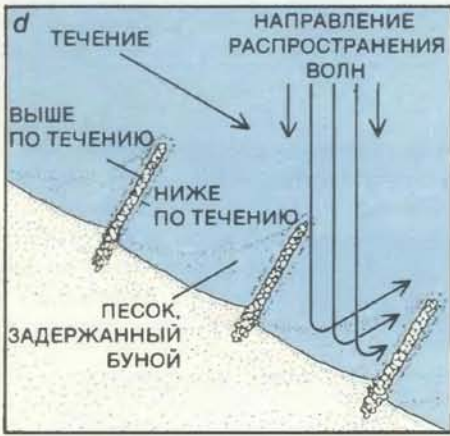
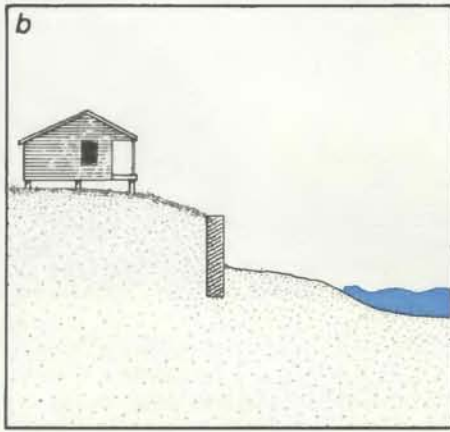
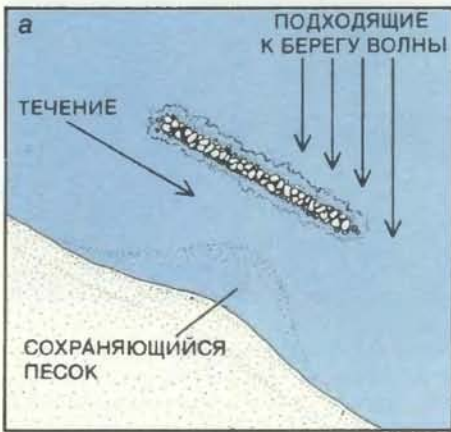
Защита и восстановление пляжей относятся к дорогостоящим мероприятиям и, как правило, не по карману отдельным домовладельцам. Хотя наилучшим решением для заинтересованного лица было бы хорошенько взвесить все обстоятельства, прежде чем покупать дом, находящийся у берега, или что-либо строить в таком месте, встречаются здания, воздвигнутые на таких участках побережья, где более ранние постройки уже оказались в море. Строительство зданий должно вестись с учетом вероятности того, что в течение определенного времени оно не будет повреждено волнами, а для этого необходимо понимать связь между характеристиками пляжа и штормовыми нагонами.

В случае более крупных задач на сцену выступает правительство. Исследовательский центр берегового строительства, принадлежащий Инженерному корпусу армии США, изучает указанные проблемы с целью проектирования сооружений, препятствующих береговой абразии и защищающих прибрежные строения от штормовых нагонов. В 1946 г. конгресс впервые разрешил выделять средства из федеральных фондов для строительства таких сооружений. В соответствии с этим решением Инженерный корпус осуществил более 100 таких проектов. Сюда входят как создание «твердых» конструкций, так и использование «мягких» методов.

Инженерный подход

К твердым конструкциям относятся волноломы, буны, морские стенки и облицовка. Волнолом сооружается для того, чтобы преграждать путь волнам, которые в обычных условиях обрушиваются на берег и переносят осадочный материал. Задача буны — обеспечить такую защиту, при которой пляж восстанавливается или по крайней мере его абразия замедляется. Буна выступает в море и препятствует переносу песка вдоль берега. Песок накапливается на той стороне буны, которая обращена к движущемуся песку, и уносится с другой ее стороны. Морская стенка сдерживает натиск моря, отделяя его от пляжа. Облицовка делается из такого материала, как каменные блоки, и предназначена для того, чтобы помешать волнам уносить песок.

В настоящее время предпочтение начинают отдавать «мягким» методам. Они основаны на том, чтобы подсыпать песок на пляж и тем самым возмещать потери материала,



ЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ — это особенность «твердого» метода, направленного на уменьшение или прекращение абразии пляжа. Волнолом (а) закрывает путь волнам, идущим к берегу. Морская стенка (b) отделяет море от пляжа. Облицовка (c) не дает волнам уносить песок. Буны (d), выступающие в море, задерживают песок на сторонах, обращенных к течению. Альтернативой «твердому» методу является «мягкий» метод, состоящий в том, чтобы периодически восстанавливать запасы песка на пляже. Песок для этих целей берется в море.



ПОПЫТКИ СТАБИЛИЗИРОВАТЬ барьерные острова путем сооружения или укрупнения дюн и посадки травы и кустарников приводят в конце концов к тому, что пляжи становятся уже, чем на неукрепленных островах. Примером

могут служить два острова у Северной Каролины: остров Хаттерас (*слева*), где с 1930-х годов интенсивно проводились защитные мероприятия, и остров Кор-Банкс (*справа*), который пребывает в естественном состоянии.

теряемого в результате абразии. Как правило, песок берется со дна моря на некотором расстоянии от берега с помощью землечерпалки и высыпается на пляж или в воду вблизи берега. Периодическая подсыпка песка обходится, разумеется, гораздо дешевле, чем строительство массивных защитных сооружений. Преимущество этого метода состоит также в том, что, укрепляя участок, лежащий перед пляжем, вы оставляете возможность использовать пляж для отдыха.

Существует не так много эмпирических правил, которыми руководствуются при планировании и проведении мероприятий на барьерных островах и при освоении участков, расположенных вблизи моря. Все береговые районы отличаются один от другого. Многие неудачи при работах в береговой зоне были связаны с тем, что решение, найденное для одного пляжа, применялось к другому. Каждый район должен рассматриваться как особый и требующий индивидуально-го подхода.

Влияние человеческой деятельности

Быстрое освоение или урбанизация охватили примерно 70 из 295 барьерных островов, расположенных вблизи восточного побережья. Около 80 других островов приобретены федеральным правительством или правительствами штатов для создания зон

отдыха и заповедников, а еще 120 находятся в частном владении и в основном освоены недостаточно. Пятнадцать самых крупных островов были куплены федеральным правительством для создания на них резерватов дикой природы и национальных береговых парков.

Освоение островов Аутер-Банкс у Северной Каролины служит типичным примером того, что происходит на многих островах. Несмотря на то что динамичная природа пляжей и дюн всегда была привлекательной стороной островов Аутер-Банкс, эти острова оставались в стороне от туристских маршрутов и посещались редко, пока в 1930-х годах не были построены первые мосты, связавшие их с материком.

Вскоре после этого возник план построить вдоль всей гряды Аутер-Банкс дорогу, защищенную дюнами от штормовых нагонов и перехлестывания водой. Прежде вода заливала острова несколько раз в году в таких местах, которые делали невозможным строительство постоянной дороги. Начиная с 1936 г. Инженерный корпус защиты гражданских сооружений и Управление строительных проектов по указанию Национальной службы парков (НСП) построили почти 1 млн. м, задерживающих песок решеток (которые действуют подобно решеткам, задерживающим снег), чтобы создать непрерывный барьер из дюн длиной 110 км вдоль островов

Хаттерас, Пи и Боуди.

В большинстве своем эти конструкции были расположены на открытых песчаных равнинах позади природных низких отдельных пляжных дюн, примерно в 100—150 м от берега. Для укрепления песка, накапливающегося у заграждений, было посажено 1,4 млн. деревьев и кустарников и посеяна трава; эти меры позволили укрепить песок на площади более 12 км². НСП вернулась к проекту создания дюн в конце 1950-х годов; в результате появились почти непрерывные гряды дюн и покровы растительности в пределах национального берегового парка Хаттерас.

Стабилизирующее влияние искусственных дюн, продолжавшееся тридцать лет, изменило экологию и геологию островов Аутер-Банкс. Сравнение поперечных разрезов островов Хаттерас и Кор-Банкс, представляющих измененное и естественное состояния барьерных островов, показывает, каким образом укрепление берега изменило морфологию и экологию пляжей, дюн и маршей.

При взгляде с воздуха бросается в глаза одна особенность (не считая искусственных дюн), позволяющая отличить друг от друга нетронутые и измененные барьерные острова, — это разная ширина пляжей. На островах, находящихся в естественном состоянии, пляжи имеют в ширину от 100 до 180 км; в то же время ширина пляжа на острове Хаттерас, напри-

мер, уменьшилась до 30 м. Эта парадоксальная особенность показывает, что построенные человеком защитные сооружения не только не в состоянии сохранить пляжи, но даже способствуют их разрушению.

Одно существенное различие между естественными и укрепленными барьерными островами состоит в той роли, которую играет искусственная дюна в изменении нормального распределения растительности. Укрепленная дюна, достигающая местами высоты 10 м, препятствует переклещиванию воды и не дает распространяться соли. Вследствие этого растения, которые обычно поселяются дальше от естественного пляжа, получают возможность занять место ближе к океану на подветренной стороне барьерной дюны. Кустарники, завоевывающие благодаря стабилизирующему влиянию дюны пространство ближе к морю, образуют непродоходимые заросли высотой от 3 до 5 м. На сегодняшний день Служба рыбных ресурсов, диких животных и растений и НСП пытаются воспрепятствовать дальнейшему распространению кустарников с помощью контролируемых пожаров.

Это управление естественными процессами, оказывающими влияние на пляжи и барьерные острова, стало использоваться НСП вскоре после того, как в 1953 г. острова Аутер-Банк были объявлены первым национальным береговым заповедником. Однако еще в 1938 г. геологи из НСП, описывая новые участки побережья, указывали, что низкая открытая местность на островах Аутер-Банк обусловлена естественными процессами, а не обезлесением, вызванным человеческой деятельностью. В период между 1970 и 1973 г. П. Годфри из Массачусетского университета и один из авторов (Долан) представили в НСП результаты исследований, указывающие на то, что барьерные острова по своей природе нестабильны. Долан и Годфри выступали за прекращение крупномасштабных программ по созданию укрепляющих дюн. Они утверждали, что такие мероприятия приводят к существенным изменениям пляжей и барьерных островов, порождающим длительные адаптивные геологические и экологические процессы. В 1973 г. НСП приняла решение не вмешиваться в естественные процессы во всех национальных береговых парках.

Перспективы

В 1978 г. Р. Франк, в то время администратор Национального управления по исследованию океана и ат-

мосферы, заявил, что в скором времени один из ураганов, вероятно, унесет сотни, если не тысячи жизней и причинит ущерб на миллиарды долларов. Пока такого урагана не было, но, когда он возникнет, значительная часть разрушений и человеческих жертв придется, вероятно, на один или несколько пляжей и барьерных островов на восточном побережье. В настоящее время в этих районах проживают миллионы людей. Большинство из них никогда не испытали на себе, что значит сильный ураган, и имеют очень слабое представление о его разрушительной мощи.

Многие специалисты по береговым процессам полагают, что освоением этих районов было бы легче управлять, если бы люди знали, с каким риском связано проживание на пляжах и барьерных островах. Они утверждают, что, предлагая различные субсидии для освоения этих мест, федеральное правительство несет ответственность за большую часть проблем такого рода. Особую роль играют при этом поддержка на федеральном уровне строительства мостов как первого шага на пути урбанизации барьерных островов и Федеральная программа страхования от наводнений.

Однако нельзя возлагать всю вину на правительство. При нынешнем неустойчивом экономическом положении естественно стремление людей вкладывать средства в летние дома. Федеральные программы, обеспечивающие страхование от наводнений и компенсацию ущерба в случае стихийных бедствий, льготы по налогообложению, а также программы по обеспечению населения водой и услугами, разумеется, уменьшают риск, на который идут владельцы домов. С другой стороны, многие из барьерных островов начали осваиваться до того, как возникли указанные программы, так что это освоение продолжалось бы и в том случае, если бы правительственные программы были отменены.

На протяжении последних десятилетий уровень моря повышался со скоростью 30 см за 100 лет, и нет указаний на то, что в обозримом будущем эта тенденция изменится на обратную. Продолжающееся повышение уровня моря и его наступление на берег заставляют инженеров искать пути сохранения курортов, созданных на пляжах и барьерных островах. Пляжи и барьерные острова буквально «уходят» из-под ног, так что каждое здание оказывается лицом к лицу с морем. Многие поселения, где в 1940-е и 1950-е годы этот риск пытались уменьшить путем создания дюн и возведения морских стенок, бун и

других сооружений, сейчас столкнулись с серьезной проблемой: расходы на поддержание этих сооружений быстро растут, а общее количество песчаных пляжей, независимо от того, какие защитные сооружения применялись, уменьшается.

Если ожидаемое увеличение содержания атмосферного углекислого газа, вызванного сжиганием ископаемого топлива, приведет к глобальному потеплению и таянию полярных льдов, уровень моря начнет расти еще быстрее и отступление береговой линии ускорится. Оценка повышения уровня для следующего столетия дает значения от 0,5 до 3 м. Меньшее из этих значений уже будет означать серьезные трудности для инженерных работ на побережье, которые в настоящее время с целью сохранения пляжей проводятся во многих крупных курортных городах. Более существенное повышение уровня приведет к катастрофическим последствиям для большинства оборудованных пляжей и барьерных островов во всем мире.

С повышением уровня моря штормовые нагоны будут способствовать усилению береговой абразии, что приведет к разрушению строений, а в отдельных случаях и к человеческим жертвам. Список противодействующих этому мероприятий невелик: строительство твердых конструкций и добавка песка по мере наступления моря или отступление в глубь суши, в том случае, когда море окружает оборудованные пляжи и барьерные острова. В то же время участки побережья, которые остаются незаселенными, будут приспособляться к изменениям, сохраняя свою неповторимую красоту.

Глобальные проблемы

УТОНЧАЕТСЯ ли озоновый слой под воздействием хлорфторуглеродов? Можно ли утверждать, что в результате парникового эффекта температура воздуха повышается и полярные льды начинают таять? Какие последствия окажет сведение тропических дождевых лесов на климат и саму жизнь? Чтобы ответить на эти вопросы, надо тщательно изучать нашу планету.

Ученые многих специальностей из многих частей света крайне заинтересованы в проведении таких исследований. В настоящее время начинается планирование работы в рамках Международной геосферной—биосферной программы (МГБП). Эта программа рассчитана на многие десятилетия, потребует многомиллионных затрат и может стать крупнейшим научным проектом из всех когда-либо предпринимавшихся. У. Гордон, иностранный секретарь Национальной академии наук США, говорит, что МГБП — «это наиболее важная вещь из всего, чем ученые займутся в текущем столетии». В апреле Академия наук назначила комитет, который должен будет контролировать участие Соединенных Штатов в этом проекте.

Согласно анализу, проведенному Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), воздействие человеческой деятельности на атмосферу, гидросферу, геосферу и биосферу «существенно изменит среду нашего обитания в течение жизни нескольких поколений». Важность этой получившей широкое распространение точки зрения заставила «осознать, что наука должна заявить о своих правах в данном вопросе». Такое мнение было высказано Дж. Маккарти из Гарвардского университета, председателем комитета, организованного Международным советом научных союзов с целью координации деятельности отдельных стран.

Один из вопросов, на котором концентрируются исследования по программе МГБП, — это содержание углекислого газа (диоксида углерода) в атмосфере. К середине XXI в. оно, вероятно, увеличится в два раза по сравнению с доиндустриальной эпохой, причем основными причинами этого станут сжигание ископаемого топлива и сведение тропических дождевых лесов. Считается, что вызванное этой деятельностью усиление «парникового эффекта» приведет к глобальному потеплению на 2—3 °С.

Сегодня, по-видимому, уже можно обнаружить такую тенденцию.

Вместе с тем явление, о котором идет речь, зависит и от факторов, лежащих вне сферы экономической деятельности человечества. Планктон в океанах, поглощающий значительную часть антропогенного диоксида углерода, в конце концов оседает на дно, где остается захороненным в течение миллионов лет. Размеры популяций планктона ограничены запасами питательных веществ, таких, как нитраты, концентрация которых особенно велика в тех местах, где глубинные воды поднимаются к поверхности. Подъем глубинных вод, называемый апвеллингом, связан с особенностями океанских течений. Течения же отчасти генерируются ветром, который в свою очередь зависит от способности атмосферы пропускать и поглощать излучение. Цикл диоксида углерода оказывается, таким образом, весьма сложным и изучен очень плохо. Еще меньше известно о других важных атмосферных газах, таких, как метан.

Для сбора сведений столь несхожего характера в рамках проекта МГБП будут объединены, вероятно, отдельные национальные и международные программы. Национальный научный фонд (ННФ) открыл программу «глобальных геонаук», для которой запросил на 1988 г. 64 млн. долл. НАСА планирует провести несколько экспериментов в области наук о Земле, включая запуск в 1991 г. американо-французского спутника, предназначенного для регистрации океанских течений. С других планируемых к запуску спутников будут вестись измерения концентрации планктона и скорости ветра над морской поверхностью. Оказывается на неофициальном уровне и поддержка программы НАСА, предусматривающей ускоренный вывод в космос геостационарных платформ.

И Белый дом, и конгресс, вероятно, поддержат научные проекты, которые объединяют широкий спектр научных задач. Пока энтузиазм налицо. НАСА и ННФ уже участвуют в проекте. Национальное управление по исследованию океана и атмосферы (НОАА), которое долгое время вело работы по исследованию климата, «серьезно обдумывает» вопрос о своем участии, как заявил Дж. Холл, директор бюро НОАА по исследованию климата и атмосферы. Министерство энергетики, участие которого в изучении проблемы атмосферного углекислого газа подвер-

галось серьезной критике, пересматривает свои планы. В указанном проекте могли бы принять участие Управление по охране окружающей среды, Национальная служба парков и даже военно-морской флот.

Издательство МИР предлагает:

**А. Гупта, Д. Лилли,
Н. Сайред
ЗАКРУЧЕННЫЕ
ПОТОКИ**

Перевод с английского
Монография зарубежных специалистов А. Гупты, Д. Лилли (США) и Н. Сайреда (Великобритания) посвящена экспериментальным и численным методам исследования внутренних закрученных течений. Рассмотрены вопросы, связанные со структурой течений при слабой и сильной закрутке, характеристики турбулентности, особенности колебательных явлений на выходе из закручивающих устройств, условия распада вихря и т. д. Особое внимание уделено вопросам горения в закрученных потоках. Рассмотрены вопросы практического использования закрученных потоков в различных отраслях техники: авиационной теплоэнергетике, химической технологии и т. д. Приведено описание и дан практический анализ различного рода технических устройств, в том числе вихревых горелок, циклонных камер, сепараторов, камер сгорания газотурбинных двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены вопросы математического моделирования процессов течения и горения с использованием современных моделей турбулентности и численных методов. Сделан анализ применимости этих методов. Подробно рассмотрены современные методы экспериментальных исследований с применением лазерной диагностики.

Для специалистов в области прикладной газовой динамики, теплообмена и теплоэнергетики.

1988, 36 л. Цена 5 р. 80 к.



Болезнь Лайма

Это опасное заболевание вызывается бактерией,
которая передается человеку с укусом оленьего клеща.

Развитие тяжелых симптомов артрита, нередко сопутствующих
болезни Лайма, возможно, опосредуется регулятором
деятельности иммунной системы интерлейкином-1

ГЭЙЛ С. ХАБИЧТ, ГРЕГОРИ БЕК,
ДЖОРДЖ Л. БЕНАЧ

БОЛЕЗНЮ Лайма обычно заражаются летом. Переносчиком этого бактериального заболевания является клещ, и с июня по сентябрь взрослые и дети, гуляя с голыми ногами по лесу или лугу с высокой травой, подвергаются нешуточной опасности. В последнее время болезнь Лайма диагностируется все чаще. В США (как, пожалуй, и во всем мире) она встречается больше всех других заболеваний, передаваемых клещами. В шт. Коннектикут в 1975 г. было зарегистрировано 59 случаев, а в 1985 г. число больных достигло 863. Сейчас болезнь Лайма отмечается уже в трех районах США: на северо-востоке (в прибрежной зоне), на севере Среднего Запада (штаты Миннесота и Висконсин) и на Западе (отдельные районы штатов Калифорния, Орегон, Юта и Невада). Ее регистрируют повсюду в Европе, а также в Австралии, Африке, в Китае, Японии и Советском Союзе.*

Поскольку болезнь Лайма может протекать очень тяжело, сопровождаясь разнообразными симптомами (от сильных головных болей до неврологических расстройств и нарушений, напоминающих ревматоидный артрит), понятно то беспокойство,

которое вызывает это заболевание на протяжении 12 лет, прошедших со времени описания первого случая. Историю изучения болезни Лайма, начиная с ее признания как особой нозологической формы и кончая выявлением патогенного фактора, следует считать выдающимся успехом современной медицины, увенчавшим целенаправленное сотрудничество множества различных специалистов.

Первое сообщение о болезни Лайма появилось в ноябре 1975 г. Тогда в Департамент здравоохранения шт. Коннектикут позвонили две женщины, у детей которых только что диагностировали ювенильный ревматоидный артрит. Их тревога была вполне оправданна: это разрушительное заболевание может до конца жизни причинять человеку тяжелые страдания, лишая его физических сил и трудоспособности. Служащих департамента обеспокоил не сам факт заболевания, а то, что, по словам позвонивших женщин, в городе Лайме диагноз «ревматоидный артрит» был недавно поставлен еще несколькими взрослым и детям. Работники здравоохранения пришли к выводу, что ситуация гораздо более серьезна, чем простое стечение обстоятельств: либо в окружающей среде присутствует какое-то токсичное вещество, либо это начало эпидемии.

СОТРУДНИКИ Департамента здравоохранения шт. Коннектикут связались с А. Стиром, который после защиты докторской диссертации по ревматологии работал во время описываемых событий в Медицинской школе Йельского университета, только что вернувшись из Атланты, где проходил курс обучения для работников эпидемиологической службы системы центров по борьбе с болезнями США. Стир заинтересовался необычной вспышкой ревматоидного артрита в Лайме и согласился

провести эпидемиологическое исследование.

Стир и его коллеги установили, что распространение болезни ограничивается тремя соседствующими территориями в восточном Коннектикуте — городами Олд-Лаймом, Лаймом и Ист-Хэддемом, расположенными на восточном берегу реки Коннектикут. Как правило, ювенильный ревматоидный артрит встречается довольно редко: он поражает в среднем одного из 100 тыс. детей. А в перечисленных трех городах с общим населением 12 тыс. человек это заболевание было диагностировано у 39 детей (и 12 взрослых), что в 100 раз выше обычного.

Притом оказалось, что заболеваемость населения в этих городах характеризовалась определенными закономерностями. Большинство заболевших проживало в тех кварталах, где много растительности, и лишь незначительное число больных — в центральных, малоозелененных районах. В Олд-Лайме и Ист-Хэддеме примерно половина всех заболевших являлись жителями всего четырех улиц, где заболеваемость детей в 10 тыс. раз превышала обычную: болезнью здесь был поражен каждый десятый ребенок. Стиру и его коллегам стало ясно, что они столкнулись не с обычной формой артрита. И хотя в своих исследованиях ученые мало чем могли руководствоваться, им удалось сделать несколько важных выводов.

Во-первых, болезнь, как выяснилось, не особенно заразна: члены одной семьи могут заболеть с интервалом в годы. Во-вторых, у подавляющего большинства больных первые симптомы появлялись летом — с июня по сентябрь. В-третьих, приблизительно четверть из опрошенных Стиром больных помнили, что за одну или несколько недель до развития первых признаков артрита на коже выступала странная сыпь. Эту сыпь

* На территории СССР наличие болезни Лайма доказано серологическими исследованиями сывороток крови реконвалесцентов из различных местностей, от Эстонии до Хабаровского края (см. Коренберг Э.И. и др. Серологическое выявление болезни Лайма в СССР. Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии, 1986, № 6, с. 111—113; Коренберг Э.И. и др. Материалы по распространению болезни Лайма в СССР. Медицинская паразитология и паразитарные болезни, 1987, № 2, с. 71—73). По-видимому, болезнь Лайма распространена в пределах ареала вируса клещевого энцефалита, а основные переносчики этого вируса, клещи *Ixodes ricinus* и *I. persulcatus*, являются и переносчиками возбудителя болезни Лайма. — Прим. ред.

все описывали одинаково: сначала возникает небольшая красная папула (узелок), которая постепенно увеличивается до 10—50 см в диаметре, образуя на коже характерный «бычий глаз». Поскольку такие высыпания располагались преимущественно на груди, животе, спине или ягодицах, исследователи предположили, что заболевание может передаваться ползающим насекомым или паукообразным, хотя ни один больной не мог ясно припомнить, что его кто-то кусал.

НА ОСНОВАНИИ этих фактов Стир заключил, что он имеет дело с ранее не идентифицированным заболеванием, которое, вероятно, вызывается вирусом и передается каким-то неизвестным членистоногим (членистоногие — это тип животных, к которому относятся насекомые, пауки и клещи). Так как впервые это заболевание наблюдали в городе Лайме, Стир назвал его лаймским артритом или болезнью Лайма. В 1975—1976 гг. он приступил к анализу сывороток крови пораженных

этим заболеванием людей. Проверилось присутствие специфических антител к возбудителям 38 известных заболеваний, передаваемых клещами, и 178 вирусам, передаваемым другими членистоногими. Ни один из тестов не дал положительных результатов.

Изучая болезнь и ее возможные причины, Стир обратил внимание на некоторые факты. Оказалось, что похожее заболевание было зарегистрировано в Европе в 1909 г. Шведский врач А. Афцелиус наблюдал у больных, укушенных клещом *Ixodes ricinus*, распространяющуюся красную сыпь на коже. Афцелиус назвал эту сыпь *erythema chronicum migrans*, что буквально означает «хроническая мигрирующая эритема».

Хроническая мигрирующая эритема, судя по описанию Афцелиуса, весьма похожа на сыпь в виде бычьего глаза, свойственную зараженным болезнью Лайма. Хотя хроническая мигрирующая эритема не сопровождалась симптомами артрита, характерными для болезни Лайма, Стир предположил, что эти два заболевания близкородственны и имеют сходные

механизмы передачи.*

В Европе хроническую мигрирующую эритему успешно лечили пенициллином. Это означало, что возбудителем заболевания является, вероятно, не вирус, а бактерия. Однако в жидкости, взятой из суставов людей, страдающих болезнью Лайма, и подвергнутой инкубации в условиях благоприятствующих росту микроорганизмов, таковых обнаружено не было. А тем временем число случаев заболевания продолжало расти.

Но вот в 1977 г. девять больных, у которых в этом году появилась хроническая мигрирующая эритема, вспомнили, что в том месте, где впо-

* Предположение об этиологической самостоятельности заболевания, возникшего после укуса клеща, характеризовавшегося «клещевыми» эритемами и дававшего отрицательные результаты при серологических исследованиях на клещевой энцефалит, высказывалось и ранее советскими специалистами (см., например, Уманский К.Г. и др. Существует ли эритематозная форма клещевого энцефалита? В сборнике «Клещевой энцефалит и другие арбовирусные инфекции», Москва—Минск, 1962, с. 182—183). — Прим. ред.



ПРЕДОСТЕРЕГАЮЩИЙ ЗНАК, установленный на Атлантическом побережье в Амагансетте (шт. Нью-Йорк) — один из многочисленных указателей подобного рода, размещенных по всему Лонг-Айленду в зонах распространения кле-

щей. Болезнь Лайма часто встречается в тех лесных районах, где в изобилии водятся млекопитающие, на которых кормятся клещи. При появлении первых симптомов этого опасного заболевания немедленно обращайтесь к врачу.



БОЛЕЗНЬ ЛАЙМА в США выявляется все чаще. В настоящее время она зарегистрирована уже в 25 штатах. (Наиболее неблагоприятные в отношении этого заболевания районы выделены цветом.)

следствии появилась сыпь, их укусил клещ. Один из пострадавших удалил клеща с кожи и сохранил его, а позже передал Стиру для идентификации. Темно-коричневый клещ, с твердым, чуть больше булавочной головки телом, мог легко сойти за корочку на ссадине или кусочек грязи. Неудивительно, что Смир с сотрудниками два года не могли обнаружить переносчика.

А. Спилмэн из Школы здравоохранения Гарвардского университета определил клеща как самостоятельный новый вид *Ixodes dammini**. Этот вид близкородствен *I. ricinus*, с которым связано распространение хронической мигрирующей эритемы в Европе. Выявив переносчика заболевания, ученые обрели надежду выделить ее возбудителя. Однако сначала нужно было убедиться, что болезнь Лайма действительно передается *I. dammini*. Если бы удалось показать, что территории распространения клещей и лаймского артрита совпадают, это было бы существенным косвенным доказательством.

Для того чтобы определить распространение иксодовых клещей вдоль реки Коннектикут и одновременно выяснить, на каких млекопитающих они кормятся, биологи из Йельского университета расставили по берегам реки ловушки. Выявлен-

ное распространение клещей полностью отвечало ожидавшемуся: собачий клещ *Dermacentor variabilis* одинаково часто встречался на обоих берегах, а обилие *Ixodes dammini* было в 12 раз выше на западном берегу — около городов Лайма, Олд-Лайма и Ист-Хэддема, в которых к тому времени лаймский артрит принял характер эпидемии. Теперь не вызывало сомнений, что основным переносчиком болезни Лайма является *I. dammini*.

ВОЗБУДИТЕЛЬ хронической мигрирующей эритемы и болезни Лайма, однако, оставался неизвестным. Никаких бактерий или других патогенных микроорганизмов ни в перевиваемых культурах клеток, ни во внутренних органах клеща, которые изучались под микроскопом, выявить не удавалось.

Осенью 1981 г. на острове Шелтер, расположенном недалеко от восточного побережья острова Лонг-Айленд, был зарегистрирован смертельный случай пятнистой лихорадки Скалистых гор. Возбудителем этого заболевания является микроорганизм из группы риккетсий, переносчиком — собачий клещ. Департамент здравоохранения шт. Нью-Йорк командировал на остров Шелтер группу биологов с целью собрать живых клещей. Поскольку осенью обычного переносчика пятнистой лихорадки, *Dermacentor variabilis*, в природных условиях нет, ученые собрали взрослых особей *Ixodes dammini* и передали их для дальнейшего изучения в Лабораторию Скалистых гор (г. Гамильтон,

шт. Монтана).

Здесь В. Бургдорфер — ученый с мировым именем, один из крупнейших специалистов по заболеваниям, передаваемым клещами, — исследовал методом темнопольной микроскопии кашичу, приготовленную из пищеварительного тракта *I. dammini*. К своему удивлению, он обнаружил в ней не риккетсий, вызывающих пятнистую лихорадку Скалистых гор, а длинных, неправильной формы бактерий — спирохет. Бургдорферу было известно, что клеща *I. dammini* рассматривают как возможного переносчика болезни Лайма и что спирохеты не вызывают пятнистую лихорадку. Он решил проверить, не являются ли обнаруженные им бактерии причиной болезни Лайма. А. Барбуру, работавшему в то время в Лаборатории Скалистых гор, удалось вырастить спирохет в чистой культуре и получить их в количестве, достаточном для дальнейших исследований.

Поскольку в сыворотке инфекционных больных присутствуют антитела, реагирующие с вызвавшим заболевание возбудителем, тест на антитела может служить надежным показателем инфекции. Бургдорферу были присланы образцы сыворотки, взятые от страдающих болезнью Лайма жителей Нью-Йорка, и тот проверил их на присутствие антител к спирохетам. В отличие от попыток Стира эти исследования дали положительные результаты: в образцах сыворотки наблюдалась выраженная реакция антител на спирохеты, говорившая о том, что больные были действительно заражены этими бактериями.

Более прямое исследование патогенности спирохет было проведено в экспериментах на кроликах. Зараженных спирохетами клещей помещали на выбритую кожу белых кроликов, и было видно, как они питаются кровью животных-хозяев. Спустя несколько недель у кроликов развивались поражения, аналогичные хронической мигрирующей эритеме, а под микроскопом в коже в месте прикрепления клеща были обнаружены живые спирохеты.

ПОСЛЕ ЭТОГО изучение болезни Лайма стало быстро прогрессировать. К лету 1982 г. сотрудники Департамента здравоохранения шт. Нью-Йорк и Йельского университета выделили спирохет из крови, кожи и спинномозговой жидкости людей, пораженных болезнью Лайма. Р. Джонсон и его коллеги из Медицинской школы Миннесотского университета на основании анализа ДНК установили, что спирохета, вызывающая болезнь Лайма, представляет

* Этот вид фигурирует в коллекциях, собранных начиная с 20-х годов на северо-востоке США и в прилегающих районах Канады, под другими названиями. — Прим. ред.

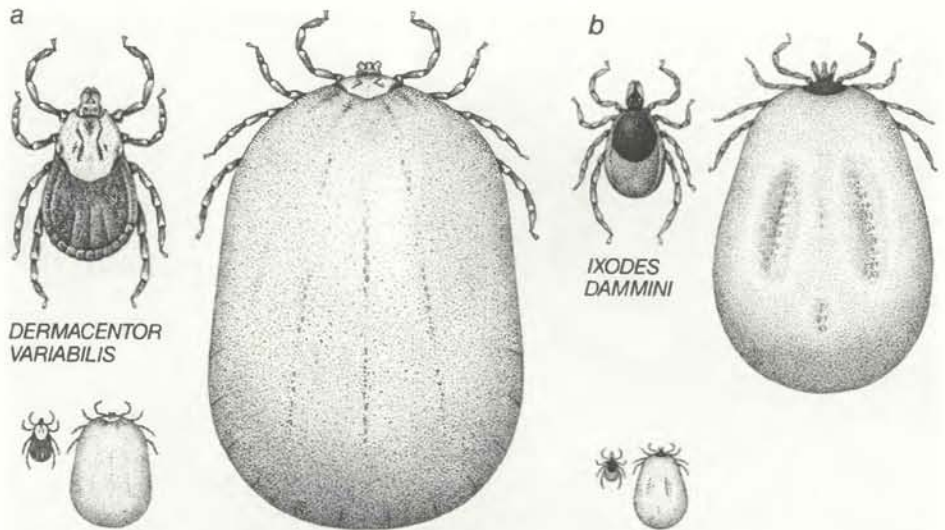
собой новый вид из рода *Borrelia*; в 1984 г. его назвали *Borrelia burgdorferi* в честь первооткрывателя микроорганизма В. Бургдорфера.

B. burgdorferi — это типичная спирохета: одноклеточный организм, имеющий форму слабо закрученной левый спирали. Длина клетки варьирует, в среднем составляя 30 мкм; в спирали, которую она образует, насчитывается 7 витков. Обнаружить *B. burgdorferi*, как и большинство других видов спирохет, очень трудно из-за ее малых размеров: диаметр клетки 0,18—0,25 мкм, так что она свободно проходит сквозь большинство фильтров, задерживающих прочих бактерий.

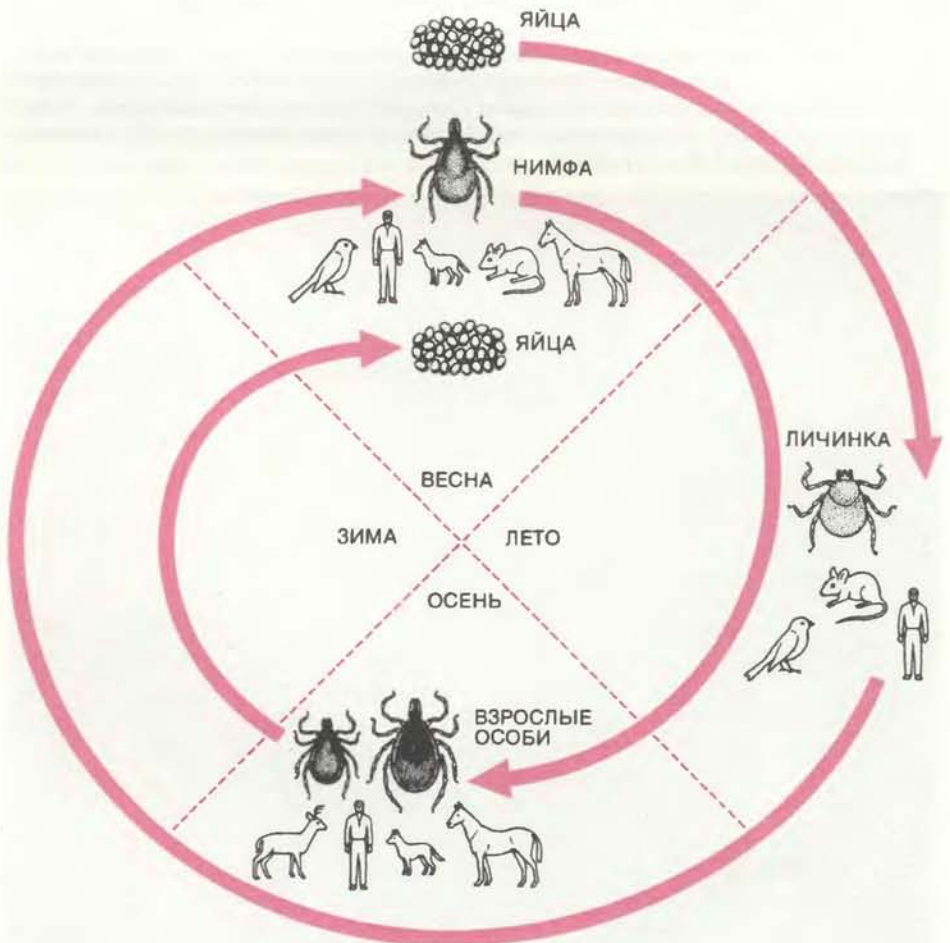
Идентифицировав возбудителя болезни, ученые приступили к изучению его распространения в природе. Э. Бослер из Департамента здравоохранения шт. Нью-Йорк обнаружил спирохету в тканях у нескольких видов млекопитающих, в том числе у полевых мышей, полевых и оленей, а также выявил ее у *I. dammini* на всех стадиях жизненного цикла.

Обнаружить спирохету в тканях млекопитающих непросто. Этот микроорганизм не только чрезвычайно мелок, но и, как правило, присутствует в тканях в очень небольшом количестве. Наиболее надежный метод выявления *B. burgdorferi* — обработка образца специфическими антителами к *B. burgdorferi*, мечеными флуоресцином. Эти антитела связываются со спирохетами и при освещении препарата ультрафиолетовым светом флуоресцируют, что позволяет определить присутствие даже малого числа микроорганизмов. Результаты исследований, проведенных с помощью этого метода, говорят о том, что попавшие в кровотоки спирохеты быстро разносятся кровью по всему организму: их находили в глазах, почках, селезенке, печени, семенниках и мозгу у различных млекопитающих, а также у некоторых видов птиц из группы воробьиных (судя по географии болезни Лайма, *B. burgdorferi* распространяется мигрирующими птицами с прикрепившимися к ним зараженными клещами).

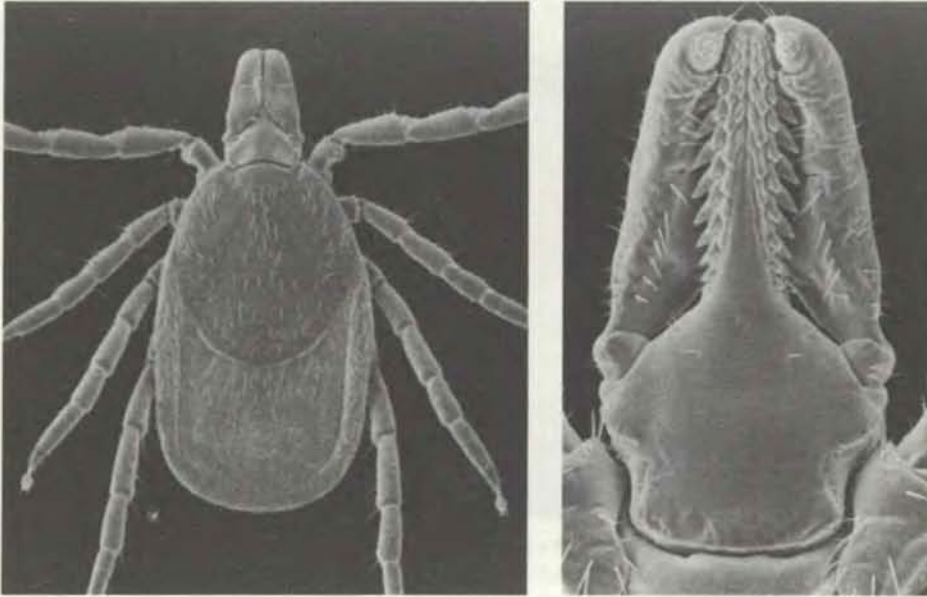
Спирохету *B. burgdorferi* в кишечнике *I. dammini* можно обнаружить методом микроскопии в темном поле или вырастив культуры микроорганизмов из содержимого кишечника клеща. Как показывают результаты исследований, проведенных по всему северо-атлантическому побережью США, в районах, высоко эндемичных по болезни Лайма, *B. burgdorferi* присутствует в пищеварительной системе 80—90% клещей рода *Ixodes*. На западном же побережье спирохетой заражены только 3% представителей



ОБЫЧНЫМИ ПЕРЕНОСЧИКАМИ инфекционных заболеваний в США являются: собачий клещ (*Dermacentor variabilis*; a), передающий возбудителя пятнистой лихорадки Скалистых гор, и олений клещ (*Ixodes dammini*; b), передающий возбудителя болезни Лайма. Клещи этих видов питаются кровью млекопитающих (в том числе человека). Внизу клещи обоих видов изображены в натуральную величину: слева — голодные клещи, справа — только что напивавшиеся кровью животного-хозяина. Вверху они же изображены в четырехкратном размере.



ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ клеща *Ixodes dammini* в Новой Англии длится два года. Весной самки откладывают яйца, а спустя несколько недель на свет появляются личинки (в отличие от взрослой особи у личинки шесть ног, и она практически неразличима невооруженным глазом). Летом личинка однократно питается, обычно на мелких млекопитающих, например на мышах. Личинка зимует, а следующей весной линяет, превращаясь в более крупную восьминогую нимфу. За лето нимфа также однократно питается кровью животного и осенью становится взрослой. Взрослые клещи прикрепляются к коже животного-хозяина (обычно это белохвостый олень), где и спариваются. Самцы погибают вскоре после спаривания, а самки еще некоторое время продолжают сосать кровь хозяина. Они зимуют, откладывают яйца и после этого погибают.



САМКА КЛЕЩА *Ixodes dammini*. Слева — целое животное (вид сверху, увеличение $\times 26$), справа — «головка» клеща (вид снизу, увеличение $\times 120$). Длинные членистые ноги снабжены на конце коготками и присосками, позволяющими клещу прикрепляться к коже животного-хозяина. «Головка» несет гипостом — крупный хоботок, который буравит кожу хозяина и, достигнув капилляра, перекачивает кровь в тело клеща. Вошедший в сосуд гипостом удерживается на месте с помощью имеющихся на его поверхности зубчиков. С обеих сторон хоботка расположены пальпы, представляющие собой органы чувств; они покрыты волосками и другими рецепторными структурами, при помощи которых клещ определяет местонахождение подходящего для него теплокровного хозяина. Фотографии получены с помощью растрового электронного микроскопа С. Хейесом, У. Бергдорфером и М. Корвином.



ПЕРВАЯ СТАДИЯ болезни Лайма обычно хорошо выражена у 60% людей, укушенных зараженными клещами *Ixodes dammini*. В месте укуса появляется небольшая красная папула, которая растет и в конце концов превращается в большое пятно с припухлостью в середине («бычий глаз»). Изображенное здесь пятно сыпи, появившееся на спине больного человека, имеет в диаметре 14 см. Фотография предоставлена Департаментом здравоохранения шт. Нью-Йорк.

*Ixodes**, что прямо коррелирует с гораздо меньшей распространенностью болезни Лайма в этой части страны.

ЖИЗНЕННЫЙ цикл *I. dammini* обычно длится два года. Весной самки откладывают яйца, из которых через месяц вылупляются свободно живущие личинки. На протяжении первого лета личинка клеща однократно питается кровью животного-хозяина (в течение двух дней) и с наступлением осенних холодов впадает в состояние покоя. Следующей весной личинка линяет, переходит во вторую неполовозрелую стадию (называемую нимфой) и вновь прикрепляется к животному-хозяину. Питание нимфы кровью хозяина продолжается 3—4 дня. Личинки и нимфы могут кормиться на самых разных животных, но в основном они паразитируют на белоногих хомячках (*Peromyscus leucopus*). Именно на этих стадиях развития клещи представляют наибольшую опасность для человека.

В конце лета нимфы линяют и превращаются во взрослых особей. Взрослых клещей можно найти в кустарнике, приблизительно в метре от земли, откуда им легко перебираться на крупных млекопитающих. Зрелые особи тоже могут питаться кровью различных млекопитающих; однако на северо-востоке США большинство их кормится на белохвостом олене (*Odocoileus virginianus*). На животном-хозяине осуществляется и спаривание клещей, которое происходит вскоре после прикрепления самки. Зимуют только самки; самцы погибают вскоре после спаривания. Куда самки откладывают яйца, не совсем ясно; так или иначе весной из них вылупляются личинки, и весь цикл повторяется заново.

Заразиться болезнью Лайма может всякий, кто попадает в местность, где заболевание эндемично. В отношении этой болезни не выявлено различий в восприимчивости: она одинаково поражает людей разного пола и возраста. Тот факт, что ею страдает, казалось бы, непропорционально большое число детей, объясняется скорее всего просто тем, что дети проводят среди растительности больше времени, чем взрослые. Риск заразиться болезнью Лайма выше также для тех, кто держит домашних животных. Не

* В западных штатах США вблизи тихоокеанского побережья переносчиком возбудителя болезни Лайма является клещ *Ixodes pacificus*, имеющий сходную с *I. dammini* экологию и относящийся к комплексу видов *I. ricinus*. В южных штатах США (Техас, Арканзас, Джорджия) в роли переносчика выступает третий вид, относящийся к этой же группе видов, — *I. scapularis*. — Прим. ред.

ясно, однако, связано ли это с тем, что хозяин домашнего животного чаще и дольше бывает «на свежем воздухе», гуляя со своим питомцем, или же с тем, что его могут кусать клещи, прикрепившись к шерсти животного. Помимо всего прочего, лаймская болезнь быстро превращается в серьезную проблему для ветеринарии: в эндемичных районах у собак и лошадей отмечаются поражения суставов, которые, по мнению специалистов, вызываются *B. burgdorferi*.

С КЛИНИЧЕСКОЙ точки зрения болезнь Лайма можно разделить на три стадии. Первая, наиболее ярко выраженная стадия характеризуется появлением на теле хронической мигрирующей эритемы через 2—30 дней после укуса клещом. Сыпь часто сопровождается чувством сильной усталости, лихорадкой, ознобом, головной болью и болями в спине. У некоторых больных, однако, перечисленные симптомы (в том числе эритема) не развиваются. В 25—50% случаев на коже в различных местах появляются вторичные высыпания. Поскольку в таких высыпаниях различные красные папулы в центре отсутствуют, они, по-видимому, обусловлены распространением спирохет по организму с кровью, а не повторными укусами клеща.

Вторая стадия заболевания (также не всегда выраженная) характеризуется развитием неврологических расстройств и мигрирующих скелетно-мышечных болей. Приблизительно у

5% пациентов возникают нарушения сердечной деятельности, продолжающиеся от 3 дней до 6 недель. У этих больных отмечаются сердцебиение, головокружение или одышка, связанные с аномальными электрическими импульсами в сердце (атриовентрикулярной блокадой), так что в некоторых случаях требуется даже временное применение водителей сердечного ритма.

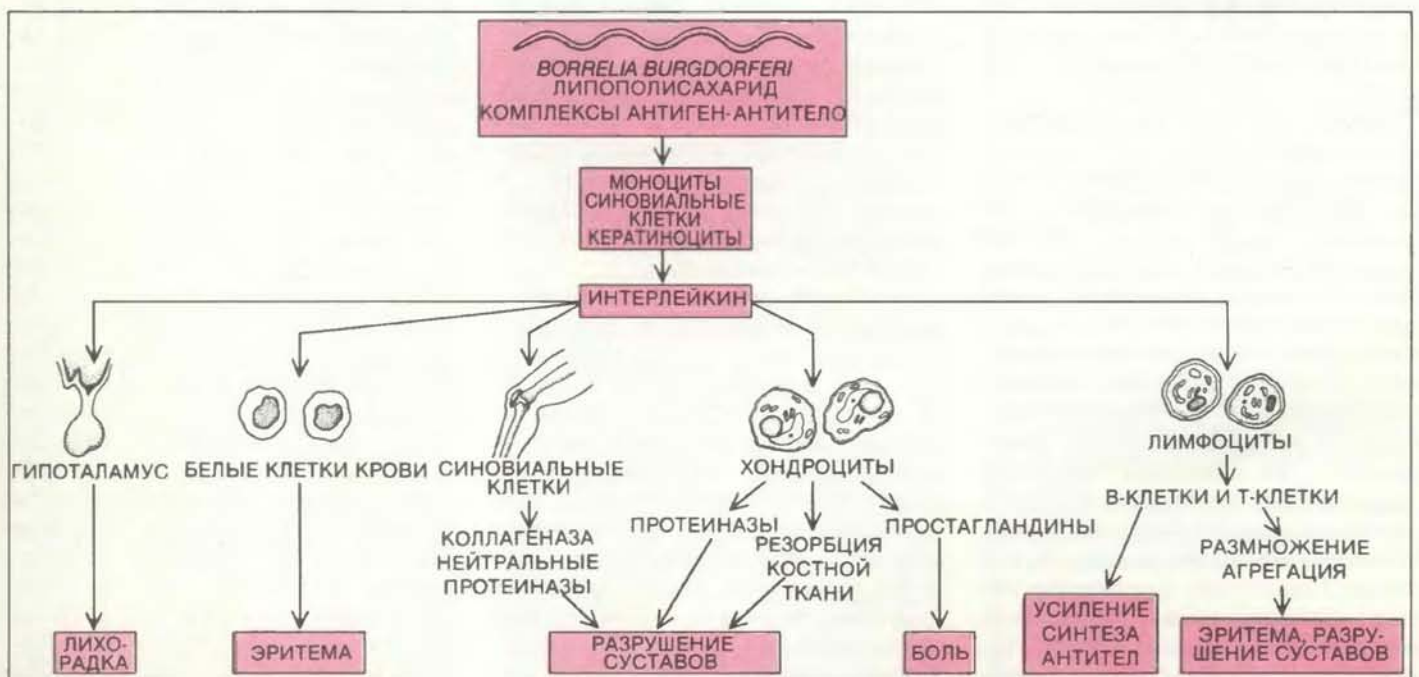
На третьей стадии заболевания обычно начинается артрит. Симптомы поражения суставов, характерные для ревматоидного артрита, развиваются приблизительно у 60% больных, не подвергавшихся до этого никакому лечению. Возникают эти симптомы, как правило, через несколько месяцев (не позже, чем через два года) после появления хронической мигрирующей эритемы. Приступы артрита, продолжающиеся от нескольких дней до нескольких недель, затрагивают преимущественно колени (из-за чего больной может испытывать серьезные трудности при ходьбе) и другие крупные суставы.

На всех стадиях болезни Лайма патологический процесс может захватывать нервную систему: у больных людей живых спирохет обнаруживали в спинномозговой жидкости и в ткани мозга. Мучительные головные боли и боли в области шеи, которые эпизодически возникают на первой стадии заболевания, по-видимому, обусловлены раздражением мозговых оболочек. На второй стадии заболевания у 15% больных развиваются

более серьезные неврологические расстройства, в том числе менингит, воспаление корешков шейных нервов и паралич Белла (паралич седьмого черепно-мозгового нерва, иннервирующего многие лицевые мышцы). В некоторых случаях отмечается увеличение чувствительности кожи к прикосновениям или изменению температуры. На третьей стадии заболевания отдельные больные испытывают сонливость, провалы в памяти, быструю смену настроений, теряют способность сосредоточиться.

К СЧАСТЬЮ, болезнь Лайма на любой стадии с успехом поддается лечению антибиотиками широкого спектра действия, включая пенициллин, тетрациклин и эритромицин, которые можно принимать просто перорально. В последнее время получены данные, свидетельствующие, что эффективны также антибиотики типа цефалоспорины. Если лечение начато уже на первой стадии, значительно снижается вероятность развития неврологических, сердечных и артритоподобных осложнений. У большинства пациентов болезнь Лайма полностью излечивается даже на третьей стадии, но в этих случаях бывает необходима госпитализация и антибиотики нужно вводить внутривенно.

Врачи, которым приходилось лечить болезнь Лайма, сталкивались с необычным феноменом. Сразу же после курса антибиотиковой терапии наблюдалось временное обострение



ЛИПОПОЛИСАХАРИД спирохеты *Borrelia burgdorferi* стимулирует выделение макрофагами интерлейкина-1, играющего важную роль в патогенезе болезни Лайма. Интерлейкин-1, действуя на различные клетки и ткани ор-

ганизма, вызывает сыпь, лихорадку и артрит, характеризующие соответственно первую, вторую и третью стадии болезни Лайма. (В верхней части рисунка изображена спирохета, увеличенная в 1000 раз).

симптомов заболевания. Подобное явление, известное под названием реакции Яриша—Герксгеймера, впервые наблюдалось у больных сифилисом, которых в XVI в. лечили ртутными препаратами. Сифилис также вызывается спирохетой (*Treponema pallidum*) и имеет с болезнью Лайма много общих симптомов (сыпь, поражение суставов и неврологические расстройства). Реакция Яриша—Герксгеймера описана и после лечения других вызываемых спирохетами инфекционных заболеваний, например возвратного тифа. Обнаружение реакции Яриша—Герксгеймера при болезни Лайма во многом способствовало пониманию ее патогенеза.

Вызывает интерес тот факт, что, хотя при болезни Лайма в организме присутствует сравнительно немного спирохет, у зараженных людей возникает множество самых разнообразных симптомов. Для объяснения этого обстоятельства были предложены две гипотезы о патогенезе болезни Лайма; в обеих основное внимание уделяется деятельности иммунной системы организма. Первая из них предполагает, что в суставах больного человека постепенно накапливаются комплексы антигенов спирохеты с антителами и комплементом организма-хозяина. Скопление этих комплексов привлекает нейтрофилы (один из видов фагоцитирующих белых клеток крови), которые выделяют ряд ферментов, воздействующих на комплексы антиген—антитело. Согласно этой гипотезе, поражение суставов и разрушение костной и хрящевой ткани, обуславливающие развитие симптомов артрита, происходят в результате действия ферментов, выделяемых нейтрофилами.

Вторая гипотеза сформулирована на основании данных, полученных в нашей лаборатории в Университете шт. Нью-Йорк в Стони-Бруке. Мы полагаем, что патогенное действие спирохет на организм человека усиливается не только ферментами, секретруемыми нейтрофилами, но также веществом — посредником иммунной системы, носящим название интерлейкин-1. Это вещество представляет собой белок молекулярной массой 17 000 дальтонов. Оно синтезируется главным образом фагоцитирующими белыми клетками крови, называемыми макрофагами. Интерлейкин-1 выполняет функции регулятора иммунного ответа организма, действуя на молекулярном уровне как своего рода «дирижер» неспецифических защитных механизмов против различных неблагоприятных внешних факторов. Он координирует реакции организма на бактериальные ин-

фекции и травмы, опосредуя развитие лихорадки, выход нейтрофилов из костного мозга и размножение фибробластов (клеток соединительной ткани).

Одним из наиболее сильных стимуляторов секреции интерлейкина-1 синтезирующими его клетками является липополисахарид (комплекс из молекул углеводов и липидов), находящийся во внешнем слое клеточной стенки всех так называемых грамотрицательных бактерий. Поскольку *B. burgdorferi* относится к грамотрицательным бактериям, мы предположили, что в ее состав входит липополисахарид, способный инициировать выделение интерлейкина-1, вызывающего в свою очередь в организме человека мощные местные и генерализованные ответные явления.

Свою гипотезу мы проверяли с различных сторон. Прежде всего следовало убедиться, что в клеточной стенке *B. burgdorferi* действительно содержится такой липополисахарид. С этой целью мы получили массовую культуру спирохет и подвергли микроорганизмы соответствующему анализу. Показав, что липополисахарид в спирохетах присутствует, мы попытались выделить его методом химического экстрагирования. В результате такой работы удалось получить очищенные экстракты липополисахарида *Borrelia*, что давало возможность экспериментальной проверки гипотезы.

МЫ ПРОВЕЛИ две серии опытов. В первой серии людям и кроликам вводился очищенный липополисахарид спирохеты. Эффект был поразительным: у кроликов через несколько часов после внутривенной инъекции липополисахарида начиналась лихорадка, а после подкожной появлялась сыпь, похожая на хроническую мигрирующую эритему. У людей, которым липополисахарид вводили подкожно, также возникали характерные высыпания.

Во второй серии опытов изучалось действие *B. burgdorferi* на макрофаги человека *in vivo* и *in vitro*. Оказалось, что, если макрофаги растут в культуре совместно с клетками спирохеты, они синтезируют большое количество интерлейкина-1. Кроликам внутривенно вводили интерлейкин-1, либо *B. burgdorferi*, либо липополисахарид, после чего изучали тонкие срезы кожи. Выяснилось, что все три агента способны вызывать в коже острый воспалительный процесс. По нашему мнению, появлением в организме свободного интерлейкина-1 можно объяснить и поражение кожи, и лихорадку, развивающиеся у больных людей.

Мы полагаем также, что интерлей-

кин-1, секретруемый макрофагами в присутствии спирохет, принимает непосредственное участие в возникновении симптомов артрита на третьей стадии болезни Лайма. В культуре клеток синовиальной оболочки человека (внутренняя выстилка суставов, например коленного сустава) добавление интерлейкина-1 стимулирует синтез фермента коллагеназы и соединения из группы простагландинов. Оба эти вещества способствуют развитию артрита. Коллагеназа расщепляет коллаген, являющийся основным компонентом соединительной ткани суставов; а деградация коллагена ведет к разрушению сустава, причем характер этого разрушения весьма напоминает поражение суставов при тяжелых случаях болезни Лайма. Простагландин способствует артритным болям. В наших экспериментах установлено, что синовиальные клетки, полученные от людей, страдающих болезнью Лайма, в присутствии *B. burgdorferi* или экстрактов ее липополисахарида секретируют интерлейкин-1.

В рамках нашей гипотезы естественным явлением представляется реакция Яриша—Герксгеймера, отмечающаяся у некоторых больных лаймским артритом после лечения: вследствие введения антибиотика, вызывающего гибель большого числа спирохет, в крови появляется значительное количество свободного липополисахарида и стимулируется образование интерлейкина-1.

В БОЛЕЗНИ Лайма еще много непонятого. До сих пор отсутствовали надежные методы борьбы с этим заболеванием. Наиболее действенным средством защиты являются соблюдение мер предосторожности в районах, где распространены клещи-переносчики, и раннее выявление первых признаков заболевания. Полученные нами данные об участии интерлейкина-1 в развитии болезни Лайма важны для медицины, даже если они и не пригодятся для разработки методов борьбы именно с этим недугом. Изучив физиологическую реакцию организма на инфекцию, мы выяснили, каким образом возбудитель инфекционного заболевания приводит в действие сложную последовательность событий и каким образом локально появление такого мощного биологического регулятора, как интерлейкин-1, может вызывать воспалительные процессы, характерные для лаймского артрита. Будем надеяться, что эти представления окажутся полезными при изучении других форм артрита пока неизвестной этиологии.

Призыв к срочным мерам

ПО МЕРЕ ТОГО как в США больных синдромом приобретенного иммунного дефицита (AIDS, или СПИД) становится все больше, в районах, где число жертв этой болезни велико, обнаруживается нехватка больниц. Недавно было предложено перевести некоторые больницы Нью-Йорка и Сан-Франциско на обслуживание исключительно больных СПИД'ом. Издержки от этой болезни, как предполагается, только в одном Нью-Йорке ежегодно до 1991 г. будут составлять примерно 1 млрд. долл. Одна только государственная больница общего типа в Сан-Франциско в этом году должна обслужить 18 тыс. амбулаторных больных СПИД'ом.

Какое же количество людей станет жертвами этой эпидемии и как быстро она будет распространяться? Никто не знает. Даже по самым осторожным оценкам общее число больных СПИД'ом в США к концу 1991 г. составит 300 тыс. человек. Как показали исследования, проведенные Управлением по научно-технической оценке при конгрессе США, общие издержки в связи с распространением СПИД'а (с учетом снижения производительности труда) в 1991 г. в целом по стране составят свыше 66 млрд. долл.

Неопределенность порождает всеобщий страх, что усиливается неизвестностью природы вируса СПИД. В феврале этого года С. Колгейт, научный сотрудник Лос-Аламосской национальной лаборатории, направил исполнительному вице-президенту фирмы AT&T Bell Laboratories, председателю Ученого совета при Белом доме С. Бухсбауму разработанную им математическую модель распространения болезни. По модели Колгейта число заразившихся в США примерно через 9 лет составит десятую часть населения, даже если допустить, что каждые 4 года интенсивность передачи болезни будет уменьшаться вдвое (за счет более строгого соблюдения норм половой жизни). Он призвал к тому, чтобы в связи с эпидемией в стране всенародно было объявлено чрезвычайное положение и были мобилизованы все средства на борьбу с болезнью, включая всеобщее санитарное просвещение и периодическую проверку на присутствие вируса СПИД. Взгляды Колгейта вскоре привлекли внимание руководства Национального совета по научным исследованиям, а также находящегося в

его введении Института медицины.

Бухсбаум ответил, что значительная часть мужчин и женщин, состоящих в моногамном супружеском союзе, не проявит особой встревоженности и не поддержит эти меры. Тогда Колгейт направил свое послание непосредственно каждому члену Ученого совета. Решение президента Рейгана призвать к более широкой проверке населения на присутствие вируса СПИД и создать специальную комиссию при президенте свидетельствует о нарастающей озабоченности государственной администрации.

Тем временем Колгейт вместе со своими сотрудниками — Дж. Химаном, Э. Стенли и Т. Марром — пытается с помощью суперкомпьютера создать детальную модель, которая будет способна прогнозировать масштабы зараженности, в основном половым путем и при внутривенном введении наркотиков, с учетом частоты случаев заражения по этим причинам. В окончательном виде модель включает в себя такие показатели, как число браков и разводов, частота половых контактов и степень распространенности гомо- и гетеросексуальных половых связей.

Рассматриваемая модель способна отражать изменение заразности индивидуума во времени: после кратковременного пика в первичный период инфекции способность заразить другого человека, как принято считать, резко снижается, а затем вновь возрастает, когда появляются явные признаки болезни, часто через 5—7 лет. Как утверждают исследователи из Лос-Аламосской национальной лаборатории, до сих пор заражение СПИД'ом в большинстве случаев происходило в период начального пика заразности; заражение на более поздних стадиях может привести к еще более интенсивному распространению инфекции.

По мнению упомянутой группы ученых, результаты их предварительных исследований дают основание полагать, что «безопасность мужчин и женщин, ведущих гетеросексуальную половую жизнь, в значительной степени иллюзорна»; такое представление возникло из-за того, что в различных группах населения период распространения болезни не одинаков. По словам ученых, когда уровень заражения достигает 10—15%, «здоровье общества начинает славеть».

В целом пока все же мало доказательств катастрофического распространения инфекции в США за пределами групп населения с повышенным

риском заражения, Те, кто критически настроен по отношению к работе Колгейта, также указывают, что в его модели не учтено сдерживающее влияние социальных барьеров между отдельными группами населения. Колгейт допускает, что принятую им длительность начальной стадии возможно, следует удвоить, а ученые из Лос-Аламоса считают, что социальные барьеры способны лишь временно задержать, но не прекратить распространение болезни.

М. Морган, руководитель программы сбора и обработки статистических данных о СПИД'е, осуществляемой Центрами по борьбе с болезнями (ЦББ), указывает, что, хотя модели могут оказаться полезными при разработке стратегии, к любым предсказаниям «следует относиться крайне осторожно», поскольку они сильно зависят от лежащих в их основе допущений. Эпидемиологи из ЦББ, оценивая выводы Колгейта, сомневаются в том, что все уже зараженные СПИД'ом, по-видимому, умрут; судя по словам Моргана, официальные представители ЦББ считают, что через пять лет от СПИД'а умрет лишь 20—30% из числа зараженных, но со временем эта доля будет расти. Морган «не хотел бы сказать, что ученые из Лос-Аламоса ошибаются».

Издательство
МИР
предлагает:

М. Годен
**ВОЛНОВАЯ
ФУНКЦИЯ БЕТЕ**

Перевод с французского
Монография французского математика посвящена методу точного решения обширного класса моделей квантовой механики и статистической физики. Обсуждаются связи с квантовым методом обратной задачи, приводятся недавно полученные результаты.

Для специалистов по алгебрам и группам Ли, теории представлений, функциональному анализу.

1987, 20 л. Цена 2 р. 60 к.



Холодный ядерный синтез

Мюоны — частицы, во многом подобные электронам, — могут катализировать ядерные реакции синтеза, тем самым устраняя необходимость в мощных лазерах и высокотемпературной плазме.

Не исключено, что этот процесс когда-нибудь будет использован для производства энергии

ЯН РАФЕЛЬСКИЙ, СТИВЕН Е. ДЖОУНС

УПОМИНАНИЕ о ядерном синтезе, как правило, вызывает ассоциации с огромными магнитами, мощными лазерами и раскаленной до солнечных температур плазмой. Все это создает те экстремальные условия, в которых происходят реакции синтеза — слияние пар ядер водорода с образованием гелия и выделением значительной энергии, которую можно преобразовать в электроэнергию. Внешние проявления менее известного, но, может быть, более перспективного процесса синтеза, называемого мюонным катализом, совсем иные: для него вовсе не нужны высокие температуры.

Мюонный катализ, называемый также холодным синтезом, может идти при комнатных температурах в обычной камере, содержащей определенные виды атомов водорода — дейтерий и тритий. Отрицательно заряженные мюоны вводят в камеру, где они образуют тесно связанную систему с ядрами некоторых атомов водорода. Связанные мюоном ядра водорода затем сливаются, а мюон высвобождается и поэтому может катализировать последующие реакции синтеза. Остальные атомы водорода в процессе не участвуют; только немного повышается температура всего газа. Тепловая энергия, выделяющаяся при мюонном катализе реакций синтеза, когда-нибудь, возможно, заставит вращаться турбины, преобразующие ее в электроэнергию.

Мюонный катализ не ограничен комнатными температурами. Он идет в жидком и твердом водороде при температурах до 13 К и в газообразном — до температур 530 °С. Недавние исследования показали, что наиболее эффективным процесс будет при температуре около 900 °С.

Объекты, лежащие в основе мюонного катализа, — мюоны — представляют собой короткоживущие элемен-

тарные частицы. В естественных условиях они встречаются во вторичных космических лучах, возникающих при столкновениях первичных космических лучей с ядрами атомов в верхних слоях атмосферы. Мюоны можно получать искусственным путем, направляя пучок ускоренных ионов (электрически заряженных атомов) на мишень из обычного вещества, например углерода. В столкновениях с ядрами атомов мишени возникают частицы, называемые пионами, которые быстро распадаются, образуя мюоны. Это очень напоминает процесс, происходящий в верхних слоях атмосферы при бомбардировке ее космическими лучами.

Мюоны могут быть положительно или отрицательно заряженными. Отрицательный мюон по своим свойствам очень напоминает электрон с той лишь разницей, что он примерно в 207 раз тяжелее. Как мы увидим, именно большая масса мюона дает ему возможность катализировать ядерные реакции синтеза.

Пока невозможно создать реактор холодного синтеза, который вырабатывал бы больше энергии, чем к нему подводится. Основным препятствием является короткое время жизни мюона, который распадается в среднем через 2 мкс после рождения. За свою недолгую жизнь каждый мюон должен успеть катализировать столько реакций синтеза, чтобы можно было возместить энергетические затраты ускорителя, производящего мюоны.

До недавнего времени эта цель казалась недостижимой. Однако теоретические и экспериментальные исследования последних лет показали, что при определенных условиях один мюон может катализировать более ста реакций синтеза, что раньше представлялось невозможным. Полагают, что холодный синтез может стать экономически выгодным спосо-

бом производства энергии.

ВОЗМОЖНОСТЬ мюонного катализа ядерных реакций была теоретически обоснована Ф. Франком и А. Д. Сахаровым в конце 40-х годов. Экспериментально он был случайно обнаружен через 10 лет после этого. Л. Альварес с коллегами из Калифорнийского университета в Беркли, анализируя результаты своих экспериментов (не имеющих прямого отношения к мюонному катализу), обнаружил необычные треки на фотопластинках, фиксирующих процессы в пузырьковой камере. Исследователи из Беркли не знали работ Франка и Сахарова, но с помощью Э. Теллера пришли к заключению, что необычные треки на фотопластинке принадлежат продуктам реакции синтеза, катализированной мюоном.

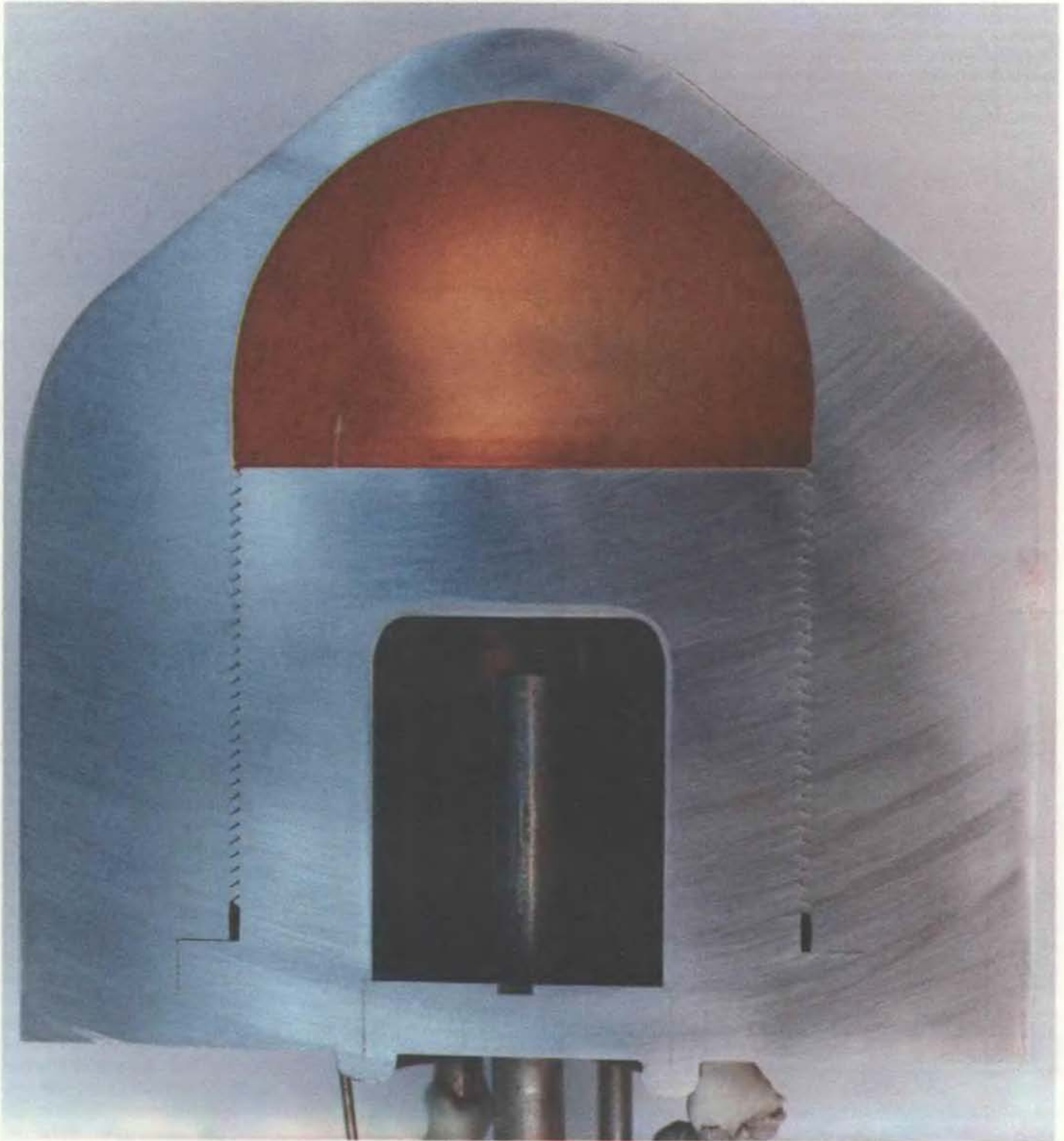
Сначала открытие вызвало буквально взрыв энтузиазма. В своей нобелевской речи Альварес отметил: «Мы пережили короткий, но волнующий период, когда нам казалось, что все энергетические проблемы человечества решены навсегда». К сожалению, впоследствии расчеты показали, что реакции, которые он наблюдал, были слишком медленные, чтобы их можно было использовать для производства энергии: мюону до распада в среднем едва хватало времени для катализа одной реакции синтеза; при этом выделялось слишком мало энергии, чтобы обеспечить катализ последующих реакций синтеза. Большинство исследователей сосредоточили свое внимание на других методах осуществления управляемого синтеза.

Тем не менее некоторые все-таки продолжали исследовать мюонный катализ. Было найдено, что катализ реакций синтеза может происходить не только в процессе, который первоначально был обнаружен. Ученые из группы Альвареса наблюдали реак-

ции синтеза между дейтерием и обычным водородом, однако стало ясно, что мюонный катализ реакций синтеза ядер дейтерия и трития может про-

текать гораздо быстрее. В. П. Дзельцов и его сотрудники из Объединенного института ядерных исследований (Дубна, СССР) экспериментально об-

наружили, что скорость такого процесса сильно зависит от температуры, причем при высоких температурах каждый мюон может катализиро-



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА для исследований реакций холодного синтеза (показана в разрезе). Реакции происходят в камере синтеза, имеющей форму полусферы, покрытой внутри тонким слоем золота (*вверху*); ее диаметр примерно 5 см. По тонкой трубке в камеру поступает смесь дейтерия и трития. Пучок отрицательно заряженных мюонов направляется сверху на коническую верхушку установки; он попадает в камеру синтеза сквозь оболочку установки из нержавеющей стали. Мюоны выступают в роли катализатора ядерных реакций, заставляя сливаться ядра дейтерия и трития; при этом высвобождается энер-

гия и образуются гелий и нейтроны. Через толстую трубку в полость, врезанную под камерой синтеза (*внизу*), поступают сжиженные газы. Они охлаждают камеру, чтобы можно было исследовать зависимость скорости мюонного катализа от температуры. Примерно такого вида, но больший по размерам, реактор мог бы производить энергию на мезокаталитической электростанции. Установка, показанная здесь, разработана О. Каффри и К. Уаттсом из Национальной инженерной лаборатории шт. Айдахо при содействии М. Пачиотти и Р. Малтруда из Лос-Аламосской национальной лаборатории.

вать гораздо больше реакций синтеза*.

Теоретическая модель, объяснив-

* В 1964—1966 гг. В. П. Дзепелев с сотрудниками обнаружил температурную зависимость скорости образования мезомолекул в чистом дейтерии. В 1975 г. В. П. Дзепелев, В. Г. Зинов и другие впервые подтвердили экспериментально предсказание о большой скорости образования мезомолекул в смеси дейтерия и трития. Эта работа стала одним из стимулов, побудившим Джоунса и других ученых начать свои исследования. — *Прим. перев.*

шая эти результаты, была разработана в 1967 г. Э. А. Весманом из Академии наук Эстонской ССР. В 1977 г. С. С. Герштейн, Л. И. Пономарев со своими коллегами из Дубны на основе модели Весмана пришли к выводу, что при определенных температурах и давлениях мюонный катализ дейтерия и трития в смеси должен протекать гораздо быстрее (может быть, в 1000 раз), чем процесс, наблюдавшийся первоначально. Это предсказание стимулировало одного из нас (Джоунса) начать со своими коллегами экспериментальные исследования мюон-

ного катализа в дейтерий-тритиевой смеси.

ЧТО ЖЕ происходит, когда пучок отрицательных мюонов попадает в камеру с дейтерием и тритием? Чтобы это понять, надо прежде представить, чем дейтерий и тритий отличаются от обычного водорода.

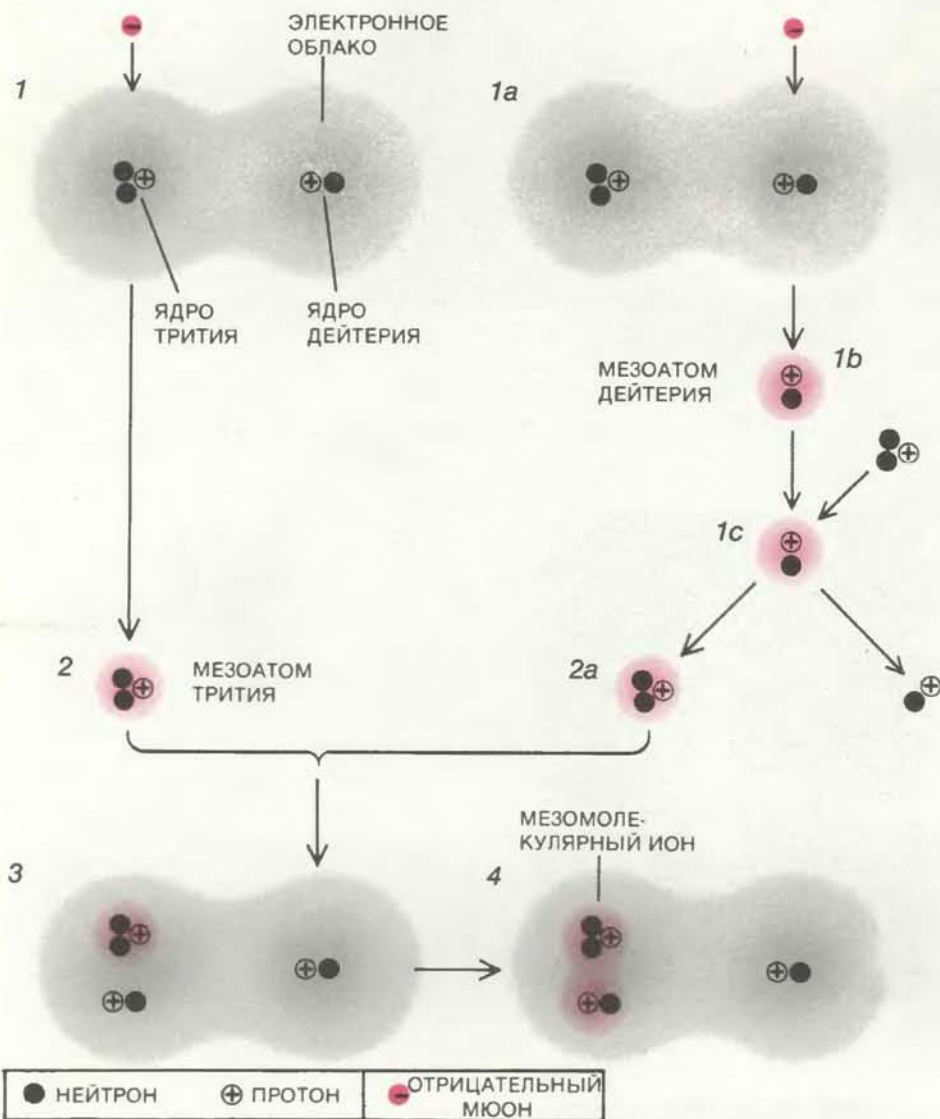
Ядро атома обычного водорода состоит всего из одного протона: тяжелой положительно заряженной частицы. В ядре атома дейтерия кроме протона присутствует связанный с ним нейтрон, который несколько тяжелее протона и не имеет электрического заряда. Ядро трития состоит из протона и двух нейтронов. Вокруг всех этих ядер вращается электрон (который отрицательно заряжен).

Как и обычные атомы водорода, атомы дейтерия и трития объединяются попарно, образуя молекулу. В каждой молекуле положительно заряженные ядра связаны электронами, образующими единое электронное «облако». В смеси дейтерия и трития некоторые молекулы состоят из двух атомов дейтерия, другие — из двух атомов трития, но есть и такие, в которых атом дейтерия объединен с атомом трития. Ядра атомов в таких молекулах находятся на относительно больших расстояниях друг от друга; оно примерно в 30 тыс. раз больше радиуса самих ядер.

Отрицательно заряженный мюон, путешествующий с большой скоростью в смеси дейтерия и трития, замедляется в результате столкновений с электронами в молекулах. В результате таких столкновений электроны обычно выбиваются из молекул. Вскоре мюон настолько замедляется, что, вытесняя электрон, может быть сам захвачен на орбиту, подобную электронной. Однако почти мгновенно он перескакивает на орбиту, более близкую к одному из ядер в молекуле.

Именно из-за своей большой массы мюон может вращаться так близко к ядру. Обычно отрицательно заряженные частицы, такие, как электроны или мюоны, могут находиться только на совершенно определенных орбитах вокруг ядер. По законам атомной физики размер наименьшей орбиты частицы обратно пропорционален ее массе. Поскольку мюон в 200 раз тяжелее электрона, он занимает орбиту, которая в 200 раз ближе к ядру, чем электронная.

Когда мюон попадает на такую орбиту, молекула, которую он «окупирует», разваливается; при этом высвобождается мезоатом (мюон с ядром, вокруг которого он вращается), который движется с небольшой скоростью. Ядром в мезоатоме может



НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ мюонного катализа ядра дейтерия и трития сближаются на необычно малые расстояния. Сначала мюон захватывает молекулу, состоящую из двух ядер, которые связаны электронным облаком. Мюон может столкнуться с ядром трития (1), тогда вследствие законов квантовой механики мюон из-за своей большой массы попадает на очень близкую к ядру орбиту, образуя так называемый мезоатом трития (2). В альтернативном варианте (1a) мюон может столкнуться с ядром дейтерия, образуя мезоатом дейтерия (1b). В последующих столкновениях (1c) он может быть перехвачен ядром трития с образованием мезоатома трития (2a). Затем мезоатом трития проникает в электронное облако другой молекулы и сталкивается с ядром дейтерия (3). Ядра трития, дейтерия и мюон объединяются в молекуле, образуя мезомолекулярный ион, в котором мюон удерживает ядра так же, как электрон в обычной молекуле (4). Из-за большой массы мюона ядра в мезомолекулярном ионе находятся друг от друга на расстояниях, примерно в 200 раз меньших, чем в обычной молекуле.

быть ядро дейтерия или трития. Поскольку ядро трития более тяжелое, оно может связать мюон сильнее, чем ядро дейтерия. По этой причине мюоны, которые первоначально были связаны с ядрами дейтерия, в результате последующих столкновений перехватываются ядрами трития. Можно создать такие условия, что все эти события, которые приводят к образованию мезоатома трития, будут происходить за время, равное примерно 1/1000 времени жизни мюона.

ПРОЦЕССЫ, происходящие на начальных стадиях мюонного катализа, протекают по законам атомной физики. Последующая цепь событий развивается по законам молекулярной физики.

Мезоатом трития представляет собой малый, электрически нейтральный объект, который свободно «бродит» в газообразной смеси дейтерия и трития, легко проникая в электронные облака молекул газа. Когда мезоатом подходит к ядру дейтерия в обычной молекуле, он может образовать с ним так называемый мезомолекулярный ион. В мезомолекулярном ионе мюон объединяет два ядра (в рассматриваемом случае — ядра дейтерия и трития) таким же образом, как электроны связывают ядра в обычной молекуле. Однако мюон может «подтащить» ядра гораздо ближе друг к другу, чем электрон, так как он намного тяжелее электрона. Расстояние между ядрами в мезомолекуле, как правило, примерно в 200 раз меньше, чем в обычной молекуле.

Небольшой мезомолекулярный ион может «угнездиться» в обычной молекуле. Поскольку мезомолекулярный ион в целом положительно заряжен (он содержит два положительно заряженных протона и только один отрицательно заряженный мюон), он занимает место одного из положительно заряженных ядер в обычной молекуле. В результате мезомолекулярный ион оказывается связанным с одним из оставшихся ядер дейтерия или трития посредством электронов точно так же, как два ядра в мезомолекулярном ионе связаны между собой мюоном.

Скорость образования мезомолекулярного иона является одной из ключевых характеристик, определяющих число реакций синтеза, которые может катализировать мюон. При этом большую роль играет молекула, в которой удерживается мезомолекулярный ион.

В течение многих лет считалось, что образование мезомолекулярного иона — медленный процесс. Причина этого — энергия связи мезомолеку-

лярного иона, т. е. то количество энергии, которую пара ядер должна отдать при образовании мезомолекулярного иона (или количество энергии, которую нужно сообщить ядрам, чтобы они разъединились). Мезомолекулярный ион не может образоваться, если посредством какого-то механизма не забрать энергию связи.

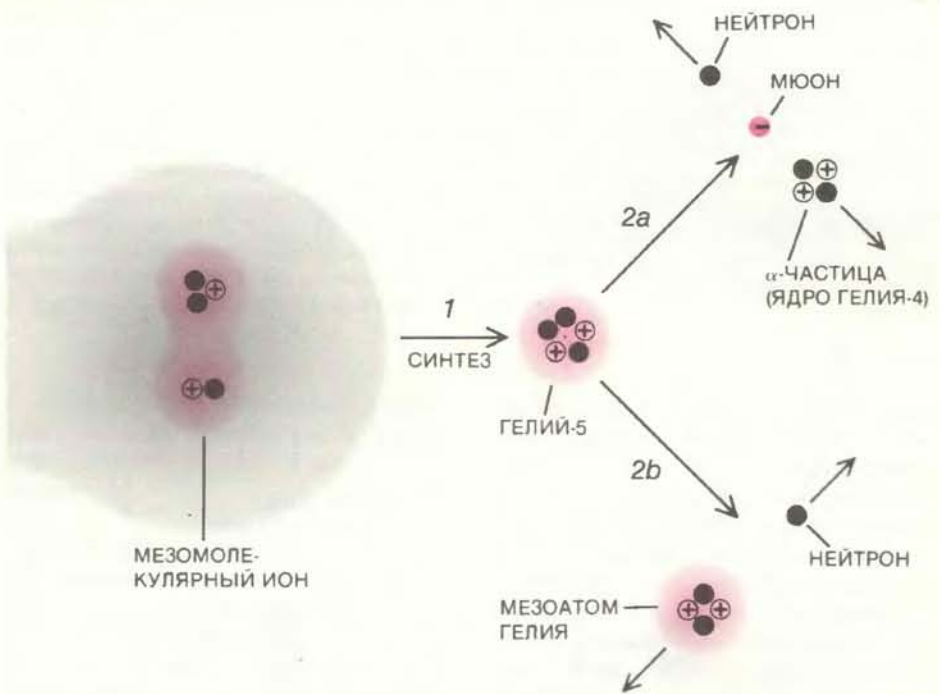
Для этих целей подходит электрон той молекулы, в состав которой входит мезомолекулярный ион. Этот электрон, поглотив энергию связи, может «выскочить» с большой скоростью из молекулы. Однако этот простой процесс тоже происходит медленно. Согласно законам квантовой механики, электрон может поглощать такое большое количество энергии только сравнительно редко.

СУЩЕСТВУЕТ, однако, гораздо более быстрый механизм — тот самый, что был предложен Э. А. Весманом в 1967 г. Этот механизм основан на резонансном эффекте. Молекула, «приютившая» у себя мезомолекулярный ион, может совершать колебания. Колебательные состояния (уровни) молекулы квантованы: разрешены только определенные значения энергии колебаний (такая молеку-

ла напоминает ксилофон с фиксированным набором тонов). По механизму Весмана энергия, отдаваемая при образовании мезомолекулярного иона, заставляет «звучать» одно из колебательных состояний. Молекула поглощает энергию связи и в результате начинает колебаться.

Энергия связи в мезомолекулярном ионе примерно в 100 раз больше, чем в обычной молекуле. В то же время мезомолекулярный ион, участвующий в мюонном катализе, не мог бы образоваться по резонансному механизму, если бы не имел состояния с низкой энергией связи, которая соответствовала бы энергии колебательного уровня большой молекулы. Таким образом, мезомолекулярный ион, образующийся по резонансному механизму, представляет собой слабосвязанную систему: его энергия связи очень мала по сравнению с характерными мезомолекулярными энергиями. Достижение Пономарева состоит в том, что в серии детальных расчетов он показал: такое необычное, слабосвязанное состояние действительно существует.

Резонансный механизм требует точной «настройки»: энергия, поглощенная молекулой, должна быть точ-



РЕАКЦИЯ СИНТЕЗА происходит, когда ядра дейтерия и трития в мезомолекулярном ионе сливаются, образуя ядро гелия и нейтрон. При этом высвобождается определенное количество энергии. Поскольку в мезомолекулярном ионе ядра находятся на очень близких расстояниях, под действием ядерных сил осуществляется их синтез (1) с превращением в ядро гелия-5 с мюоном на орбите. Ядро гелия-5 мгновенно разваливается — обычно на нейтрон, α -частицу (ядро гелия-4) и мюон (2a). Иногда α -частица захватывает мюон, образуя мезоатом гелия (2b) и выводя тем самым мюон из игры: он больше не может катализировать ядерные реакции синтеза. В любом случае при синтезе ядер дейтерия и трития высвобождается кинетическая энергия: нейтрон и α -частица разлетаются с большими скоростями.

но равна энергии ее колебательного уровня. Энергия связи мезомолекулярного иона в слабосвязанном состоянии слегка отличается от энергии колебательного уровня большой молекулы. Мезоатом и ядро дейтерия могут восполнить этот дефицит энергии за счет собственной кинетической энергии, которой они обладают до столкновения, превращающего их в мезомолекулярный ион. Соответствующую кинетическую энергию сталкивающихся частиц можно подобрать, регулируя температуру газа.

Таким образом, согласно резонансной модели, температура газа должна существенно влиять на скорость образования мезомолекулярных ионов. В 1982 г. один из нас (Джоунс) с коллегами предложил новую программу экспериментальных исследований мюонного катализа на мезонной фабрике Лос-Аламосской национальной лаборатории (Los Alamos

Meson Physics Facility, LAMPF). Под эгидой Р. Гаевского из министерства энергетики США мы провели проверку предсказаний резонансной модели и нашли, что скорость мюонного катализа реакций синтеза действительно зависит от температуры в соответствии с выводами теоретиков. К нашему удивлению, мы обнаружили также, что полная скорость реакций выше, чем предсказывала теория; в одном случае мы получили 150 реакций на мюон, причем это далеко не предел. Эти захватывающие открытия еще более подогрели интерес к мюонному катализу.

После того как мезомолекулярный ион образуется, он переходит со слабосвязанного уровня на более низкий уровень с большей энергией связи, а разность энергий может быть передана электрону. В мезомолекулярном ионе, находящемся в сильносвязанном состоянии, ядра заключены в

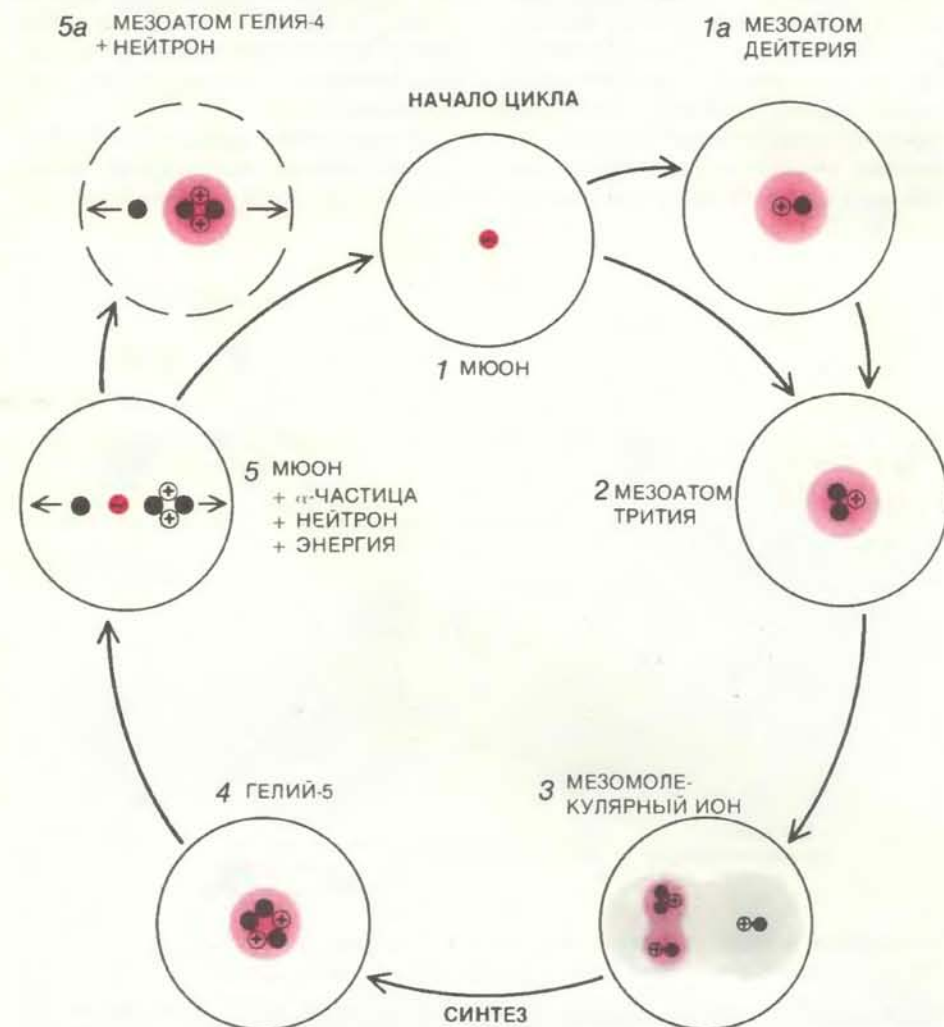
очень малом объеме. Несмотря на то что одноименно заряженные ядра отталкиваются, мюон постоянно «подталкивает» их друг к другу. В конце концов ядра сливаются вследствие квантовомеханического эффекта, известного как туннелирование: они просачиваются сквозь «барьер» взаимного отталкивания, в результате чего расстояние между ними становится столь малым, что начинают проявляться сильные ядерные взаимодействия (которые удерживают протоны и нейтроны в ядрах). Теперь уже событиями руководят законы ядерной, а не молекулярной физики.

ДВА ЯДРА, сливаясь, образуют одно ядро гелия-5, состоящее из двух протонов и трех нейтронов. Вскоре оно «разваливается», превращаясь в α -частицу — обычное ядро гелия (два протона и два нейтрона) и свободный нейтрон.

В этих реакциях высвобождается энергия в форме кинетической энергии продуктов распада гелия-5: α -частица и нейтрон разлетаются с большой скоростью. Мюон обычно высвобождается и может начать новый цикл реакций синтеза. Он выступает в роли настоящего катализатора этих реакций.

Однако иногда α -частица, образовавшаяся в реакции синтеза, захватывает отрицательно заряженный мюон, лишая его возможности продолжить дальнейшие циклы катализа. Но даже в этом случае существует определенная вероятность «стряхивания» мюона с α -частицы в результате ее столкновений с другими частицами газа, поскольку α -частица быстро движется в плотной газовой среде камеры, где протекают реакции. В 1981 г. Герштейн с соавторами и независимо Дж. Фиорентини и Л. Браччи из Университета в Пизе пришли к выводу, что около 25% тех мюонов, которые «прилипают» к α -частицам, «стряхиваются» и становятся свободными. Позже Дж. Коэн из Лос-Аламосской национальной лаборатории пришел к заключению, что таких мюонов может быть даже 40%. Здесь есть еще над чем подумать — процесс до конца не понят. Если мюон «прилипает» к α -частице и не стряхивается вплоть до остановки пары, то он там и распадается.

Частота, с которой мюон прилипает к α -частице, тем самым прерывая цепь реакций синтеза, является основным препятствием на пути практического использования мюонного катализа ядерных реакций синтеза. К сожалению, точно вычислить вероятность прилипания непросто, поскольку многочастичные реакции, которые



ЦИКЛ РЕАКЦИЙ холодного синтеза начинается и заканчивается свободным мюоном (1). Мезоатом трития (2) образуется иногда через промежуточное образование мезоатома дейтерия (1a). Мезоатом в комбинации с ядром дейтерия образует мезомолекулярный ион (3), который в реакции синтеза превращается в гелий-5 (4). Ядро гелия-5 разваливается на α -частицу и нейтрон, при этом высвобождается энергия (5). Если мюон «прилипает» к α -частице (5a), цикл прерывается; прилипание является одним из основных препятствий на пути практического использования мюонного катализа. Если мюон не прилипает, он свободен и может начать новый цикл реакций синтеза (1).

в этом случае происходят, очень сложны. В 1957 г. Дж. Джэксон, в то время сотрудник Принстонского университета, первым установил, что мюон — катализатор может быть захвачен α -частицей в 1% случаев реакции синтеза*. В результате он высказал утверждение, что один мюон может катализировать не более 100 реакций.

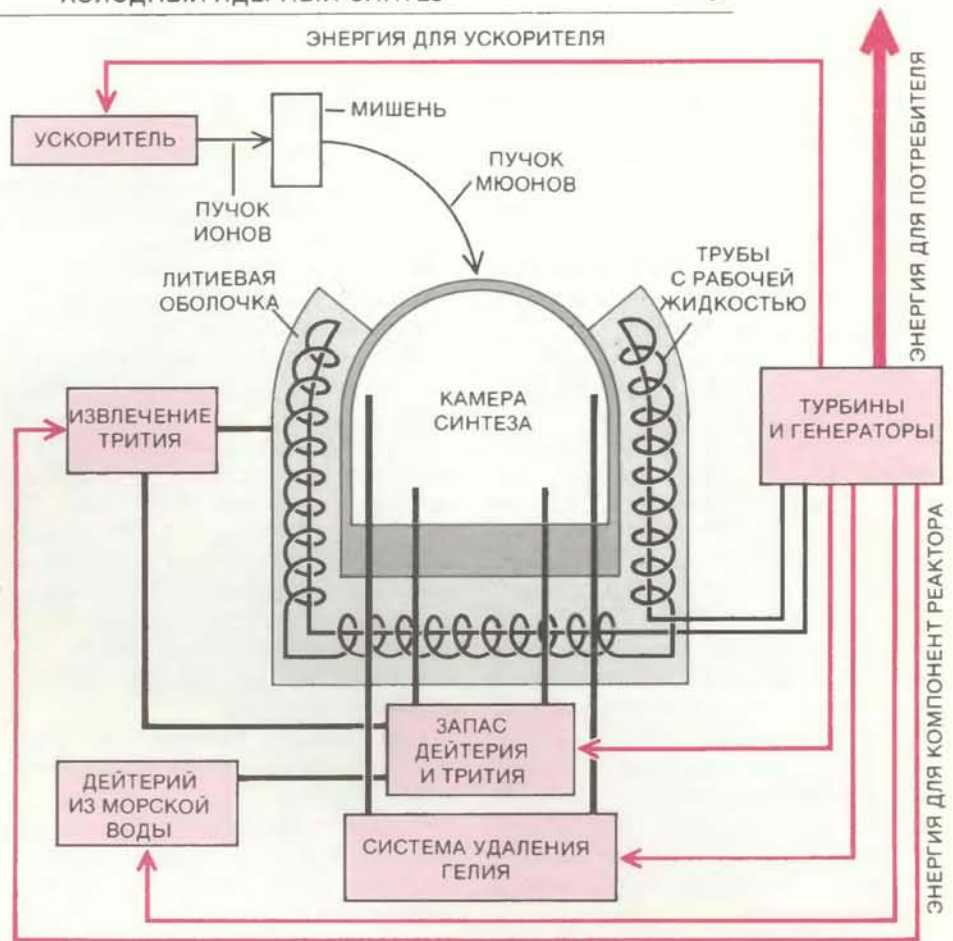
Эксперименты, проведенные на мезонной фабрике LAMPF, заставили пересмотреть теоретические оценки вероятности прилипания и стимулировали дополнительные эксперименты. Анализ полученных экспериментальных данных, выполненный А. Андерсоном из Idaho Research, Inc., показал, что вероятность прилипания при определенных условиях составляет около 0,4% или меньше, т. е. почти в 2 раза меньше теоретического значения, которого так долго придерживались. Эти удивительные результаты были подтверждены затем в Швейцарском институте ядерных исследований (SIN) в экспериментах под руководством В. Брейнлиха из Австрийской академии наук и Ж.-К. Петижана из SIN, а также в Японской лаборатории физики высоких энергий в экспериментах под руководством К. Нагамины.

Пересмотр теоретических оценок, сделанный, в частности, Д. Сиперли и Б. Олдером из Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса и М. Даносом из Национального бюро стандартов США, Б. Мюллером из Франкфуртского университета и одним из нас (Рафельским), привел к тому, что противоречия между теорией и экспериментом по прилипанию мюонов к α -частицам были в основном устранены**. Тем не менее некоторые важные вопросы все еще остаются открытыми. Чтобы на них ответить, в Апплетонской лаборатории им. Резерфорда начинается международный эксперимент под руководством Джона и Дж. Дэвиса из Бирмингемского университета. Исследователи намерены непосредственно измерить вероятность прилипания, используя принятую в физике элементарных частиц методику, которая позволит фиксировать все продукты реакций синтеза.

Параллельно с этими экспериментами задумана большая теоретическая программа под руководством

* Оценки вероятности прилипания мюона к α -частице одновременно и независимо от Джэксона выполнил Я. Б. Зельдович. — Прим. перев.

** В настоящее время ясности в этом вопросе еще не достигнуто, а приведенное объяснение не общепринято. — Прим. перев.



ПРОМЫШЛЕННЫЙ РЕАКТОР ХОЛОДНОГО СИНТЕЗА может быть создан на основе существующих технологий. Чтобы получить необходимые для его работы мюоны, пучок ионов из ускорителя направляют на мишень из какого-нибудь вещества, например дейтерия или лития. Полученный мюонный пучок подводят к камере, содержащей дейтерий (его можно добыть из обычной морской воды) и тритий. Там происходит мюонный катализ ядерных реакций синтеза. Гелий, образовавшийся в этих реакциях, отводится с помощью очистителя, а нейтроны попадают в литиевую оболочку (бланкет), образуя тритий и гелий. Тритий вводится в камеру, а гелий удаляется. Тепло от реакции синтеза превращается в пар рабочую жидкость, которая течет по трубам сквозь литиевую оболочку. Пар заставляет вращаться турбины высокого давления и электрогенераторы. Часть электроэнергии идет на питание ускорителя, насосов и других компонент реактора. Остальная энергия поступает потребителю.

Г. Монкхорста и К. Шалевича из Университета шт. Флориды и Л. Биденхарна-младшего из Университета Дюка*.

КАКИМ ЖЕ образом можно использовать мюонный катализ в качестве источника энергии? Несмотря на то, что еще не было достаточно времени, чтобы в полной мере оценить последние открытия в этой об-

* В СССР принята и уже реализуется обширная программа теоретических и экспериментальных исследований мюонного катализа (включая его возможные приложения для производства энергии и нейтронов), в которой участвуют Объединенный институт ядерных исследований (Дубна), Ленинградский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР, Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова. — Прим. перев.

ласти, стали выявляться некоторые возможности. Выбор схемы будет обусловлен не только числом реакций синтеза на один мюон, но и — в небольшой степени — эффективностью производства самих мюонов. Энергетический эквивалент массы мюона примерно равен энергии, получаемой в шести реакциях синтеза; иными словами, идеальная по эффективности установка для производства мюонов могла бы давать один мюон за счет шести реакций синтеза, проходящих отдельно в специальной камере. К сожалению, энергетические затраты на производство одного мюона на самом деле по крайней мере в 20 раз больше. Их снижению может способствовать дальнейшее совершенствование ускорителей.

Оценка стоимости производства мюонов была проведена в ЦЕРНе

М. Яндедем из Университета г. Упсала и одним из нас (Рафельским). Оказалось, что производство мюона при бомбардировке пучком ускоренных ионов смеси дейтерия и трития в камере энергетически эквивалентно 100—500 реакциям синтеза. Как показали эксперименты на мезонной фабрике LAMPF, полученный таким способом мюон может катализировать более 100 реакций синтеза.

Одна из концепций производства энергии посредством мюонного катализа была разработана в 1980 г. Ю. В. Петровым из Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР. Он исходил из того, что один мюон может осуществить не менее 100 реакций синтеза. Петров предложил «гибридный» вариант — наряду с мюонным катализом реакций синтеза использовать также процессы деления ядер. В дополнение к непосредственному производству тепловой энергии, приводящей в движение паровые турбины и динамо-машины, камера для реакций синтеза будет служить источником нейтронов для наработки (бридинга) ядерного топлива обычных атомных электростанций.

Похожий гибридный проект был предложен М. Розенблютом, Ш. Элизером и Т. Тажимой, работавшими в то время в Техасском университете в Остине. По их схеме мюоны для процесса синтеза должны производиться при бомбардировке пучком ионов высоких энергий смеси дейтерия и трития непосредственно в камере, где происходят реакции синтеза. При этом отпадает необходимость в транспортировке мюонов от ускорителя к камере. Так же как и в схеме Петрова, в этом случае мюонный катализ должен использоваться и как источник нейтронов для наработки делящегося ядерного топлива.

Кроме того, не исключена возможность использования чистого реактора синтеза. Такой реактор будет иметь ряд преимуществ перед обычными реакторами деления и гибридными реакторами. Во-первых, в этом случае «зола», неминуемо получающаяся в процессе синтеза, представляет собой обычный гелий — «безобидный» в отличие от радиоактивных отходов газ. Во-вторых, топливо для реакторов синтеза в изобилии содержится в морской воде (в ней много дейтерия, так же как и лития, который может быть использован для получения трития).

«3ООПАРК» элементарных частиц достаточно велик, и вполне возможно, что какая-нибудь другая частица, не мюон, могла бы слу-

жить катализатором ядерных реакций синтеза. Например, Дж. Цвейг предлагал использовать для этих целей свободные кварки (если только они будут обнаружены). Однако мюоны очень хорошо подходят на роль катализаторов. Каждый мюон может катализировать длинную цепь реакций синтеза, поскольку резонансный механизм увеличивает скорость образования мезомолекулярного иона и существует большая вероятность того, что мюон высвободится и будет катализировать последующие реакции. Кроме того, оказалось, что температура, при которой резонансный механизм наиболее эффективен (по расчетам М. Леона из LAMPF, она составляет 900 °С), близка к температуре, соответствующей наиболее эффективной эксплуатации большинства генераторов электрической энергии, таких, например, как паровые турбины высокого давления.

При больших температурах резонансный механизм будет давать меньшую скорость реакций синтеза: в этом случае кинетическая энергия мезоатома и ядра дейтерия в сумме с энергией связи мезомолекулярного иона превысит ту энергию, которую в состоянии «усвоить» большая молекула. Из этого вытекают два важных следствия. Во-первых, мезокаталитический реактор не сможет выйти из-под контроля или расплавиться. Во-вторых, мезокаталитический реактор нельзя использовать как основу для термоядерного оружия.

История показывает, что результаты пионерских исследований используют обычно через одно-два поколения. Физика экзотических частиц входит сейчас в такую фазу, когда начинают появляться возможности практических приложений; мюонный катализ прекрасный тому пример.

В случае мюонного катализа практические приложения, которые могут быть использованы на благо всего общества, могут дать импульс и фундаментальным исследованиям. Например, для мезокаталитического реактора синтеза нужны только отрицательно заряженные мюоны. Но в процессе производства мюонов будет получаться большое количество положительных мюонов, которые можно применить в чисто научных целях, например для выяснения загадочной природы самого мюона. Таким образом, мюонный катализ «перекидывает» мост между фундаментальными исследованиями и передовыми технологиями.

Помимо возможных практических приложений исследования мюонного катализа затрагивают много областей современной физики. Процессы,

которые вовлечены в мюонный катализ, подчиняются законам молекулярной, атомной, ядерной физики, а также физики элементарных частиц. Исследование мюонного катализа требует умелого сочетания подходов, свойственных этим разным областям науки, и одновременно углубляет наши знания в каждой из них.

Издательство
МИР
предлагает:

С. Тейлор,
С. Мак-Леннан
**КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ
КОРА, ЕЕ СОСТАВ
И ЭВОЛЮЦИЯ**

Перевод с английского

Новая фундаментальная работа известных австралийских петрологов-геохимиков, подытоживающая опыт многолетних исследований по истории формирования и развития континентальной коры, а также ее состава. Приводится обширный справочный материал по распределению редких элементов и их изотопов в древних осадочных, метаморфических и магматических породах. На основании новых данных обсуждаются наиболее вероятные модели эволюции земной коры материков.

Книга имеет важные достоинства: глубокая проработка первичного фактического материала; единая методика обработки результатов и их представление в виде графиков, диаграмм и таблиц, позволяющих читателю самому делать те или иные заключения независимо от вывода авторов; простое и ясное изложение материала, что делает книгу доступной не только специалисту-геохимику, но и геологам других специальностей.

Для геологов широкого профиля, петрологов, геохимиков.

1988, 27 л. Цена 3 р. 90 к.



Таинственные затмевающие объекты

НОВЫЙ ВИД межзвездных объектов в нашей Галактике был обнаружен по изменениям интенсивности излучения от квазаров, удаленных от Земли на 1000 мегапарсек — расстояние, более чем в 30 000 раз превосходящее диаметр Млечного Пути. Эти образования состоят из ионизованного вещества. По размерам они больше любой звезды, но много меньше, чем все другие известные межзвездные образования (такие, как огромные похожие на облака структуры, найденные повсюду в Галактике).

Р. Фидлер, В. Деннисон и К. Джонстон из Исследовательской лаборатории ВМС США и А. Хьюиш из Кавендишской лаборатории в Кембридже (Англия) изучили семилетние записи ежедневных измерений интенсивности радиоизлучения на длинах волн 2,7 и 8,2 ГГц от 36 далеких радиосточников, большинство из которых было квазарами. В журнале "Nature" они сообщили, что три источника проявляли необычные вариации излучения на 2,7 ГГц: интенсивность внезапно возрастала на короткое время, затем резко падала много ниже обычного уровня и не изменялась в течение нескольких месяцев, после чего круто возрастала выше нормального уровня на короткое время (около недели), прежде чем вернуться к первоначальному уровню, на котором и оставалась.

В течение наиболее значительного из этих событий излучение на 8,1 ГГц также вело себя странно. Вместо того чтобы оставаться относительно постоянным, оно колебалось между нормальным и очень высоким уровнями и возвратилось к своему обычному постоянному уровню в то же время, когда излучение на 2,7 ГГц снова стало нормальным.

Непохоже, чтобы эти вариации интенсивности излучения были вызваны какими-либо изменениями внутри самих квазаров. Фидлер и его коллеги считают, что во время каждого такого эпизода какой-то объект проходил между источником и Землей и в течение короткого времени искажал излучение. Таким объектом могло бы быть образование из ионизованного вещества, которое преломляло бы излучение от квазара. Из-за рефракции источник может казаться слабее в полосе 2,7 ГГц, а рассеянное излучение наблюдалось бы на Земле до и после ослабления излучения источника, что и объясняет короткие интервалы вы-

сокой интенсивности, которые были зарегистрированы.

Острые пики на 8,1 ГГц могут быть результатом рефракционной фокусировки: нерегулярности в структуре объекта могли сфокусировать излучение от квазара точно на Землю. Такая фокусировка должна быть относительно редкой: она может происходить лишь тогда, когда Земля находится в «фокальной плоскости» преломляющего объекта. Это объяснило бы, почему пики на 8,1 ГГц наблюдались только в одном из трех эпизодов.

Считая, что такой объект ответствен за наиболее значительные вариации интенсивности, исследователям удалось вычислить его угловую скорость, отмечая время, необходимое для ослабления излучения на 2,7 ГГц. Затем они предположили, что скорости объекта меньше 250 км/с (т. е. меньше скорости самых быстролетающих галактических облаков). Исходя из этого они получили, что такой затмевающий объект должен находиться на расстоянии ближе 1300 парсек. Тогда из длительности ослабления интенсивности излучения на 2,7 ГГц следует, что диаметр этого объекта должен быть меньше 7 астрономических единиц (1 а. е. — расстояние от Земли до Солнца).

Поскольку ученые обнаружили три подобных события при наблюдениях всего нескольких радиосточников, проведенных за сравнительно короткое время, они справедливо считают, что такие «затмевающие» облака могут быть довольно многочисленными. Если они равномерно заполняют галактическое гало, их может оказаться 120 в каждом кубическом парсеке, т. е. они могут встречаться в 1000 раз чаще, чем обычные звезды.

Включение роста клеток

ПУТЬ К ПОНИМАНИЮ генетического контроля деления клеток стал в молекулярной биологии своего рода поисками Грааля, поскольку этот контроль лежит в основе не только нормального роста и обновления тканей, но и различных процессов патологического роста — рака. Но, несмотря на все усилия, гены, определяющие у человека нормальный ход событий клеточного цикла, ускользали от исследователей. И вот наконец в Имперском фонде исследований рака в Лондоне выделен ген человека, играющий важную роль в контроле клеточного деления.

М. Ли и П. Нёрс идентифицировали ген, обеспечивающий деление клетки, по его проявлению в клетках не человека, а дрожжей. Было известно, что в клетках дрожжей с мутацией в определенном гене (а именно в гене *cdc2* дрожжей вида *Schizosaccharomyces pombe*) процесс деления прерывается на двух характерных этапах. Вероятно, белок — продукт данного гена должен выполнять в этих этапах какую-то важную функцию. Исследователи решили найти ген человека, кодирующий аналогичный белок, при помощи комплементационного теста, т. е. искать среди генов человека тот, который в мутантных дрожжевых клетках будет выполнять функцию, утраченную в результате мутации. Они исходили из предположения, что такой важный процесс, как деление клетки, у животных и у дрожжей контролируется сходным образом.

Ли и Нёрс сообщают в журнале "Nature", что в клетках *S. pombe* возможна экспрессия генов человека из широко используемой клонотехники кДНК, т. е. их белоксинтезирующий аппарат способен считывать информацию с ДНК человека и осуществлять ее трансляцию, синтезируя специфические белки. Исследователи вводили в клетки *S. pombe* с мутацией в *cdc2* по одному гену человека (а их многие тысячи!), добивались экспрессии и в итоге отобрали клон клеток, способных делиться и размножаться. Из них они выделили ген человека, функционально эквивалентный гену *cdc2*.

Оказалось, что по нуклеотидной последовательности выделенный ген очень близок гену *cdc2* дрожжей. Как отмечает Р. Вайнберг из Уайтхедского института медико-биологических исследований Массачусетского технологического института, тот факт, что последовательности гена человека и дрожжей дивергировали столь незначительно за миллиард лет, прошедших с тех пор, как далекие предки этих организмов пошли самостоятельными эволюционными путями, указывает, что данный ген действительно имеет фундаментальное значение. И у человека и у дрожжей он кодирует протениназу — фермент, присоединяющий фосфатные группы к другим белкам. Уже давно предполагают, что подобные ферменты играют роль в делении клетки, а нарушение их активности может лежать в основе некоторых видов рака.

Аэродинамика опыления ветром

Многие растения обладают почти совершенными приспособлениями для захвата переносимой ветром пыльцы.

Шишки, соцветия различных типов и другие структуры направляют воздушный поток — и вместе с ним пыльцевые зерна, несущие спермии, — на воспринимающую поверхность половых элементов

КАРЛ ДЖ. НИКЛАС

ВЫЛЕТ ПЫЛЬЦЫ, который каждый год вызывает вспышки сенной лихорадки, — это побочный эффект стратегии воспроизведения, характерный для многих видов растений. Такие растения выбрасывают в воздух тучи пыльцевых зерен (микроспор, продуцирующих спермию). При благоприятных условиях воздушные потоки переносят пыльцу на другие растения того же вида. Пыльца, попавшая на семяпочку (специализированную структуру, несущую яйцеклетку) или на какую-либо другую структуру с развивающейся яйцеклеткой, оплодотворяет яйцеклетку, что обуславливает в конечном счете развитие семян.

Большинство биологов считают, что ветроопыление, этот самый древний способ опыления, является и самым расточительным по сравнению со стратегией, используемой другими видами растений и зависящей от насекомых, птиц или каких-либо других животных — переносчиков пыльцы. Возможно, только одно пыльцевое зерно из тысячи попавших в воздушный поток, достигает поверхности женского органа подходящего растения. Большая часть пыльцевых зерен встречается с различными посторонними объектами, такими, как листья, ветки, телеграфные столбы или носовая полость человека.

Быть может, ветроопыление и более расточительно по сравнению с другими видами опыления, но, по моему убеждению, не настолько нелепо, как кажется на первый взгляд. В конце концов, если бы этот способ был и в самом деле неэффективным, то тысячи растительных видов не сохранили бы его в ходе эволюции и, конечно же, — что убеждает еще больше — не приобрели бы его недавно.

Ветроопыление характерно для

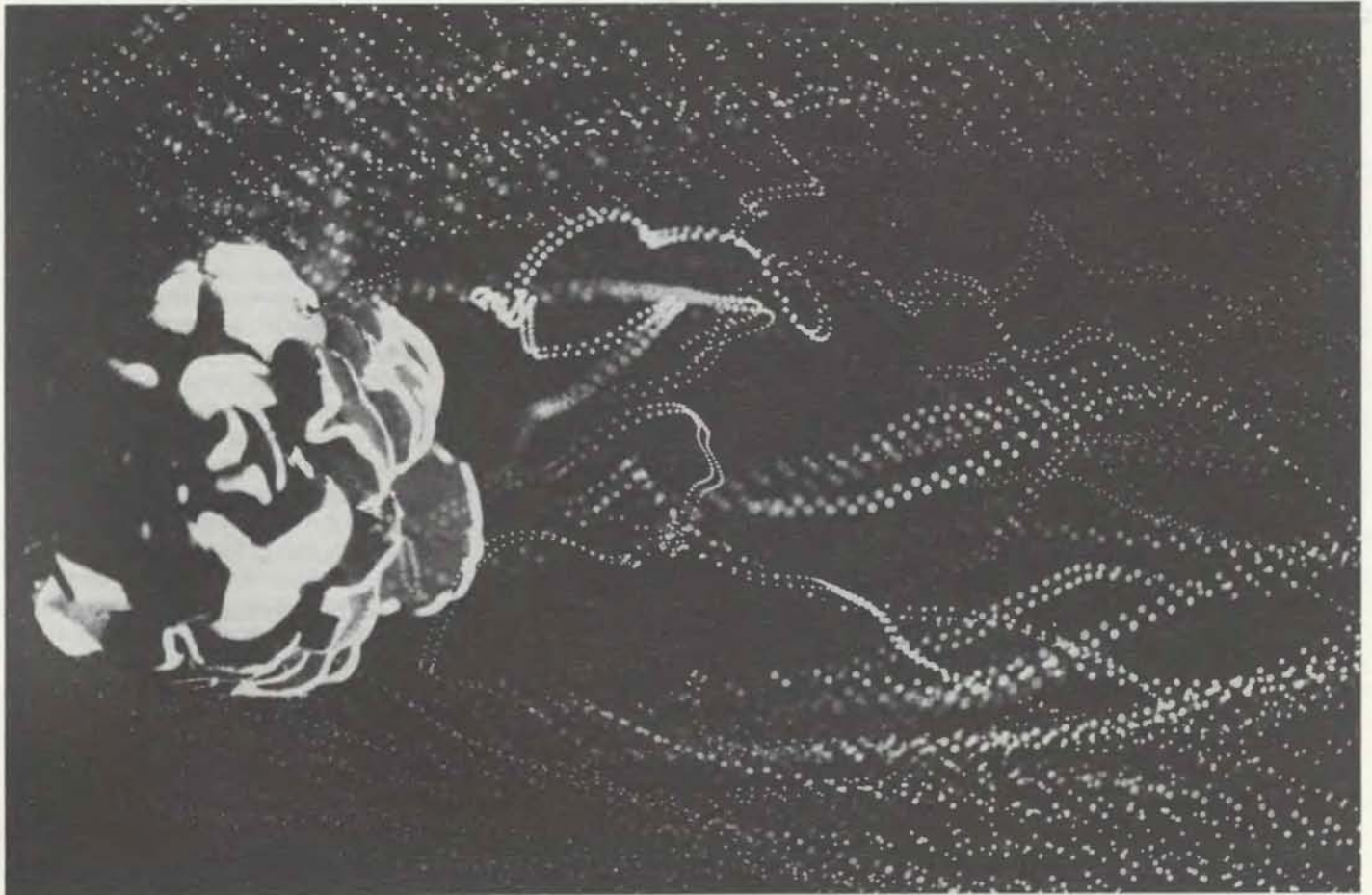
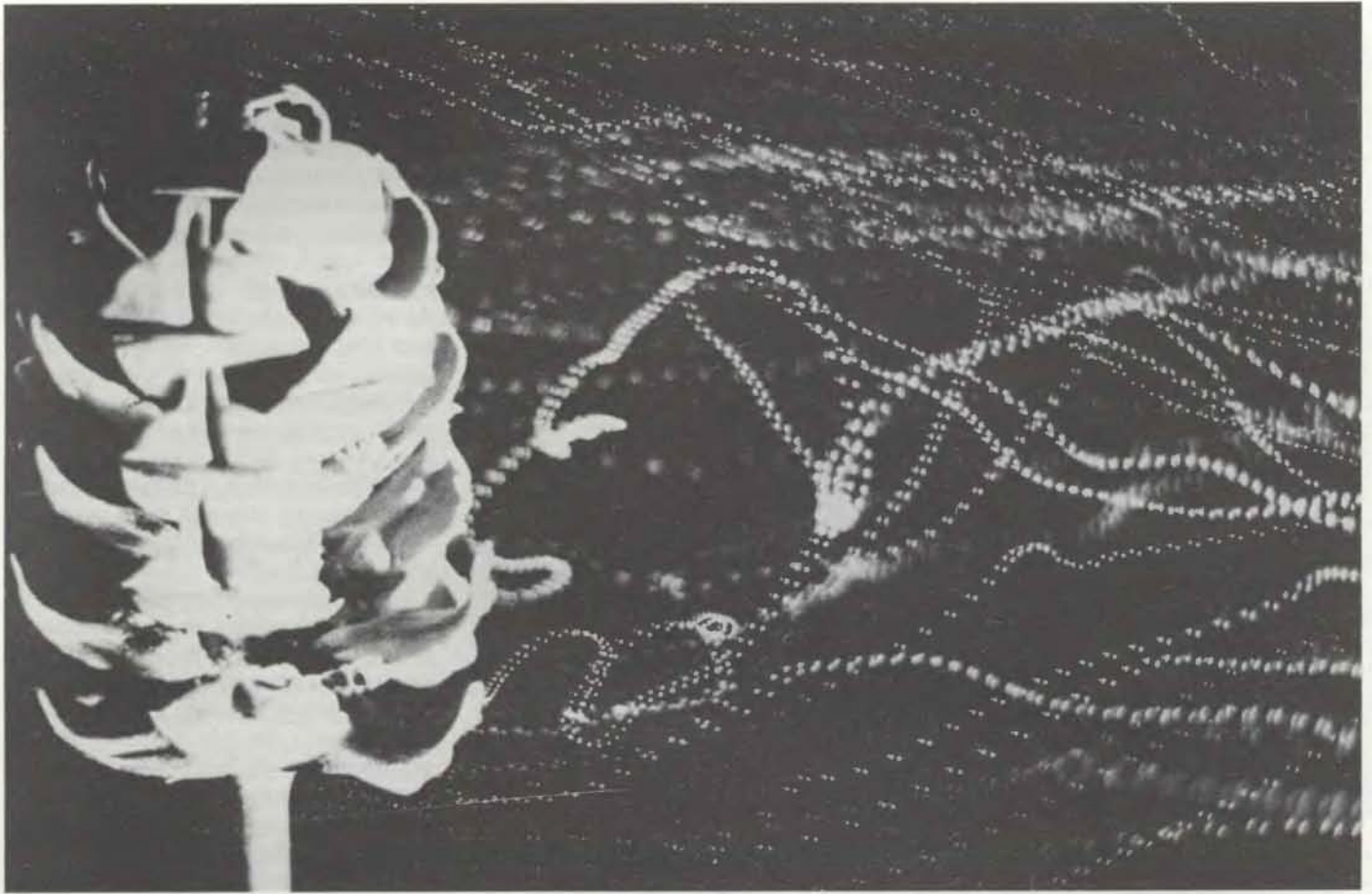
многих голосеменных (нецветковых семенных растений), в том числе для хвойных, саговниковых и цикадовых. Кроме того, оно используется и значительной частью еще одной обширной группы семенных растений — покрытосеменных, или цветковых растений, появившихся на нашей планете через 200 млн. лет после голосеменных. Так, почти все представители злаковых, одного из самых обширных эволюционно продвинутых семейств цветковых растений, опыляются ветром. Вместе с тем в настоящее время получены твердые доказательства того, что захват пыльцы часто происходит далеко не случайным образом. Мы с коллегами из Корнеллского университета благодаря помощи сотрудников Аризонского университета и Ботанического сада в Корал-Гейблз обнаружили, что многие растения «сконструированы» в смысле их аэродинамических свойств так, чтобы захватывать большое количество пыльцевых зерен из воздуха.

ДЛЯ ПОНИМАНИЯ полученных нами результатов необходимо иметь некоторое представление о механизме воспроизведения семенных растений. У голосеменных семяпочка открыта и лежит на видоизмененных стеблях или листьях. Для того чтобы в пыльцевом зерне закончилось формирование спермия, который в конце концов выходит и оплодотворяет яйцеклетку, пыльце необходимо осесть на отверстие семяпочки — микропиле — или около него. У покрытосеменных, напротив, семяпочка находится внутри, в нижней части колбообразной структуры, называемой пестиком. Опыление заканчивается, как только пыльцевое зерно оседает на рыльце верхней части пестика. При этом из пыльцевого зерна начинает

расти и вытягиваться длинная пыльцевая трубка, доставляющая к яйцеклетке спермию, в результате чего и происходит оплодотворение.

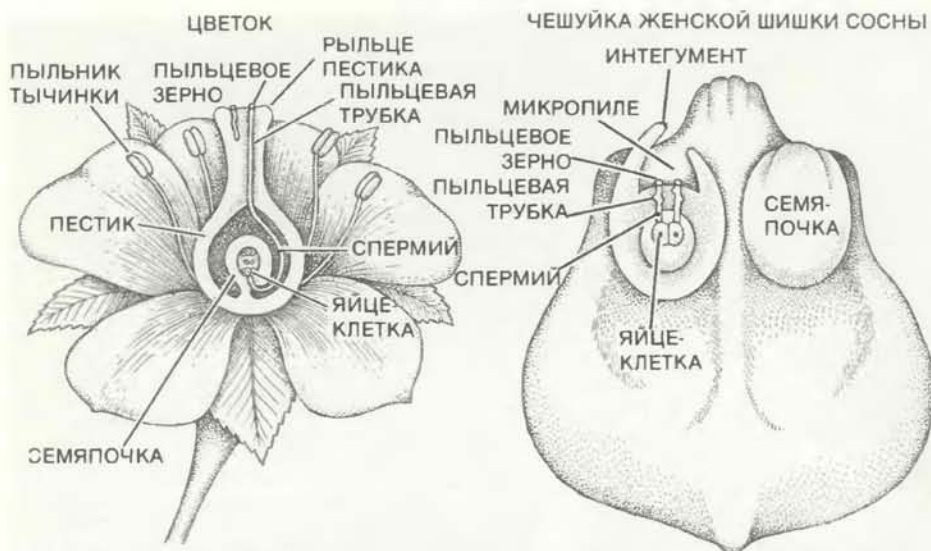
У некоторых видов семенных растений наблюдается разделение половых органов, производящие соответственно пыльцу и семяпочки, растут и развиваются на различных растениях. В большинстве своем растения, однако, двуполы, хотя у многих видов собственная пыльца все-таки не принимает участия в оплодотворении своих же яйцеклеток. (Разумное объяснение этой кажущейся неэффективности заключается в том, что при перекрестном опылении сохраняется генетическое разнообразие вида.)

У взрослых деревьев сосны, которые являются двуполыми, не менее 95% яйцеклеток оплодотворяется в процессе перекрестного опыления. Это растение может служить прекрасной иллюстрацией того, как аэродинамические свойства растения влияют на его способность улавливать разносимую ветром пыльцу. Мужские репродуктивные органы у этого вида хвойных представлены мелкими шишками, которые растут обычно группами. Когда шишка заканчивает свое развитие, пыльцевые мешки (микроспорангии), несущие пыльцевые зерна, лопаются и все их содержимое выбрасывается в воздух. Женские шишки в противоположность мужским довольно велики и растут обычно поодиночке. Женская шишка состоит из ряда чешуек, имеющих в основании крошечные листочки, называемые брактми. На верхней поверхности каждой из чешуек находится по две семяпочки. Как только шишка становится функционально способной к оплодотворению, комплексы чешуя—бракты легко отделяются друг от друга, обеспечивая тем

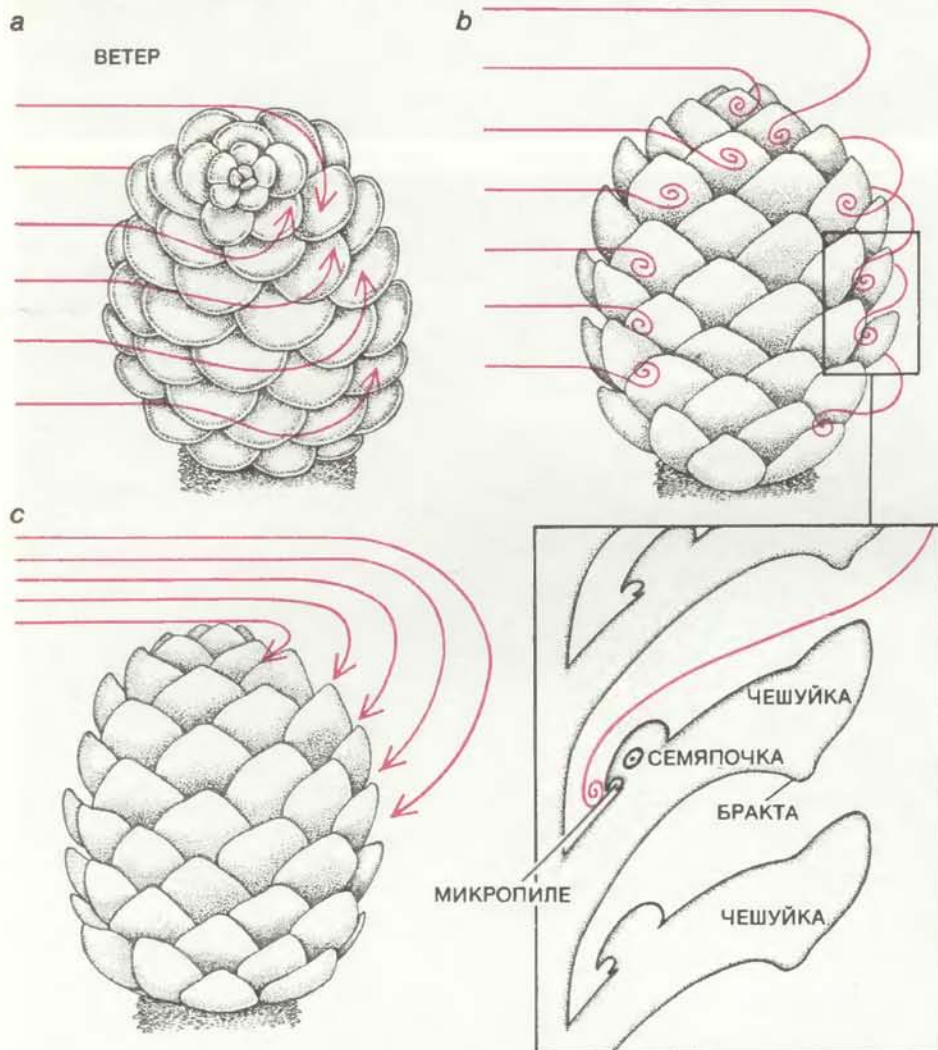


ШАРИКИ, НАПОЛНЕННЫЕ ГЕЛИЕМ, позволили выявить завихрения воздушного потока, создаваемые моделью женской шишки сосны при обдувании ее в аэродинамической трубе. На фотографиях, сделанных при стробоскопическом освещении, видны траектории шариков при взгля-

де сбоку (*вверху*) и сверху (*внизу*). Поток воздуха был направлен слева направо. Обнаруженные вихри благоприятствуют столкновению летящей пыльцы (микроспор, производящих спермии) с семяпочками, несущими яйцеклетки и находящимися поверх каждой чешуйки.



ОПЛОДОТВОРЕНИЕ яйцеклетки следует за опылением — доставкой пыльцы на рыльце цветка (слева) или, у нецветковых растений, в микропиле — отверстие семяпочки (справа). Пыльца начинает прорастать и при необходимости вытягивать длинную пыльцевую трубку, чтобы достичь яйцеклетки. В конечном итоге из пыльцевой трубки высвобождается спермий, который оплодотворяет яйцеклетку. Чешуя сосны несет две семяпочки, в каждой из которых находится по две или три яйцеклетки, однако зародыш развивается только в одной из них. (Левая семяпочка повернута на 90° , чтобы была видна внутренняя структура.)



ТРИ ОСОБЕННОСТИ воздушного потока, образующегося вокруг готовой к опылению женской шишки сосны. Воздух отклоняется внутрь шишки (а), где движется вокруг оси, или центрального стебля, овеивая верхние (несущие семяпочки) поверхности чешуек. Над каждой чешуйкой, около микропиле (показано в увеличенном масштабе внизу справа), создается завихрение (б). На подветренной стороне шишки воздушный поток идет вниз и направляется к чешуйкам (с).

самым доступным приносимой ветром пыльцы к микропиле.

В процессе изучения женской шишки сосны нас особенно поразила следующая любопытная особенность ее структуры: семяпочки в ней расположены вблизи оси (стеблеподобного стержня шишки), но при этом микропиле семяпочек обращены не в сторону от оси, а, наоборот, к оси. На первый взгляд такая конструкция кажется весьма неудачной в смысле создания благоприятных условий для контакта между пыльцой и микропиле. «А не связано ли это с тем, — подумали мы, — что чешуи и бракты меняют направление воздушного потока таким образом, чтобы пыльцевые зерна направлялись именно в ту сторону, где столь неудобно расположены семяпочки?»

Нам удалось получить ответ на этот вопрос, поместив искусственную шишку (большого размера по сравнению с настоящей) в аэродинамическую трубу. Слежение за движением воздушного потока вокруг шишки осуществлялось благодаря помещаемым в струю воздуха маленьким шарикам с гелием; эти шарики с поразительной точностью отмечали путь воздушного потока и могли проходить, не лопаясь, через очень узкие места с большой скоростью. Траектории шариков мы изучали с помощью флоростробоскопии, освещая исследуемую область вспышками света через заданные промежутки времени. Полученные данные анализировались на компьютере с целью вычисления скорости и направления ветра в различных «ячейках» окружающего шишку пространства.

Расчеты показали, что шишка возмущала линейный поток воздуха, отклоняя его по трем основным направлениям (см. рисунок внизу слева). Во-первых, воздух отклонялся внутрь шишки и циркулировал вокруг оси, овеивая верхнюю (несущую семяпочки) поверхность комплекса чешуя—бракты. Во-вторых, воздушный поток продувал каждую чешуйку, проникая до основания и создавая хаотические завихрения около микропиле. В-третьих, сама шишка со своими многочисленными выступами способствовала созданию интенсивных завихрений на подветренной стороне. В результате воздух засасывался в эту область, а затем двигался в обратном направлении, овеивая чешуйки, расположенные с подветренной стороны.

Указанные три особенности циркуляции наводят на мысль о том, что пыльцевые зерна, захваченные воздушным потоком, который в естественных условиях овеивает женские шишки, имеют неплохой шанс достичь микропиле. Последующие опыты с

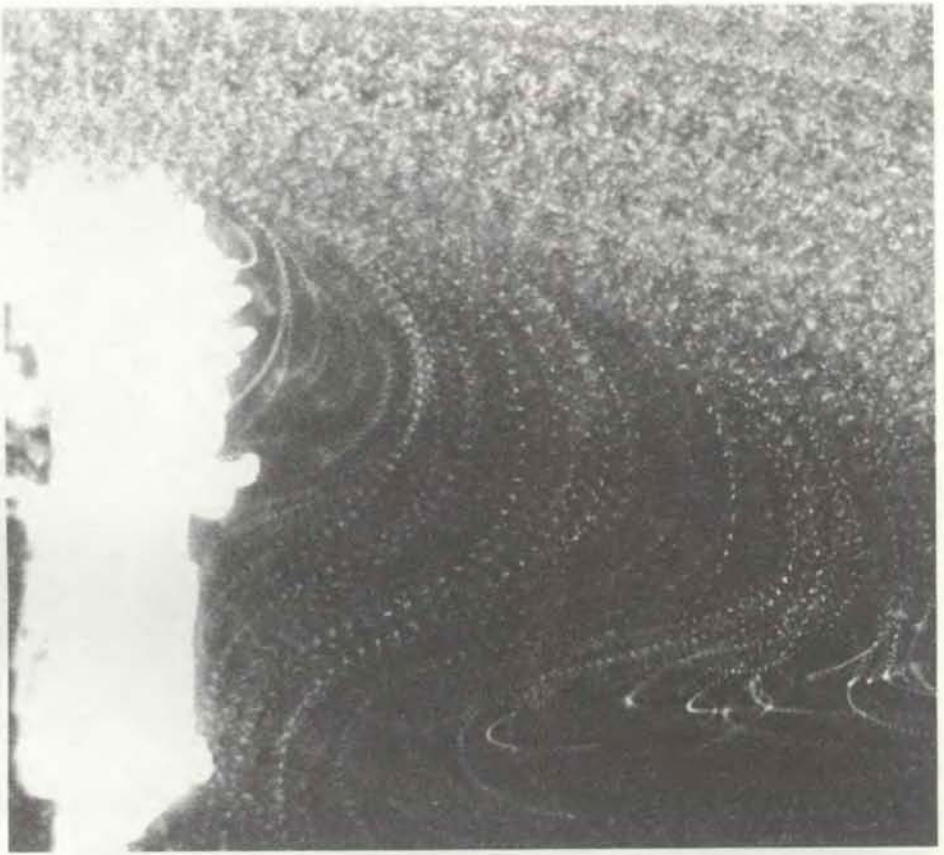
настоящими шишками и пылью подтвердили это предположение. В этих опытах были установлены те же основные типы турбулентности, которые и обуславливают движение пыльцевых зерен вокруг семяпочек. При этом было установлено, что значительная часть пыльцевых зерен оседает на внутренней стороне микропиле.

ПОЛУЧЕННЫЕ данные, таким образом, убедили нас в том, что женские органы хвойных могут способствовать движению пыли в направлении семяпочек. Получив ответ на первый вопрос, мы занялись решением следующего: что предотвращает засорение семяпочек одного вида пыльцевыми зернами другого вида? Известно, что у растений, как и у животных, спермии обычно могут оплодотворять только яйцеклетки того же вида.

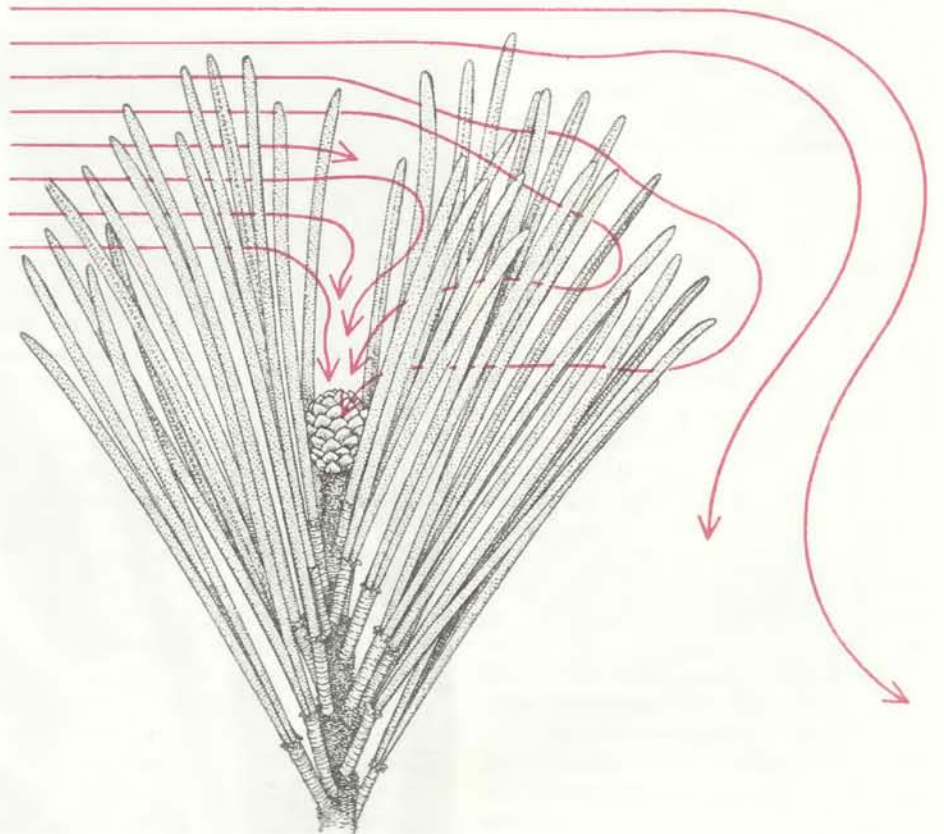
Наши исследования показали, что определенная форма шишки, характерная для каждого вида растений, обуславливает характерную структуру воздушного потока, как описывалось выше. Эта структура зависит от таких факторов, как диаметр и длина шишки, число прикрепленных к центральной оси чешуек, их размеры, угол наклона чешуек к оси и скорость ветра. Подобным образом пыльца каждого типа имеет определенный размер, форму и вес, что объясняет уникальную для пыльцевых зерен способность взаимодействовать с воздушным потоком. Например, пыльцевые зерна у одного вида могут оказаться слишком тяжелыми для того, чтобы точно следовать за воздушным потоком, порожденным шишками другого вида; соответственно пыльцевые зерна могут выпасть из воздушного потока на подветренной стороне, прежде чем поток донесет их до чешуек.

Очевидно, что многие типы шишек порождают свои особые воздушные потоки, лучше всего приспособленные для переноса пыльцы данного вида растений; большая часть шишек из тех, что были изучены нами, отбирает из воздуха свою «собственную» пыльцу, а не пыльцу какого-либо другого вида. Эта избирательность имеет очевидные преимущества: помимо захвата пыльцевых зерен нужного типа женские шишки сосны отклоняют нежелательные частицы, такие, например, как споры грибов, которые могут повредить семяпочки.

Влиять на опыление «с помощью» аэродинамики могут у хвойных не только шишки; такой же эффект оказывают группы листьев, обычно окружающих женскую шишку. Функцию этих листьев можно сравнить с деревянным забором, который защищает железнодорожный путь от



ТРАЕКТОРИЯ ПЫЛЬЦЕВОГО ЗЕРНА, летящего в воздушном потоке мимо женской шишки сосны *Pinus taeda* (поток направлен слева направо). Многие пыльцевые зерна сталкиваются с наветренной стороной, но часть движется назад и сталкивается с чешуйками, расположенными на подветренной стороне.



ЛИСТЬЯ вокруг женской шишки сосны действуют подобно забору для задержания снега. В промежутках между штакетинами забора скорость ветра снижается, и снег оседает на землю. Точно так же листья вокруг шишки вынуждают пыльцевые зерна, приносимые ветром, оседать на подветренной стороне.

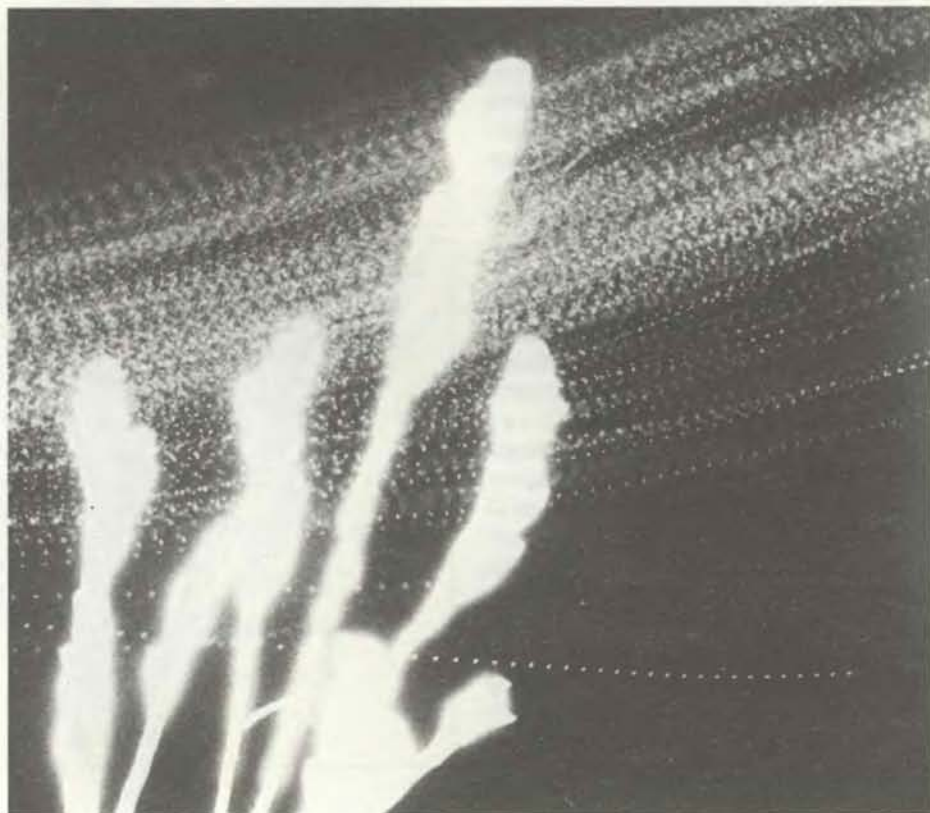
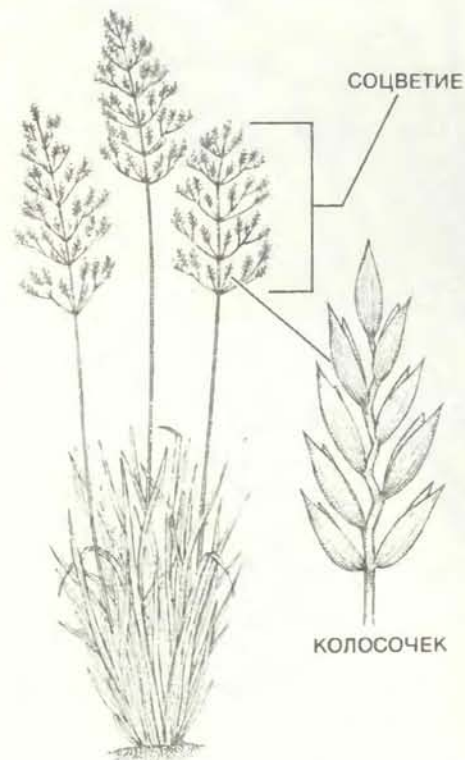
ПРОСО (SETARIA)



СОЦВЕТИЕ проса *Setaria geniculata* (слева) создает с подветренной стороны завихрения воздуха, сходные с теми, что возникают около шишки сосны. Анализ, проведенный на компьютере (справа), показал, что пыльцевые зерна падают по z-образной траектории, замедляясь по мере приближения к соцветию. Компьютер дал направление (стрел-

ки с круглой головкой) и скорость (показана цветом) пыльцевых зерен. Убывание скорости соответствует следующему порядку цветов: белый, зеленый, голубой, сиреневый, желтый, красный, светло- и темно-серый. Захваченная завихрением пыльца образует своего рода резервуар, в который «погружено» соцветие.

ЗЛАК (AGROSTIS)



ЗЛАК *Agrostis hiemalis* имеет «рыхлое» соцветие (слева). Главный стебель разветвляется на несколько более мелких, которые несут на верхушках цветки. Пыльца, сталкивающаяся с таким соцветием (справа), не оказывается в

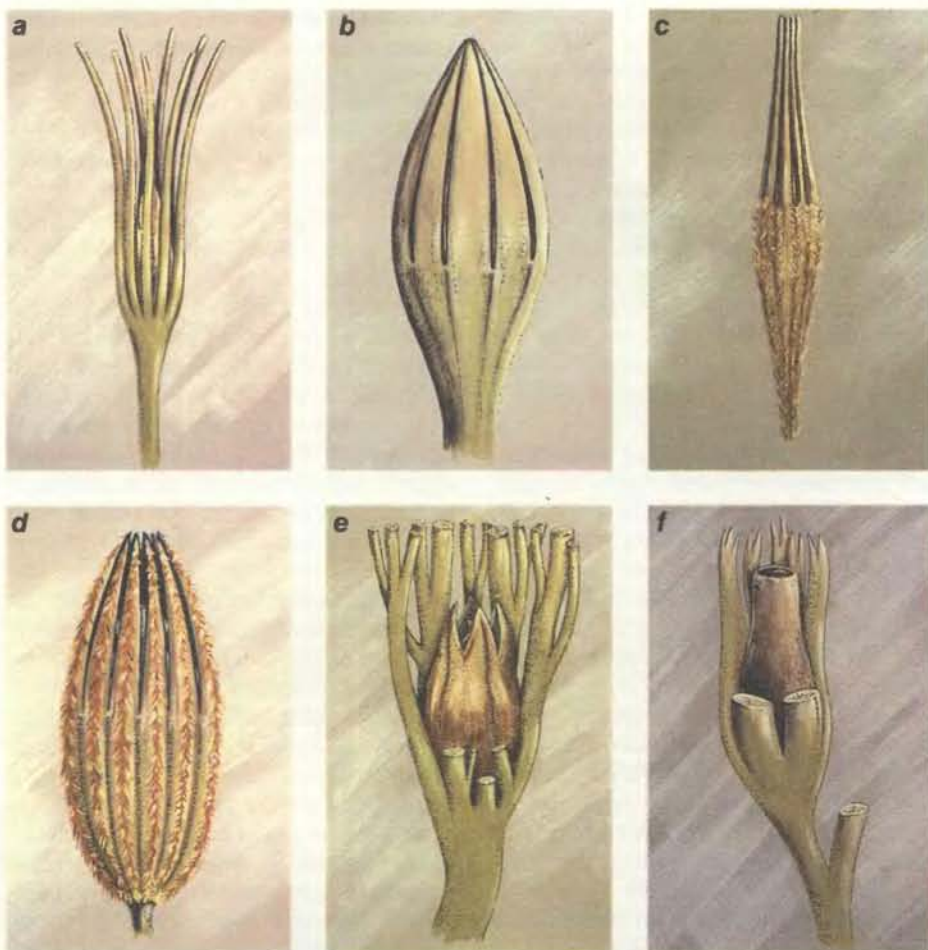
ловушке, как в случае плотных соцветий. Однако рыхлые соцветия имеют другое преимущество: при ветре все части соцветия начинают двигаться сложным образом, что дает возможность захватывать пыльцу из большого объема.

снежных заносов. В промежутках между штaketинами создаются небольшие водовороты, замедляющие скорость ветра, а следовательно, и переносимых им хлопьев снега. В результате снег падает на землю, образуя сугробы с подветренной стороны забора, и не засыпает железнодорожный путь. Точно так же листья, расположенные вокруг женской шишки сосны, снижают скорость воздуха и тем самым пыльцевых зерен, которые затем засасываются в завихрения, образующиеся над чешуйками и вокруг них. Поскольку листья окружают шишку симметричным образом, они могут задерживать частицы, приносимые ветром с любой стороны.

Укажем еще на одну дополнительную деталь, характеризующую приспособленность сосновых деревьев к захвату пыльцы: семязачаточные органы у них обычно развиваются на концах ветвей. Когда дует ветер, ветви приходят в волнообразное, почти круговое движение, давая возможность шишкам забирать пыльцевые зерна с разных уровней воздушного потока.

Подобно шишкам сосны, репродуктивные органы злаков также способны порождать особые типы завихрений. У некоторых злаков соцветия (типа метелки) развиваются на верхушках гибких стеблей и состоят из огромного числа цветков, расположенных вокруг центральной оси точно так же, как чешуйки вокруг шишки сосны. Поэтому неудивительно, что движение воздуха вокруг этих «плотных» соцветий напоминает движение воздуха вокруг женских шишек сосны. Поверхности цветков отклоняют пыльцу в области между цветками, а соцветие в целом создает воздушный поток, засасывающий другие пыльцевые зерна с подветренной стороны. Когда стебель колыхается на слабом ветру, находящиеся на его верхушке цветки «погружаются» в этот воздушный поток и тем самым получают дополнительную возможность привлечь пыльцу из воздуха.

У других злаков соцветия являются «рыхлыми» структурами, представленными одним главным стебельком и отходящими от него несколькими более мелкими, каждый из которых несет на своей верхушке один или несколько цветков. Такие рыхлые соцветия создают более слабую турбулентность, но этот недостаток частично компенсируется тем, что, качаясь на ветру, они «заметают» большую площадь. Когда главный стебель совершает гармонические колебания, более мелкие стебли следуют за ним по той же траектории, а также колыхаются



СЕМЯПОЧКИ ископаемых растений с течением времени совершенствовались в смысле аэродинамики. На рисунках *a—d* представлены самые древние виды семяпочек с возрастом 300 млн. лет. Каждая семяпочка состояла из внутренней, едва видимой яйцевой камеры, окруженной кольцом выступов. Создаваемые этими выступами завихрения располагались в стороне от открытой верхушки камеры и поэтому слабо влияли на доставку пыльцы к яйцеклетке. У более поздних семяпочек (*e, f*) различные группы выступов сливаются и укорачиваются. На краю новой «конструкции» образуется завихрение, которое затягивает приносимую ветром пыльцу. Семяпочки современных растений схожи с внутренней областью семяпочки типа *f*; их яйцеклетки окружены тканью, известной под названием интегумента.

независимо; в результате возникает сложное движение, позволяющее цветкам захватывать из воздуха довольно много пыльцы для осуществления перекрестного опыления.

ОБСУЖДАЕМЫЕ исследования носили описательный характер, но изучение физических особенностей процесса опыления позволило значительно расширить их. Моделирование на компьютере дает возможность оценить, с какой вероятностью конкретный орган, несущий семяпочку, ловит пыльцевые зерна, имеющие гипотетическую структуру. Одна из целей такого моделирования — выяснить, является ли пыльцевое зерно, принадлежащее данному виду растения, идеальным с точки зрения аэродинамики. Хотя нам известно, что семяпочки воспринимают преимущественно пыльцу собственного вида, не исключено, что эффективность опы-

ления могла бы быть выше, если бы пыльцевые зерна имели несколько иные свойства.

Как и в случае наших описательных исследований, мы помещали шишку или соцветие в аэродинамическую трубу и изучали образующиеся при этом потоки воздуха. Затем мы приписывали гипотетическому пыльцевому зерну определенные размер, форму и вес. На основе аэродинамических принципов и имеющихся данных о реальных воздушных потоках компьютер определял число пыльцевых зерен, которые должны достигать семяпочки (или рыльца).

К настоящему времени мы изучили 20 ветроопыляемых видов растений. Большая часть из них имеет пыльцевые зерна, которые по своим аэродинамическим свойствам соответствуют женским шишкам или соцветиям. Однако некоторые виды производят пыльцу, физические свойства которой

далеки от оптимальных. Часть из них не может рассчитывать на то, что ветер доставит им достаточное число пыльцевых зерен для опыления. Некоторые виды могут использовать в качестве переносчика пыльцы наряду с ветром и насекомых; воспроизведение других видов может происходить и путем вегетативного размножения. Эти растения, разумеется, выживают в условиях несоответствия между аэродинамическими свойствами и структурой пыльцы потому, что в запасе у них имеется альтернативный вариант воспроизведения.

Тот факт, что наиболее эффективной системой ветроопыления обладают растения, не имеющие дополнительных механизмов воспроизведения, наводит на мысль, что их особые аэродинамические свойства могли возникнуть в ходе адаптации, вызванной необходимостью захватывать пыльцу. Однако, возможно и то, что структура растений является удачным продуктом адаптации к другим условиям окружающей среды. Например, значительное число семян в шишках сосны или в соцветиях злаков может быть результатом отбора, направленного на упаковку большого числа половых единиц в маленьком объеме. Точно так же и расположение чешуек в шишке или цветков в соцветии могло быть результатом отбора в ответ на другие воздействия среды, для которых нашлось единое решение.

Дать здесь однозначный ответ чрезвычайно трудно, но исследования, проведенные мною и моими коллегами на ископаемых растениях, подтверждают ту точку зрения, что способность забирать пыльцу из воздуха может играть существенную роль в эволюции ветроопыляемых растений. Помимо прочего мы изучали способность к захвату пыльцы у ископаемых семян (часто это единственный орган, сохраняющийся от древнего растения).

ПЕРВЫЕ растения с семяпочками появились впервые около 350 млн. лет назад. Хотя, конечно, мы не имеем никаких данных о способах их опыления, можно с большой вероятностью говорить об участии ветра. Разрабатывая эту концепцию, наша группа создала искусственные семяпочки ископаемых растений (близкие по размерам к естественным). Мы помещали их в аэродинамическую трубу и пускали в поток пыльцу различных типов. Результаты этого эксперимента позволили сделать весьма простое заключение: среди всех форм семян, известных в истории развития семенных

растений, именно те семяпочки, форма которых была лучше всего приспособлена к захвату пыльцы из воздуха, наиболее близки к семяпочкам современных растений. Природа, по-видимому, просто отбрасывает наименее эффективные структуры.

Одна такая неэффективная семяпочка (или, точнее, предшественница семяпочки) состояла из короткой центральной яйцевой камеры, окруженной кольцом ветвобразных выступов; пыльцевые зерна достигали яйцеклетки, падая в отверстие на верхушке камеры. В нашем опыте выступы действовали подобно задерживающим снег решеткам, замедляющим скорость воздушного потока, но при этом они создавали слишком слабую турбулентность над отверстием. Поэтому большое число пыльцевых зерен падало на внешнюю сторону центральной камеры, не достигнув отверстия. В противоположность рассмотренной модели яйцевые камеры ныне живущих семенных растений прикрыты не отдельными структурами, а сплошным слоем ткани, носящей название интегумента, который прерывается только в одном месте — у микропиле. У многих растений с открытыми семяпочками струи воздуха, столкнувшись с интегументом, направляются к микропиле и попадают в небольшой вихрь над ним. Такой тип турбулентности обеспечивает создание резервуара для пыльцевых зерен, значительная часть которых попадает в семяпочку.

Имеющиеся в настоящее время данные об ископаемых растениях дают возможность утверждать, что интегумент — это результат редукции и слияния выступов, прикрывавших семяпочки древних растений; в то же время наши опыты показали, что на изменения структуры влияет необходимость в совершенствовании способа захвата пыльцы. Очень может быть, что в процессе эволюции благополучно прошли отбор те растения, которые имели семяпочки наиболее обтекаемой формы, поскольку такие семяпочки обеспечивали наиболее эффективное опыление и, следовательно, получение высокого урожая семян.

Независимо от того, какие факторы действовали в ходе эволюции ветроопыляемых растений, ясно, что опыление у большинства из них определяется далеко не случайными событиями. Ботаникам давно известно, что некоторые растения, например, выделяют липкие капли или используют для захвата пыльцы щупальцеподобные выросты. Большинство ветроопыляемых растений, кроме того, растут группами, благодаря чему

сокращается расстояние, которое должны преодолеть пыльцевые зерна. Теперь мы показали, что некоторые виды растений «выработали» еще одну уловку: управляя локальными воздушными потоками, они используют для успешного воспроизведения силу ветра.

Издательство
МИР
предлагает:

Ж. Адомиан
СТОХАСТИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ

Перевод с английского

Монография известного американского ученого посвящена изложению теории стохастических систем и ее применению в решении практических задач.

Основное содержание: Функции Грина и теория систем. Общий обзор теории стохастических процессов. Стохастические операторы и стохастические системы. Линейные и нелинейные стохастические дифференциальные уравнения. Ускорение сходимости итеративного процесса. Приближенные решения нелинейных стохастических уравнений. Сравнительный анализ метода разложения и метода Пикара. Стохастические уравнения в частных производных. Стохастические системы и общая теория стохастических уравнений.

Для специалистов в области проектирования систем и комплексов автоматического управления.

1987, 22 л. Цена 2 р. 30 к.

Жители Москвы и пригородной зоны столицы могут купить нужную книгу в Доме книги. Остальные покупатели — в пределах СССР — направляют заказы в письменном виде по адресу: 121019, Москва, Калининский проспект, дом 26, п/я 42, Московский Дом книги, магазин №200.



Память в старости

ЯВЛЯЕТСЯ ли ослабление памяти неизбежным атрибутом старения? Результаты исследований, которые обсуждались недавно на конференции Американской неврологической академии, позволяют предполагать, что некоторые симптомы утраты памяти отнюдь не неизбежны для людей преклонного возраста при условии, что они обладают крепким здоровьем.

Э. Косс и ее сотрудники из Лаборатории неврологии Национального геронтологического института проверяли с помощью тестов способность к хранению в памяти специальной информации у 60 человек в возрасте от 20 до 85 лет. Все обследуемые были совершенно здоровы и активны; особое внимание обращалось на то, чтобы исключить из их числа людей, у которых могло быть по тем или иным причинам, например из-за повышенного кровяного давления, нарушено функционирование мозга. (Среди кандидатов на обследование старше 60 лет было «забраковано» 60—80%.) Испытуемые, кроме того, имели хорошее образование. Поэтому результаты характеризуют не средние способности, а верхний предел той степени сохранения памяти, которой можно добиться при хороших исходных физических данных и в благоприятных условиях.

Ранее другие исследователи, занимавшиеся этой проблемой, обнаружили, что возраст по-разному влияет на два вида умственных способностей. Способность понимать речь и говорить, по-видимому, у здоровых людей с возрастом не уменьшается. А вот способность представлять объекты в пространстве и мысленно манипулировать ими действительно ослабевает с годами. Косс с коллегами установили, что возрастные изменения этих способностей характерны и для соответствующих видов памяти. А именно, возраст никак не сказывался на памяти, связанной с речью (например, требовалось запомнить ряд слов или содержание рассказа). Память же, связанная со зрительным восприятием пространственных отношений (например, нужно было воспроизвести по памяти рисунок), ухудшалась с возрастом.

Поскольку утрата памяти у пожилых людей с крепким здоровьем, судя по всему, касается лишь некоторых специфических видов информации, исследователи предполагают, что это сопутствующий эффект спада в дру-

гих процессах. Причиной трудностей в запоминании таких объектов, как рисунки, может быть не ослабление механизмов памяти, а неспособность к усвоению такой информации — ведь установлено, что с возрастом уменьшаются скорость переработки информации в мозгу и способность сосредоточиваться. Концентрация внимания, запоминание и воспроизведение пространственных соотношений, возможно, представляют для мозга большую нагрузку, чем речь. Вероятно также, что для выполнения задач, требующих напряжения этих способностей, нужен более высокий уровень мотивации, которая также убывает с возрастом. Что касается выраженных признаков ослабления памяти у некоторых пожилых людей, то, как считают Косс и ее сотрудники, они являются, как правило, следствием болезни, а не нормального старения.

На смену преобразованию Фурье

РАЗРАБОТАН алгоритм, который, возможно, придет на смену преобразованию Фурье, одному из наиболее часто используемых математических аппаратов в современной науке и технике. Преобразования Фурье, позволяющие представить ситуацию в виде удобных математических уравнений, помогают исследователям анализировать различные явления — от химической реакции до спектра звезд. Р. Брейсуэлл из Станфордского университета сказал, что придуманный им алгоритм может делать то же самое, что и преобразование Фурье, но примерно вдвое быстрее.

Преобразование Фурье названо по имени французского математика Жана Батиста Жозефа Фурье. В 1815 г. он опубликовал статью, в которой показал, как любую кривую, какой бы нерегулярной и непериодической она ни была, можно представить в виде суммы нескольких синусоидальных функций, которые графически выглядят как равномерные периодические волны. Пикам на кривой соответствуют совпадения гребней синусоид; плоские участки можно представить сочетанием волн, у которых гребни и впадины погашают друг друга.

До 60-х годов преобразования Фурье оставались основным математическим средством, используемым при решении различных специальных научных задач. Затем Дж. Кули из Института перспективных исследований в Принстоне и Дж. Туки из фир-

мы Bell Telephone Laboratories показали, как расчеты, выполняемые с помощью преобразований Фурье, можно упростить путем применения метода разбиения совокупности данных на «поддающиеся управлению» подмножества. Использование этого метода, получившего название быстрого преобразования Фурье, упрощается еще больше, если он реализуется на вычислительной машине, и это способствовало его широкому распространению.

Алгоритм Брейсуэлла основан на исследованиях другого ученого из Bell Laboratories Р. Хартли, который в 1942 г. предложил метод, альтернативный преобразованию Фурье. В отличие от преобразования Фурье, в котором используются комплексные числа, представляющие собой сочетания вещественных и мнимых (таких, как $\sqrt{-1}$) чисел, уравнения Хартли включают только вещественные числа. Вычисления с комплексными числами на компьютерах занимают больше времени, чем с вещественными.

В 1982 г. Брейсуэлл опубликовал статью о том, как, используя идеи Хартли, можно упростить преобразование Фурье. По настоянию своих коллег из Станфордского университета Брейсуэлл разработал алгоритм, реализующий «быструю» версию метода Хартли. Автор алгоритма использует его в собственных исследованиях, связанных с изучением солнечных пятен. По словам Брейсуэлла, на его собственном персональном компьютере алгоритм обрабатывает 1024 точки (соответствующие зарегистрированным данным о флуктуациях солнечных пятен во времени) за 6 мин; быстрое преобразование Фурье выполняет ту же работу за 10 мин.

Брейсуэлл, который недавно запатентовал свой алгоритм, назвал его преобразованием Хартли. В Патентном бюро США, однако, он значился как алгоритм Брейсуэлла, а некоторые называют его алгоритмом Хартли — Брейсуэлла. Как сказал Брейсуэлл, история математики убедила его в том, что существует весьма слабая связь между именем и первоначальным изобретением. Он не исключает возможности, что преобразование Фурье было открыто Леонардом Эйлером, швейцарским математиком, в 70-х годах XVIII в. И что удивительно, версии быстрого преобразования Фурье были обнаружены в рукописях немецкого математика Карла Фридриха Гаусса, относящихся к 1805 г.

Арки и своды в древней архитектуре Ближнего Востока

Из кирпича-сырца и глиняного раствора строители в Древнем Египте, Месопотамии и Восточном Средиземноморье сооружали арки и своды, отличавшиеся совершенством форм и долговечностью. Их методы строительства и сегодня заслуживают изучения

ГУС В. ВАНБИК

У ИСТОРИКОВ архитектуры считается чуть ли не триумфом, что арки и своды изобрели древние римляне. Действительно, в Древнем Риме эти сооружения использовались очень широко, как в малом, так и в большом, даже монументальном масштабе, — в мостах и акведуках, триумфальных арках и амфитеатрах, которые до сих пор еще встречаются в Южной Европе. И все же арка была изобретена не древними римлянами и не они первыми объединили несколько арок, чтобы получить свод. Ко времени завершения строительства Колизея арки и своды существовали на Ближнем Востоке уже в течение примерно 3000 лет.

Лишь немногие археологи, занимающиеся этой проблемой, едины в том, что арки и своды впервые появились в болотистых районах на юге Древнего Египта и Месопотамии. Их прототипом была конструкция, сооруженная из связок тростника, которые устанавливали вертикально на земле, сгибали и обвязывали сверху — в результате получалась крыша. На древнеегипетских рисунках и в иероглифах встречаются изображения тростниковых сводов над храмами, хижинами в форме лодок и другими сооружениями. Ни один из таких сводов не уцелел, однако сохранился способ их сооружения, который и сейчас применяется на юге Ирака, в болотистом районе близ места слияния рек Тигра и Ефрата, где арабы все еще строят большие сводчатые постройки из тростника.

Снаружи поверхность некоторых из этих сооружений покрывают обмазкой из глины. Такой тип сооружения восходит, вероятно, к промежуточной стадии эволюции свода. В конце концов большинство строите-

лей на Ближнем Востоке отказались от тростника (который можно было добыть только в болотистых районах) и стали использовать более надежный строительный материал: высушенный на солнце кирпич-сырец (далее просто сырец. — *Ред.*). Почти все уцелевшие арки на Ближнем Востоке сооружены из сырца или адобы (по-арабски at-ṭīb). Даже после появления обожженного кирпича сырец продолжал оставаться основным строительным материалом на Ближнем Востоке.

Причина этого ясна. Сырец изготавливают из наиболее доступных компонентов — глины, воды, измельченной соломы и песка — и он затвердевает не в обжиговой печи, а на солнце, поэтому это один из самых дешевых строительных материалов, и его производство является скорее трудоемким, чем энергоемким. Кроме того, из-за своей низкой теплопроводности сырце-наиболее подходящий материал для засушливых районов, где в течение суток температура воздуха меняется в широких пределах. Когда в летний день температура превышает 32 °С, то внутри помещения, построенного из сырца, она не выше 27 °С, в здании же, построенном из бетона, в котором отсутствуют кондиционеры, она может превышать 38 °С.

В районах с засушливым климатом сводчатая конструкция потолка или крыши также является наиболее подходящей. В помещениях не с плоскими, а сводчатыми потолками горячий воздух поднимается выше, поэтому в таких помещениях обычно прохладнее. Кроме того, во многих районах Ближнего Востока отсутствуют леса, поэтому деревянные конструкции для поддержания плоского потолка ис-

пользуются редко. Своды, которые строят из сырца, не требуют деревянных балок. Сводчатая конструкция является не только практичной и экономичной, но и придает неповторимое изящество покрытию сооружения.

В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ раскопках на Ближнем Востоке обнаружено три типа арок и сводов, сооруженных из сырца. Первый тип арки, который ближе всего к современному, называется полуциркульной аркой. В такой арке первому ряду кирпичей придавали наклон вовнутрь с помощью мелких камней и черепков, подмешанных в глиняный раствор: их подкладывали под кирпичи вдоль внешней поверхности стены. Кирпичи (обычно прямоугольные или квадратные, длиной 30—40 см и толщиной 9—12 см) укладывали так, чтобы их длинная узкая грань была продолжением стены. Наклон кирпичей увеличивался от слоя к слою, пока арка не замыкалась в верхней части, где они имели вертикальное или близкое к тому положение. В арочных дверных проемах и коротких сводчатых коридорах ряды кладки обычно делались способом «кирпич на кирпич», однако в длинных сводах, как и в вертикальных стенах, кирпичи укладывались «вперевязку».

Судя по всему, арки и своды произошли от способа кладки с напуском, с древнейших времен распространенного на Ближнем Востоке и в Средиземноморье. Этот способ состоит в том, что последовательные ряды кирпичей укладываются горизонтально так, чтобы каждый вышележащий ряд выступал над нижележащим. В конструкции одного из зданий в Тель-Разуке (Ирак), построен-



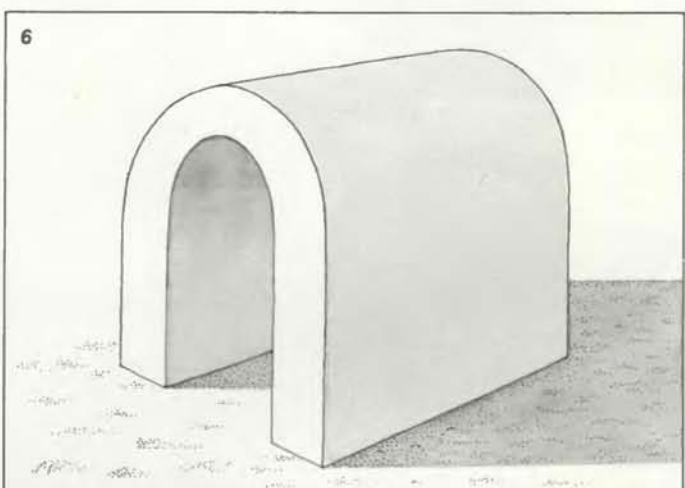
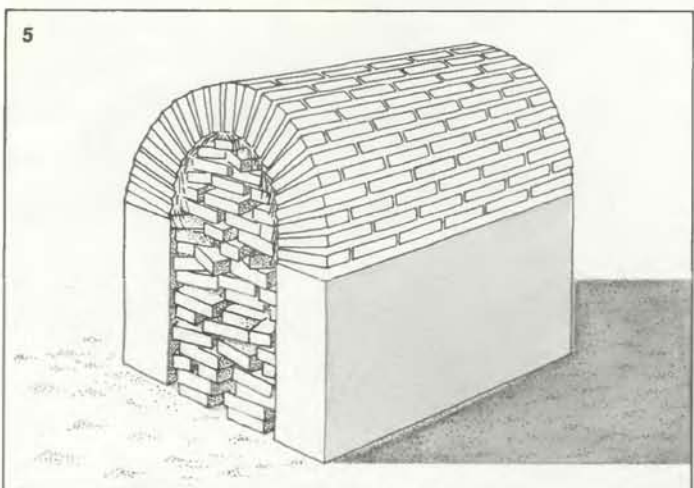
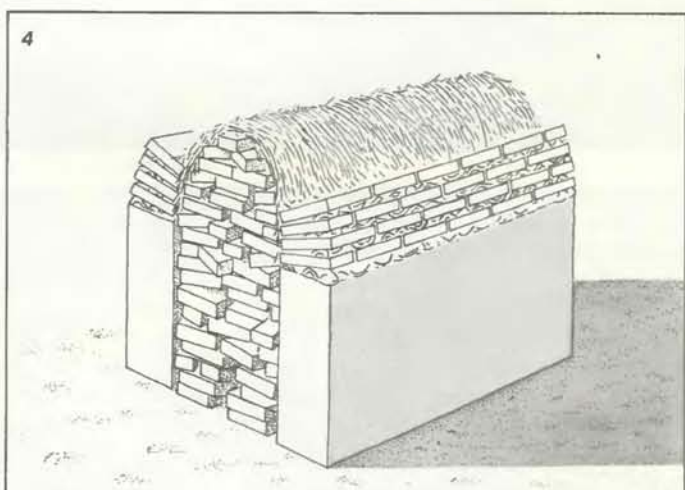
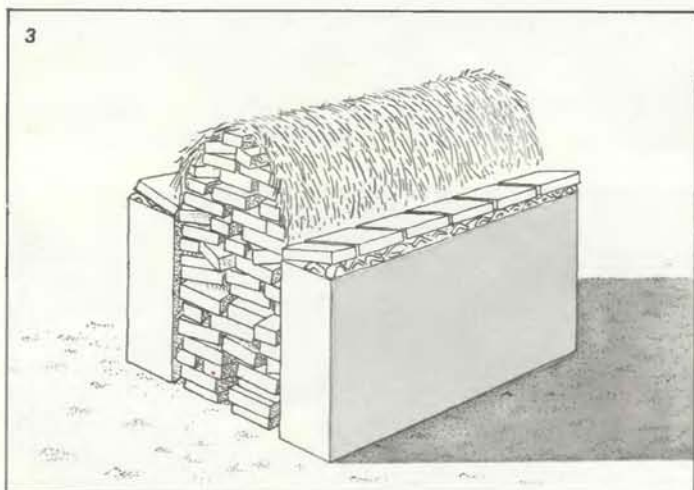
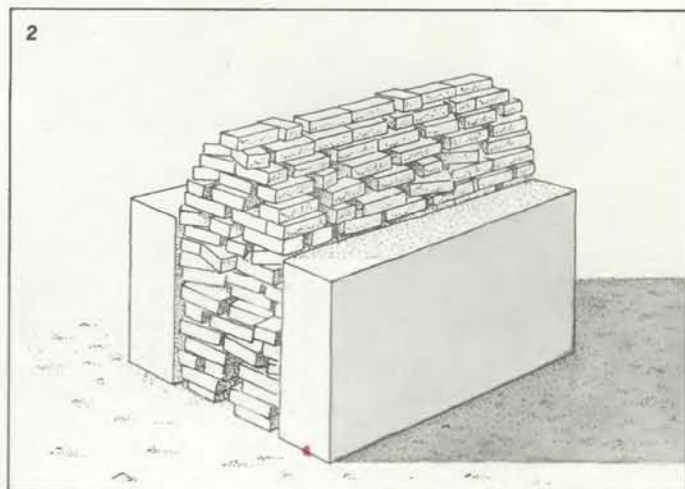
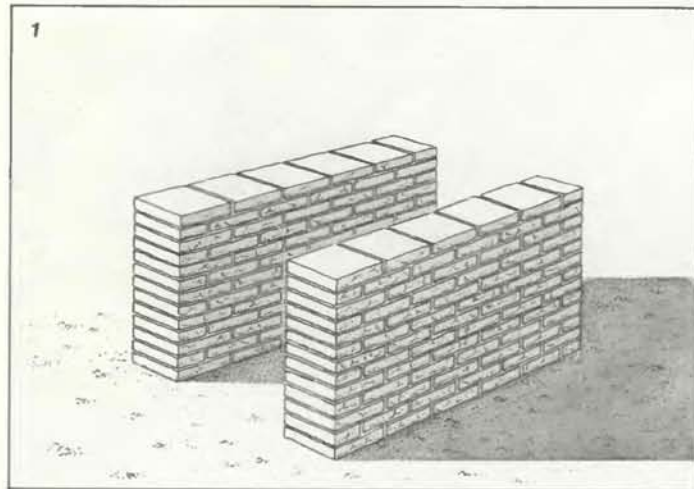
СВОДЫ в погребальном комплексе фараона Рамсеса II, в период правления которого в 13 в. до н. э. египетская империя достигла наивысшего расцвета. Комплекс, называемый Рамессеумом, находится вблизи Луксора в Египте. Каждый амбар перекрыт сводом, сооруженным методом наклонной кладки: кирпичи установлены на боковых стенах с небольшим наклоном к торцевой стене (торцевые сте-

ны не уцелели). Каждый свод состоит из четырех рядов кладки. На нижней фотографии, где показана верхняя часть боковой стены, видно, что уцелевшие ряды кирпичей имеют наклон в противоположные стороны. В амбарах хранились запасы пищи, предназначавшиеся для фараона в его потусторонней жизни.

ного примерно в 2900 г. до н.э., есть элементы, которые можно назвать переходными эволюционными формами: крыши, сооруженные с использованием как ступенчатой, так и наклонной кладки.

В Древнем Египте полуциркульные арки и своды время от времени строили (главным образом в гробницах и монументальных въездах) в большинстве периодов династической эпохи. Древнейшее из известных соору-

жений такого типа обнаружено в Хелуане, в гробнице, относящейся к концу I династии (ок. 3000 г. до н.э.). Несколько более поздним, но весьма показательным примером являются огромные ворота мастабы (ступенча-



ПОЛУЦИРКУЛЬНЫЕ СВОДЫ были распространены на Ближнем Востоке с четвертого тысячелетия до н. э. и примерно до середины первого тысячелетия н. э. При сооружении полуциркульного свода сначала возводились боковые стены (1), затем между ними укладывали без раствора сырец (2), служивший временной опорой для свода. Кирпичную кладку начинали от двух боковых стен. Чтобы первому и последующему слоям кирпичей (3, 4) придать на-

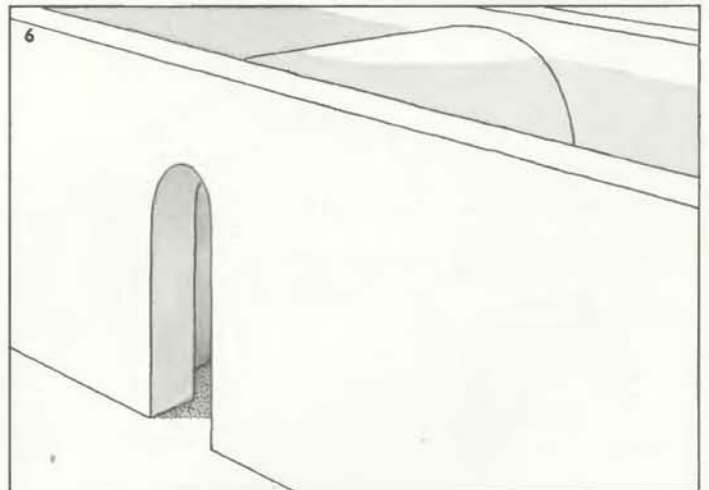
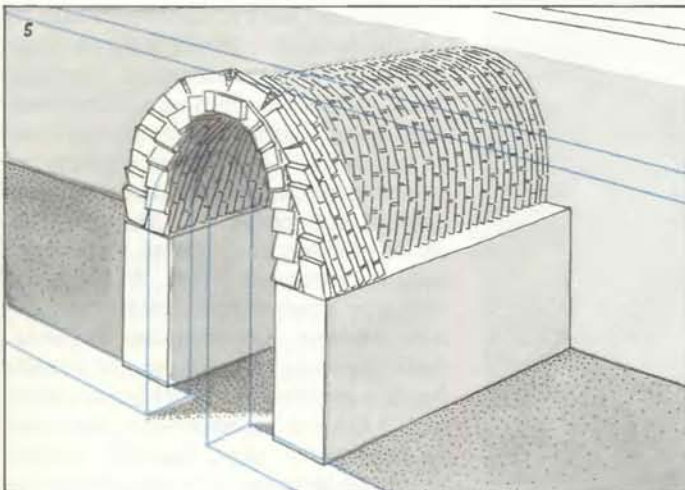
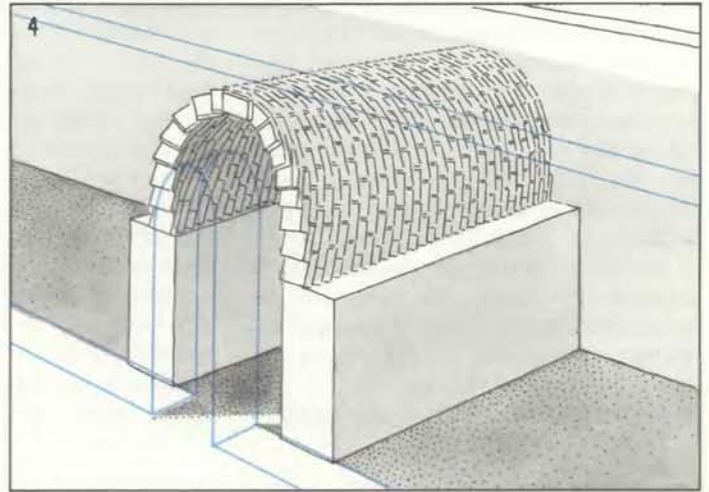
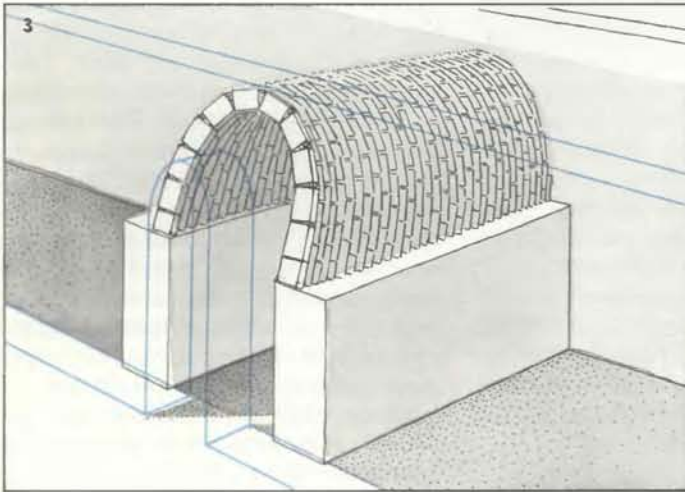
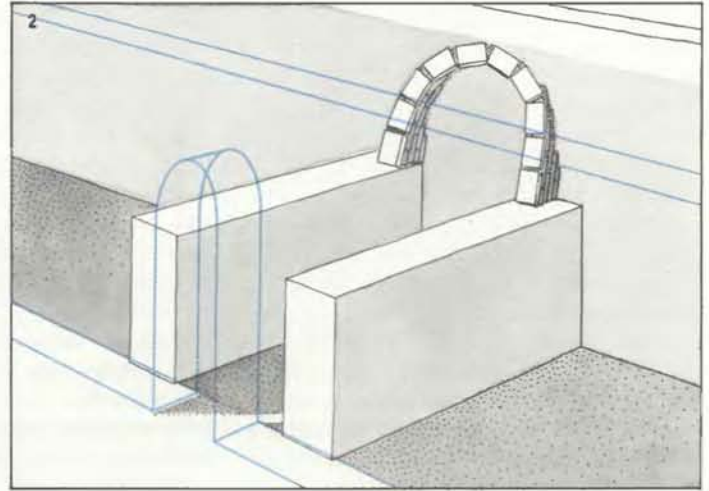
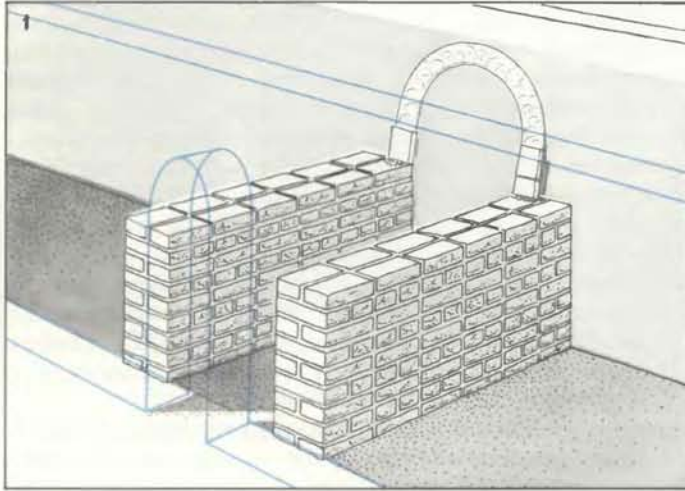
клон, под них подкладывали небольшие камни и черепки. Изображенные здесь кирпичи типичны для Месопотамии, они имеют квадратную форму и их ширина составляет 35 см. Кирпичи в последующих слоях располагались «вперевязку». В конечном итоге свод замыкался в верхней части (5). Через несколько дней, после высыхания раствора, кирпичную опору удаляли, а свод покрывали обмазкой для защиты его от ветра и дождя (6).

той гробницы с наклонными боковыми стенами) в Гизе, датируемые временем IV династии (2680—2560 гг. до н.э.), а также арочные ворота, принадлежавшие сановнику Нефери. Форма кирпичной кладки внутри арки

напоминает изогнутые связки тростника, а сами кирпичи имеют два полукруглых в сечении профиля на поверхности, обращенной вовнутрь. Кроме того, изнутри арка окрашена в ярко-красный цвет — традиционный цвет

сухого тростника в искусстве Древнего Египта. Эта несомненная имитация тростника служит доказательством того, что прототипом первых арок из сырца были тростниковые арки.

Преимущества полуциркульных



СВОДЫ, сооруженные методом наклонной кладки, не требовали временной опоры. Контур свода намечался на торцевой стене толстым слоем раствора. Первый кирпич прикладывался к этому слою (1), при этом кирпичу придавали наклонное положение с помощью подложенных под него мелких камней и черепков. (На рисунке показаны египетские кирпичи прямоугольной формы.) Второй кирпич соединялся большой гранью с первым с помощью раствора и на него ставился (с небольшим наклоном вовнутрь) третий

кирпич, который сцеплялся раствором со стеной. Постепенно арка замыкалась сверху (2). Каждая последующая арка сцеплялась раствором с предыдущей до тех пор, пока не достигалась противоположная торцевая стена (3). Оставшееся треугольное пространство заполнялось арками меньшего размера, а также камнями, черепками и раствором (4). Часто поверх первого ряда кладки делали второй ряд из кирпичей, наклоненных в противоположную сторону (5). Свод затем покрывали обмазкой (6).

арок и сводов использовались более полно в Месопотамии, где они, вероятно, появились независимо от египетских и примерно в одно время с ними. Древнейшим из известных примером является зал, построенный в Тепе-Гавре в конце четвертого тысячелетия до н.э., в период зарождения шумерской цивилизации. В Уре, наиболее известном из шумерских городов, гробницы царя Абарги и царицы Шубад, построенные около 2500 г. до н.э., имеют полуциркульные сводчатые крыши и полуциркульные арочные дверные проемы.

Наиболее впечатляющие полуциркульные арки и своды находятся в историческом месте Тель-аль-Римахе, датированном концом третьего — первой половиной второго тысячелетия до н.э. В его храмовом комплексе сводчатые потолки имеются в помещениях, ширина которых достигает 3,8 м; лестница поддерживается восемью последовательно увеличивающимися по высоте арками, а три сводчатых коридора пересекают монументальный пандус, соединяя одну террасу с другой. В комплексе есть также арочные дверные проемы, сводчатая погребальная камера и ряд полуциркульных арок на двух уровнях, поддерживавших снизу террасу или, возможно, даже здание.

Недавно в Израиле археологами обнаружены первые в Восточном Средиземноморье примеры полуциркульных арок из сырца. Самая древняя из них, датированная 18 в. до н.э., — это арочные ворота в Тель-Дане, образо-

ванные из трех concentрических рядов арочного кирпича. В Тель-Йеммехе, где я производил раскопки, четыре полуциркульные арки поддерживали перекрытие, отделявшее топку от камеры обжига в большой печи для обжига гончарных изделий, сооруженной филистимлянами в 12 в. до н.э. В другом месте Тель-Йеммеха, в поперечной стене, поддерживавшей крышу круглого амбара, построенного в 3 в. до н.э., мною обнаружена полуциркульная арка необычно большого (4,25 м) пролета, сложенная из сырца.

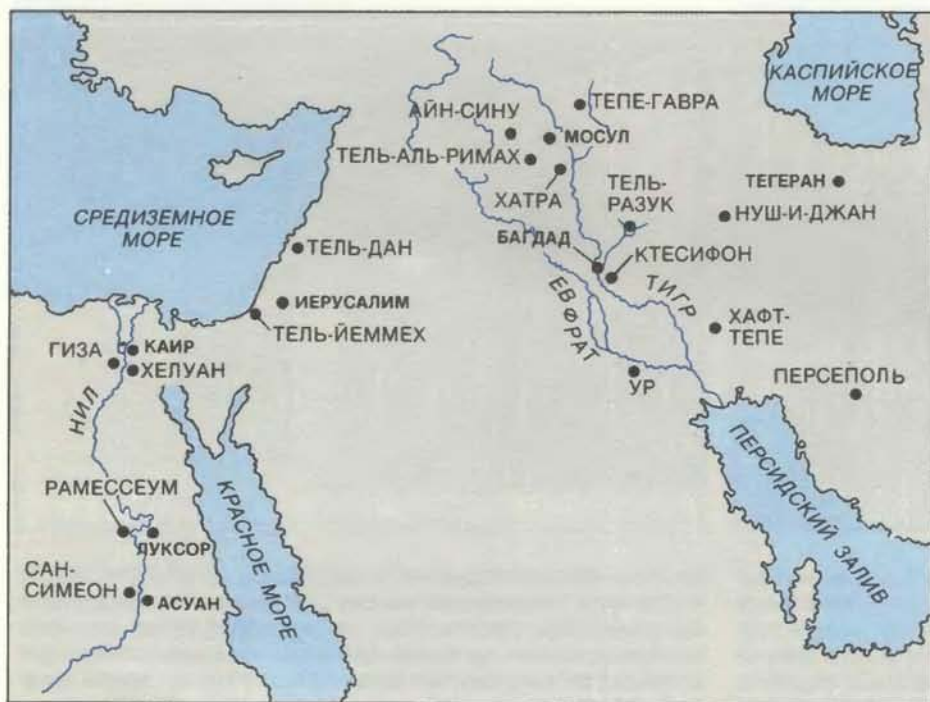
Результаты раскопок показывают, что полуциркульные арки и своды широко использовались на Ближнем Востоке — от южного Египта до Западной Персии, — начиная со второй половины четвертого тысячелетия до н.э. и примерно до середины первого тысячелетия до н.э. Полуциркульная конструкция, однако, имела серьезный недостаток: пока новая арка или свод высыхали, необходимо было временно поддерживать их в середине (центрировать). Из-за нехватки леса чаще всего это делали с помощью не связанной раствором «башни» из сырца, которую, видимо, покрывали циновкой. Заполнение дверного проема или всего помещения кирпичами, которые после затвердевания арки или свода нужно было удалять, требовало много времени и труда.

Другой метод сооружения свода, называемый методом наклонной кладки, не требовал подпорки. Кирпичи в этом случае использовались более легкие, чем в полуциркульных

сводах. Они имели меньший размер, были тоньше и изготавливались из глиняного раствора, в который добавляли больше соломы, чем обычно. Однако главным отличием этого метода является не меньший вес кирпичей, а особый способ их кладки: кирпичи ставили на меньшую грань, а широкой гранью первый их ряд опирался на одну из торцевых стен свода (см. рисунок на с. 71). Как и в полуциркульном своде, кирпичи имели наклон вовнутрь, что достигалось с помощью мелких камней или черепков, подложенных под их меньшую грань. Готовый свод состоял из ряда наклонных кирпичных арок; пространство, остававшееся у противоположной торцевой стены, заполняли меньшими по ширине арками, обломками кирпича, черепками, камнями и раствором.

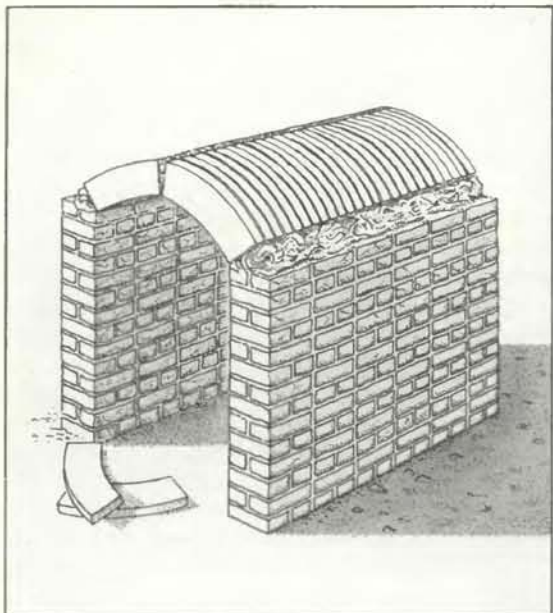
Поскольку каждая предыдущая арка поддерживала следующую, сооружение свода методом наклонной кладки можно было остановить в любое время, не прибегая к внутренним опорам. Скольжение кирпичей предотвращал толстый слой глиняного раствора между арками. Впитывание влажного раствора повышалось за счет того, что каждый кирпич с лицевой стороны (в Египте иногда с двух сторон) имел ряд глубоких канавок, которые пальцами проделывал каменщик, пока кирпич еще не высох. За счет этого площадь соприкосновения с раствором увеличивалась, что улучшало сцепление между кирпичами.

Метод наклонной кладки имел несколько разновидностей. Иногда свод начинали строить от обеих торцевых стен. Этот способ имел серьезный недостаток — вместо заполнения малого треугольного пространства с одной стороны, каменщикам приходилось заполнять большее эллиптическое пространство в центре, где смыкалась арка. Часто после перекрытия помещения сводом толщиной в один кирпич его упрочняли дополнительными рядами, или слоями, кладки над первым слоем кирпичей. В Месопотамии, где обычно применяли квадратные кирпичи, для достижения желаемой толщины свода было достаточно одного дополнительного слоя кирпичей. В Египте же, наоборот, чаще всего применяли узкие кирпичи прямоугольной формы, поэтому своды состояли из четырех и более слоев. Чередующиеся слои имели наклон в противоположные стороны: первый слой примыкал к одной торцевой стене, второй — к другой и т. д.



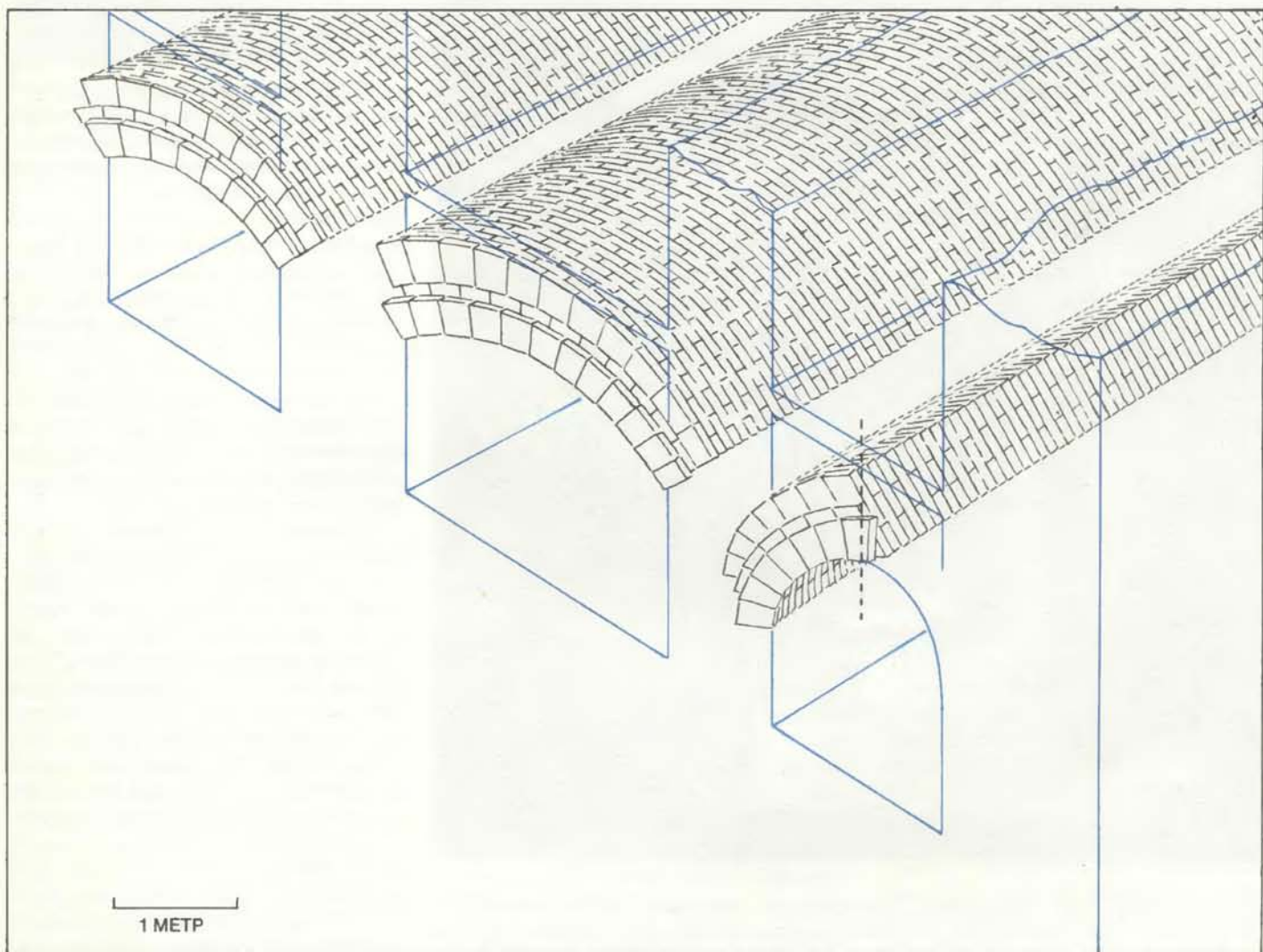
ИСТОРИЧЕСКИЕ МЕСТА БЛИЖНЕГО ВОСТОКА, в которых археологами обнаружены кирпичные своды и арки. Находки сделаны в Египте, Месопотамии (долине Тигра и Ефрата), Восточном Средиземноморье и Ираке.

САМЫЙ ранний пример свода, сооруженного методом наклонной кладки, находится в Хелуане, в той же



РЕБРИСТЫЕ СВОДЫ сооружались из пар длинных, слегка изогнутых сырцовых кирпичей, которые смыкались друг с другом над средней осью помещения. Пространство между самими кирпичами, а также между ними и боковыми стенами заполняли раствором и черепками. В Нуш-и-Джане (Иран) ребристые своды поддерживали пол (справа) вер-

хнего помещения в храме, сооруженном между 750 и 600 гг. до н. э. Длина кирпичей в своде составляла примерно 120 см. Раскопки в этом месте производились Дэвидом Строначем, работающим в настоящее время в Калифорнийском университете в Беркли.



ПРИМЕНЕНИЕ ФАСОННОГО КЛИНЧАТОГО КИРПИЧА позволило сооружать более прочные арки и своды. Старейшие своды этого типа обнаружены в Тель-Йеммехе (Израиль) в ассирийском здании, построенном в 7 в. до н. э. Три

комнаты в подвальном помещении отличаются по ширине, однако потолочные своды сооружались одной и той же высоты за счет использования кирпичей особой формы и уплощения сводов над более широкими комнатами.

самой гробнице, относящейся к концу I династии (примерно 3000 г. до н. э.), в которой обнаружен древнейший в Египте свод полуциркульного типа. Совершенство свода, сооруженного методом наклонной кладки, позволяет предположить, что этот метод уже использовался прежде и что более древние образцы либо не сохранились, либо еще не обнаружены. Во многих сводах, относящихся ко времени IV династии, сохранились следы экспериментирования, состоявшего главным образом в применении кирпичей различной формы. Одним из

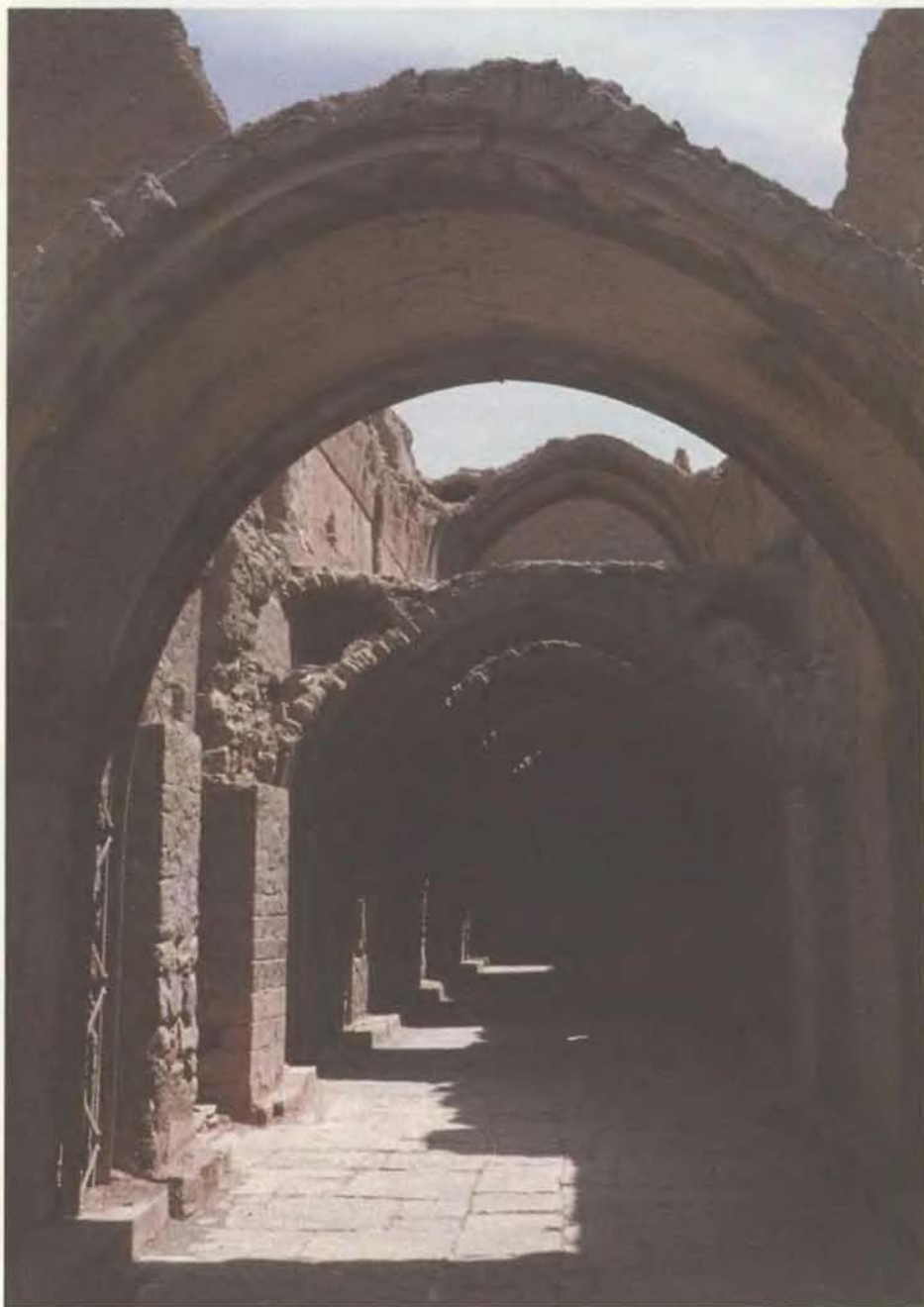
интереснейших результатов такого экспериментирования является свод в масштабе жреца Сабефа в некрополе Гизы. Кирпичи в этом своде имеют треугольные очертания с обеих сторон, что позволяло перевязывать их с соседними кирпичами в одной и той же арке. Теоретически такая конструкция должна повышать прочность свода. Однако усушка кирпичей по мере высыхания очень часто ухудшала их подгонку, и треугольные очертания обычно также нарушались во время сооружения свода. Возможно, именно этим объясня-

ется то, что до сих пор не удалось обнаружить другие своды с перевязанными кирпичами.

В противоположность этому цилиндрические своды, построенные методом наклонной кладки из прямоугольного кирпича, встречаются в зданиях, относящихся ко всем периодам истории Египта, включая современный. Эти своды использовались в погребальных камерах и в примыкающих к ним комнатах для жертвоприношений, в качестве несущей конструкции для потолков и крыш в обычных домах, амбарах, мечетях и монастырях, а также в куполообразных вентиляционных камерах на плоских крышах. В конечном итоге своды, построенные методом наклонной кладки, вытеснили полуциркульные своды. Полуциркульная конструкция оставалась наилучшей для дверных проемов или бесторцевых сводов, которые не имели торцевой стены, необходимой для сводов, сооруженных методом наклонной кладки. Другие же ее применения были обусловлены главным образом традицией.

Самые лучшие своды династической эпохи находятся в Луксоре, в амбарах, сооруженных фараоном Рамсесом II (время правления — примерно с 1290 по 1224 г. до н. э.) в Рамессеуме — погребальном комплексе. Длинные, узкие амбары содержали запасы пищи, предназначенные для фараона в его потусторонней жизни. В каждом хранилище амбаров боковые стены завершались сверху четырьмя рядами ступенчатой кладки; ступени образуют широкие опорные площадки, на которых сооружены массивные своды. Каждый свод состоит по крайней мере из четырех рядов кирпичей, уложенных методом наклонной кладки, при этом чередующиеся ряды имеют наклон к противоположным торцевым стенам.

Необычные «адаптационные» (по форме и назначению) свойства сводов, построенных методом наклонной кладки, наиболее хорошо заметны в архитектуре монастыря св. Симеона в Асуане, построенного коптами в 7 в. н. э., т. е. примерно через 2000 лет после сооружения Рамессеума. Своды протяженностью во всю длину церкви (сохранившиеся только по бокам алтаря) не были обычными цилиндрическими сводами: первоначально их пересекали поперечные своды в нефе. В здании, где находились монашеские кельи, свод, построенный методом наклонной кладки и перекрывающий коридор первого этажа, представлял собой одновременно совершенную вентиляционную систему. Второстепенные своды, занимающие пространство, ограниченное кон-



МОНАСТЫРЬ СВ. СИМЕОНА, построенный коптами в Асуане (Египет) в 7 в. н. э., имеет наиболее выразительные примеры сводов, сооруженных методом наклонной кладки. На фотографии показан коридор в корпусе монастырских келий. Своды, которые впоследствии были укреплены стальными конструкциями, поддерживали пол другого коридора на втором этаже. Второстепенные своды между главными сводами и стенами коридора служили воздуховодами в каждую келью.



СОВРЕМЕННЫЕ СВОДЫ ИЗ СЫРЦА, построенные традиционным способом в Абикуью (шт. Нью-Мексико), образуют перекрытия зданий, в которых находится фонд обучения Дар-Аль-Ислам. Автор проекта — египетский архитектор

Хассан Фатхи. Здание справа — это мечеть. Остальная часть комплекса представляет собой школу. В незавершенной его части (слева вверху) будет находиться кафетерий.

турами главного свода и боковыми стенами, служили как для облегчения нагрузки на первичный свод, так и для того, чтобы прохладный ночной воздух мог поступать в каждую монашескую келью.

В Месопотамии древние своды, в которых применен метод наклонной кладки, находятся в Тель-аль-Римахе; они построены примерно в 2000 г. до н. э. — почти через 1000 лет после появления этого метода в Египте. В Тель-аль-Римахе обнаружены и более поздние своды такого же типа; все они относятся к периоду 2000—1350 гг. до н. э. Некоторые из них представляют интерес как конструктивные разновидности метода наклонной кладки. Например, несколько сводов, служащих дополнительной опорой для террасы или здания, имеют форму пологого купола. Торцевые стены, на которых сооружались эти своды, имели такую же высоту, что и боковые стены; по оси симметрии каждого угла укладывался веер кирпичей (парус купола) таким образом, чтобы он выступал как вверх, так и вовнутрь помещения. Образующееся восьмиугольное отверстие перекрывалось сводом с помощью арок, опиравшихся на парус и торцевые стены.

Другие своды в Месопотамии, сооруженные методом наклонной кладки, были обнаружены в храме (датируемом не позднее 18 в. до н. э.) в Тель-Тае, неподалеку от Тель-аль-Римаха, а также в двух погребальных камерах в Хафт-Тепе (Иран), датированных 15 в. до н. э. Похожих на них сводов, которые относились бы к первому тысячелетию до н. э., обнаружено не было; возможно, что ни один из них не уцелел. Этот же тип сводов вновь появляется в различных местах в первом тысячелетии н. э. Наиболее впечатляющим из них является перекрытие огромного зала Так-Кисра во дворце в Ктесифоне южнее Багдада, сооруженном в 3—6 столетии н. э. Зал, построенный главным образом не из сырца, а из обожженного кирпича, имеет высоту 28,4 м и пролет 25,5 м. Это самый большой в мире зал с однопролетным сводчатым перекрытием из неармированного кирпича (см. рисунок на первой странице обложки журнала).

КАК ПОКАЗЫВАЮТ результаты раскопок, свод, являющийся самым крупным технологическим достижением в использовании метода наклонной кладки, находится не в Ме-

сепотамии и Египте, а в Восточном Средиземноморье. Главная его особенность состоит в том, что в нем использован фасонный клинчатый кирпич. Такой кирпич позволяет сделать свод более плоским и придать его профилю форму, отличающуюся от полукруглой. Все это дает возможность архитектору проектировать здание со сводчатыми помещениями различной ширины, в котором перекрытия или верхний этаж находились бы на обычной высоте.

Именно такой принцип применил один из ассирийских архитекторов примерно в 675 г. до н. э. в своем проекте нижнего яруса крупного здания в Тель-Йеммехе, где мною были обнаружены древнейшие из известных сводов, построенных из фасонных клинчатых кирпичей. Здание состоит из трех комнат. Каждая комната в основании имеет разную ширину и свод, сооруженный методом наклонной кладки, с различной дугой: уплощенной в двух широких комнатах и ближе к полукруглой в узкой комнате. Средняя ширина кирпичей в сводах — 30 см в замке и 24,5 см в основании; кирпичи в более плоских сводах суживаются к концу в меньшей степени, чем в полукруглых.

Интересной особенностью является то, что в том же здании дверные проемы между комнатами перекрыты третьим типом свода — ребристым сводом, который по своей конструкции значительно проще сводов, сооруженных методом наклонной кладки, и полуциркульных сводов. Шесть пар длинных кирпичей образуют арку над каждой дверью; один конец каждого кирпича примыкает к боковой стене, а другой опирается на противоположный кирпич над центром дверного проема. Пространство между концами кирпичей, а также между кирпичами и боковыми стенами заполнялось камнями, черепками и раствором.

Судя по всему, ребристые своды применялись главным образом в Иране; метод их строительства, возможно, был привнесен в Тель-Йеммех строителем-мидийцем, состоявшим на службе в Ассирийской армии. Этот метод широко использовался в Нуши-Джане — историческом месте Ирана, датированном 750—600 гг. до н. э. Своды строились в нем из очень больших кирпичей, длиной около 1,2 м. Несмотря на свой большой размер, такие кирпичи были достаточно прочными, чтобы поддерживать пол верхнего помещения в центральном храме. И все же ребристые своды уступали по своей прочности как полуциркульным сводам, так и сводам, сооруженным методом наклонной кладки, и, вероятно, имели мало преимуществ, за исключением своей несколько более простой конструкции.

Фасонный клинчатый кирпич имел заметные преимущества, однако и он не получил широкого применения на Ближнем Востоке. Кроме Тель-Йеммеха свод из фасонного клинчатого кирпича был обнаружен только на древнеримской пограничной заставе Айн-Сину в Северном Ираке. Возможно, что когда-нибудь будет обнаружено больше примеров этой конструкции, если же нет, то можно будет сделать заключение, что достоинства этого способа не могли «перевесить» дополнительные затраты труда на изготовление кирпичей «на заказ» для каждого свода. Пока же остается загадкой, почему на Ближнем Востоке, где были изобретены письмо, право, математика, астрономия и градостроительство, способ сооружения арок и сводов из фасонного клинчатого кирпича не находил применения в течение более чем 2000 лет и впервые стал использоваться лишь в 7 в. до н. э.

ИЗОБРЕТЕНИЕ арок и сводов, сооруженных из сырца, было само по себе большим достижением. Ароч-

ное строительство никогда полностью не прекращалось на Ближнем Востоке, и в настоящее время наблюдается его некоторое возрождение. Главной фигурой в этом процессе является архитектор Хассан Фатхи, чьи блестящие и оригинальные проекты, использующие своды, сооруженные методом наклонной кладки, привлекают большой интерес и имеют последователей как в его собственной стране, так и в США. По мере открытия достоинств сырца современным миром, осознающим остроту энерге-

тических проблем, практическое значение арок и сводов становится все более очевидным. Однако мне бы не хотелось подчеркивать только их практическую ценность. Ведь арки и своды из сырца сами по себе великолепны. В «визуальном» мире, где слишком часто доминируют прямоугольные и квадратные формы, они дают возможность архитектору уменьшить резкость и монотонность прямой линии, используя самую распространенную в природе форму — кривую — в почти неограниченном количестве вариаций.

Наука и общество

Загадки Афродиты

С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ точки зрения наиболее характерной особенностью Земли являются движущиеся плиты, составляющие ее жесткую внешнюю оболочку — литосферу. На съезде Американского геофизического союза Дж. Хед и Л. Крамплер из Университета Брауна сообщили, что у них есть веские доказательства существования тектоники плит и на ближайшей к нам планете — Венере.

На радиолокационных снимках и топографических картах Земли Афродиты — обширной возвышенности, вытянутой вдоль экватора Венеры, — исследователи заметили какие-то образования, напоминающие земные срединно-океанические хребты, где плиты раздвигаются и на поверхность, образуя новую литосферу, изливаются расплавленные породы. Ученые сделали вывод, что Земля Афродиты должна служить границей между двумя расходящимися плитами.

Этот вывод нельзя назвать неожиданным. По своим размерам и плотности Венера похожа на Землю, а ее недра, как и недра нашей планеты, по видимому, разогреваются благодаря распаду радиоактивных элементов. Предполагается, что вещество в недрах Венеры пластичное и поэтому может быть вовлечено в конвекцию. Поднимающиеся в результате конвекции разогретые породы могли (и еще могут) изливаться на поверхность благодаря вулканам.

Однако, по мнению многих исследователей, конвекция внутри Венеры не настолько упорядочена, чтобы сформировались мощные крупномасштабные течения вещества, необходимые для поддержания движения плит. Неотъемлемым звеном земной

тектоники плит является не только подъем нового литосферного материала в центрах спрединга, но и субдукция старой литосферы в районе океанических желобов. Топографические данные, полученные с помощью искусственного спутника Венеры «Пионер-Венера», не содержат никаких признаков того, что планету опоясывает система хребтов и желобов. Некоторые теоретики утверждали, что венерианская литосфера слишком разогрета и обладает слишком большой плавучестью, чтобы погружаться в желобах.

Однако, как указывает Крамплер, никто не рассматривал достаточно подробно данные по Земле Афродиты. Крамплер и Хед исследовали как данные «Пионера-Венеры», так и топографические профили Земли Афродиты, полученные при помощи 300-метрового радиотелескопа с высоким разрешением в Аресибо (Пуэрто-Рико). При этом они обнаружили некоторые ранее не замеченные детали, а именно идущие параллельно друг другу линейные нарушения — прогибы или уступы, пересекающие Землю Афродиты и очень напоминающие зоны разломов в районе срединно-океанических хребтов на Земле.

Если рассматривать профили, идущие параллельно линиям нарушений, видно, что рельеф местности на противоположных сторонах Земли Афродиты поразительно симметричен: на одной ее стороне имеются такие же сравнительно небольшие холмы, как и на другой. Ось симметрии проходит вдоль свода линейного поднятия, которое перпендикулярно упомянутым выше разрывам и сдвинуто ими в сторону — точно так, как в зонах разломов смещены оси срединно-океанических хребтов. Все это, по мнению Хед и Крамплера, свидетельствует о том, что в сводовой ча-

сти Земли Афродиты образуется новое литосферное вещество, которое расходится затем в обе стороны в направлениях, параллельных разрывам.

Едва ли может быть, что здесь существует один изолированный центр спрединга. И в самом деле, по словам этих исследователей, недавно они получили доказательство того, что центр раздвигания протягивается за пределы Земли Афродиты и охватывает по меньшей мере две трети длины, а возможно, и всю длину окружности планеты по экватору. Если новая литосфера образуется вблизи венерианского экватора, то старая литосфера должна разрушаться в результате субдукции вблизи полюсов. Однако пока никаких указаний на существование зон субдукции не получено.

Выводы Хеда и Крамплера убеждают не всех. Например, Р. Арвидсон из Вашингтонского университета считает, что «данные двусмысленны». Однако он и сотрудники Университета Брауна согласны с тем, что проверить эту гипотезу поможет космический аппарат «Магеллан», который в 1990 г. начнет съемку поверхности Венеры. Имея подробные карты, исследователи сумеют оценить возраст венерианской коры, основываясь на количестве крупных метеоритов, бомбардировавших поверхность планеты. Если Хед и Крамплер правы, возраст поверхности Венеры и, следовательно, число метеоритных кратеров должны неуклонно увеличиваться в направлении от экватора к полюсам.

С помощью дробовика

ПРИ ПОМОЩИ огнестрельного ружья 22-го калибра — казалось бы, грубого приспособления — осуществлена тонкая операция введения нового генетического материала в живые растительные клетки. Микроскопические вольфрамовые дробинки, покрытые пленкой раствора РНК или ДНК, выстреливаемые со скоростью около 1500 км/ч, проникают сквозь клеточную стенку, не убивая клетку. Впоследствии попавший внутрь генетический материал экспрессируется, т. е. синтезируется соответствующий белок. При дальнейшем усовершенствовании такой метод позволит вводить гены в клетки растений быстрее и эффективнее, чем другие разработанные к настоящему времени приемы; это облегчит исследования экспрессии чужеродных генов в клетках растений и в конечном счете приведет к созданию нового метода генетической инженерии для улучшения сельскохозяйственных растений.

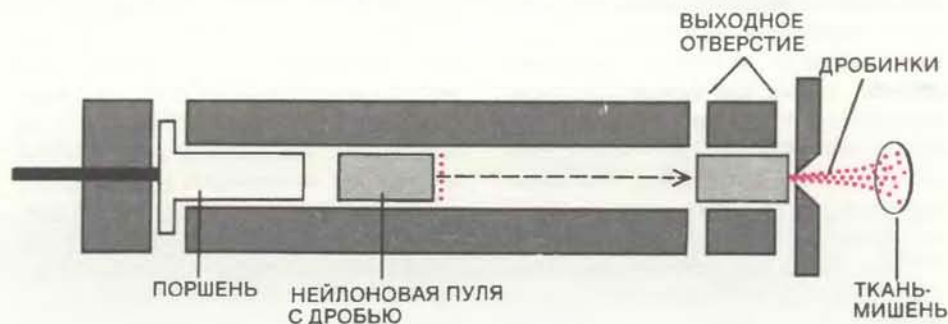
Метод «дробовика» описан в журнале «Nature» Т. Клейном, Э. Уолфом, Р. Ву и Дж. Сэнфордом из Корнеллского университета и Научно-исследовательской сельскохозяйственной станции этого университета в Женеве (шт. Нью-Йорк). Дробинки диаметром в среднем 4 мкм, покрытые пленкой, содержащей ДНК или РНК, суспендируют в капле воды, которую наносят на торец цилиндрической нейлоновой пули. Взрыв пороха в специальном патроне вызывает движение поршня и пули по стволу ружья. Пуля останавливается, наталкиваясь на стальную пластину в конце ствола, а дробинки проходят в имеющееся в пластине отверстие диаметром 1 мм и попадают в мишень. В первых опытах мишенью был просто небольшой (площадью 1 см²) кусочек ткани с поверхности луковицы. Дробинки пробивали стенки некоторых эпидермальных клеток и застревали в них.

Исследователи из Корнеллского университета с помощью такого приспособления выстреливали в клетки РНК вируса табачной мозаики (ВТМ). Внутри клеток эта РНК

транслировалась с образованием жизнеспособных вирусных частиц: примерно в 35% клеток, в которые попали дробинки, обнаруживались кристаллические вирусные включения, а втирание в листья табака экстрактов клеток приводило к типичной картине поражения ВТМ.

Следующим шагом была попытка собственно переноса генов. В клетки лука вводили плазмиды, содержащие ген фермента хлорамфениколацетилтрансферазы (ХАТ), и в некоторых клетках этот чужеродный ген экспрессировался: в клеточном экстракте наблюдалась значительная активность ХАТ (хлорамфеникол эффективно превращался в ацетилированные производные).

Клетки эпидермиса, которые служили мишенями в первых опытах, довольно крупные, но не способны к регенерации с образованием целого растения. Клейн сообщает, что недавно удалось добиться подобных результатов на значительно более мелких клетках, способных к регенерации. Это открывает путь для генноинженерных экспериментов.



МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ДРОБИНКИ, покрытые пленкой раствора генетического материала, выстреливаются в растительные клетки из миниатюрного ружья (вверху). На микрофотографии видна дробинка внутри клетки лука.

О прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия

Выполнение соглашения о прекращении производства основных составляющих ядерного оружия легко поддавалось бы проверке.

Такое соглашение позволило бы установить более эффективный контроль за количеством оружия

ФРАНК ФОН ХИППЕЛЬ, ДЭВИД Х. ОЛБРАЙТ,
БАРБАРА Г. ЛЕВИ

СКОРО, по-видимому, будет уже невозможно говорить о соглашениях типа ОСВ II, основанных на взаимном контроле числа ракет и других носителей, доставляющих ядерные боеприпасы к цели. С появлением систем высокоточного наведения стратегическое оружие оказалось уязвимым и возникла тенденция к переходу на малые мобильные ракеты, такие, как новые американские ракеты «Миджетмен», которые, вероятно, крайне трудно будет обнаруживать. В то же время крылатые ракеты и многие другие новые системы оружия рассчитаны на транспортировку не только ядерных боеприпасов, но и обычной взрывчатки, что создает дополнительные трудности при попытках точно определить число ядерных боеголовок, которые могут быть доставлены к целям.

Очевидно, требуется какой-то новый подход в дополнение к тем, которые основаны на контроле числа носителей. В данной статье мы хотим по-новому взглянуть на одно из самых старых предложений по ограничению ядерных арсеналов: о заключении соглашения о полном прекращении дальнейшего производства делящихся материалов, необходимых для изготовления ядерного оружия.

Всякий ядерный заряд содержит хотя бы несколько килограммов делящегося материала, в котором может протекать цепная ядерная реакция. Деление примерно 1 кг урана-235 вызвало разрушение Хиросимы, а 1 кг плутония-239 — Нагасаки. С созданием термоядерных, или водородных, бомб в начале 50-х годов необходимость в делящихся материалах не отпала, так как в подобном оружии для того, чтобы вызвать реакцию слияния водорода, необходим взрыв за счет реакции деления.

Поскольку делящийся материал является основной составной частью любого ядерного оружия, с прекращением производства первого был бы положен предел изготовлению второго. Поэтому предложения о прекращении производства делящихся материалов входят в повестку дня международных переговоров о контроле над вооружениями практически с момента изобретения ядерного оружия.

За период с 1956 по 1969 г. США неоднократно выдвигали предложение (в качестве отдельного предложения по контролю над вооружениями) прекратить производство делящихся материалов для ядерного оружия. Ответы советской стороны не были обнадеживающими, возможно, по той причине, что Советский Союз имел в то время значительно меньше ядерных боеголовок, чем США. Но к началу 80-х годов запасы сравнялись, и в 1982 г. А. А. Громыко, бывший в то время министром иностранных дел Советского Союза, заявил, что «прекращение производства делящихся материалов для изготовления ядерного оружия» можно было бы сделать одним из первых этапов программы ядерного разоружения.*

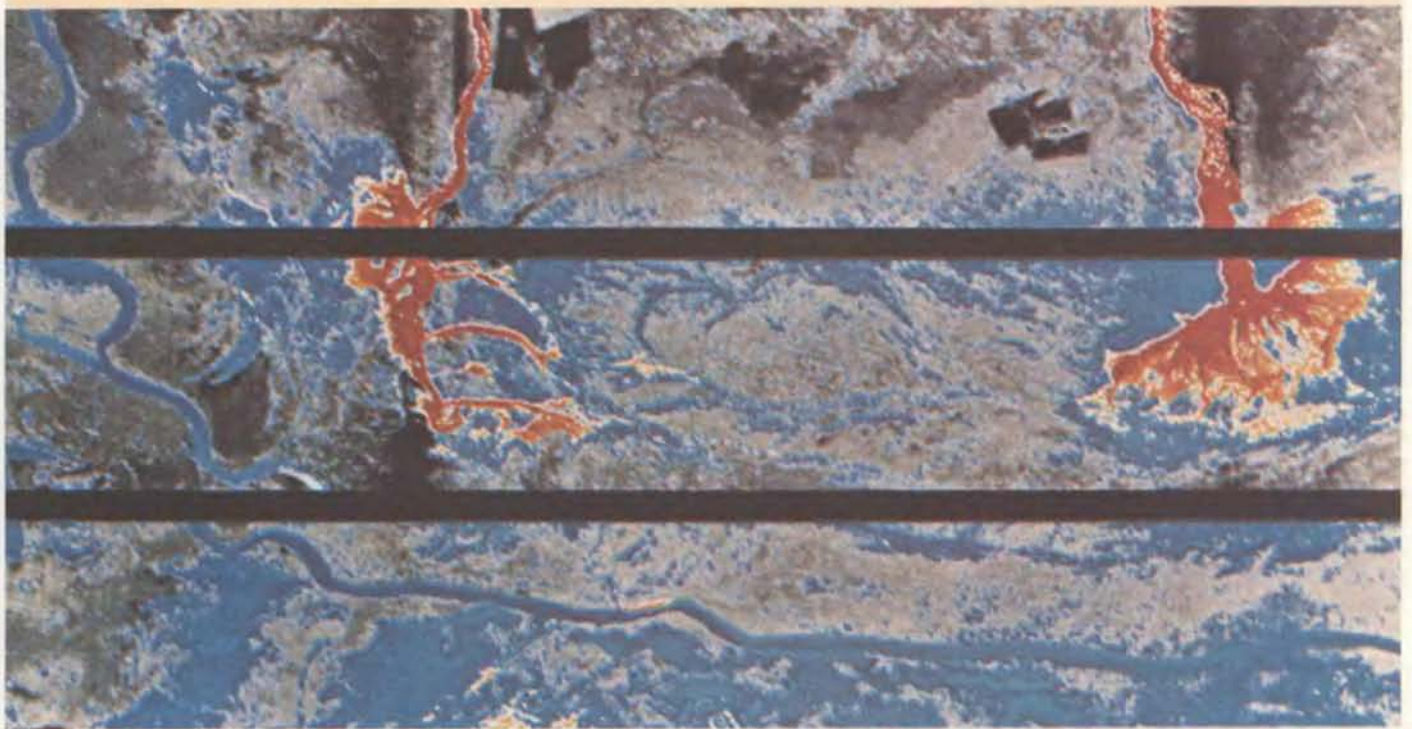
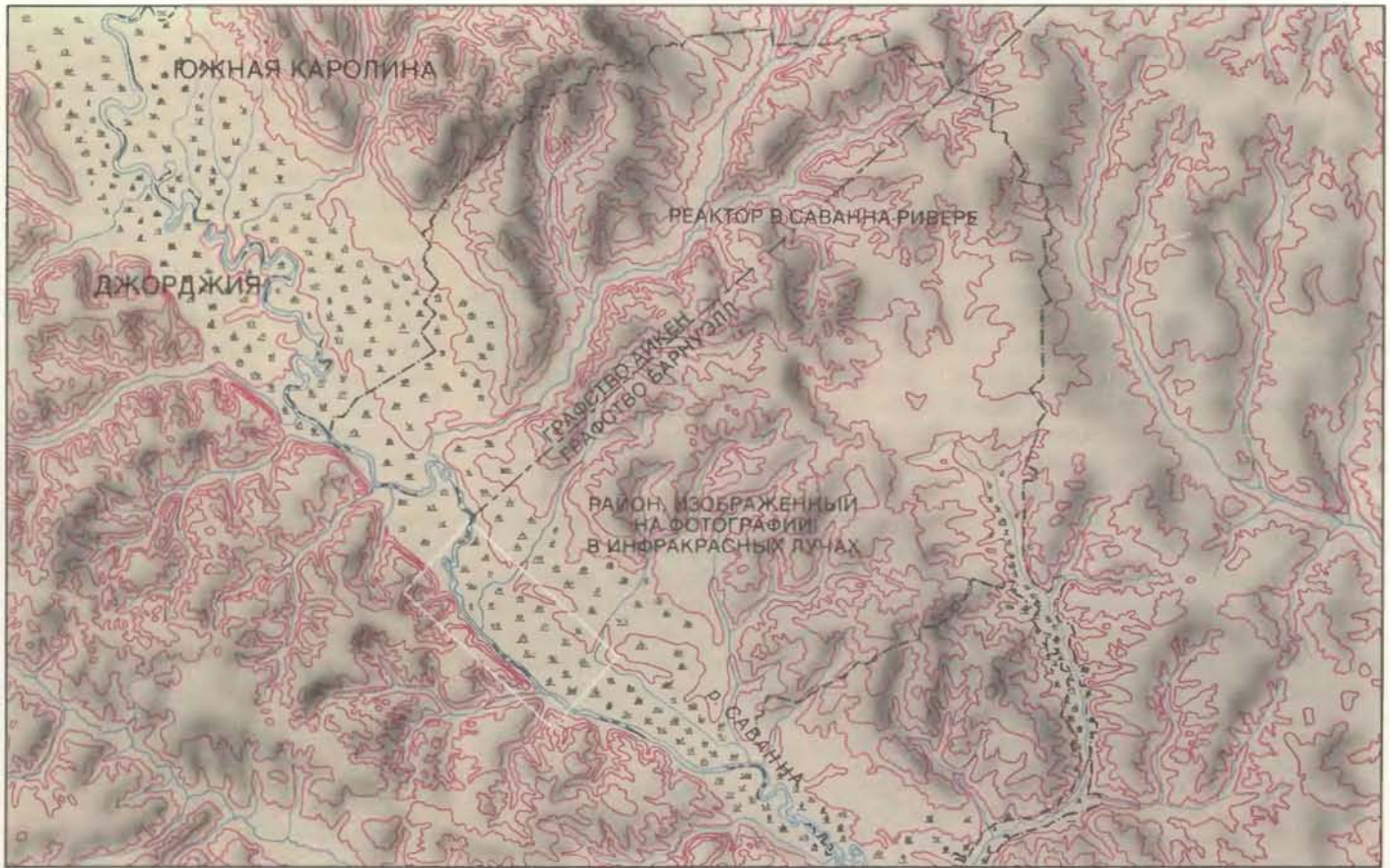
* Авторы однобоко трактуют позицию СССР, который с самого начала ядерной эры выступал за полное запрещение ядерных вооружений. Уже в 1946 г. СССР внес в Комиссию ООН по атомной энергии проект международной «Конвенции о принятии государствами обязательств не применять атомного оружия, запретить его производство и хранение и ликвидировать в трехмесячный срок его запасы». Она практически позволяла решить вопрос об исключении ядерного оружия из арсеналов государств и, в частности, перекрывала пути производства делящихся материалов для него.

А. А. Васильев,
член Комитета советских ученых
в защиту мира против ядерной угрозы.

Прекращение производства делящихся материалов могло бы естественным образом входить в любую более широкую систему мероприятий по контролю за вооружениями и по разоружению. Например, любое соглашение о замораживании или сокращении числа боеголовок, для того чтобы оно имело реальный смысл, должно быть дополнено мерами, гарантирующими, что не будут производиться новые боеголовки.

Прекращение производства было бы полезно и в другом отношении. Непрерывное производство делящихся материалов для ядерного оружия Соединенными Штатами и СССР в значительной мере подрывает их усилия, направленные на сокращение аналогичной деятельности других стран. В 1950—1960 гг. американские предложения о прекращении производства часто были связаны с попытками убедить безъядерные государства оказать поддержку Договору о нераспространении ядерного оружия. Этот договор вошел в силу в 1970 г., и за прошедший период его подписали более 100 государств. То обстоятельство, что США и СССР, выступившие с инициативой этого договора, до сих пор не смогли поставить под взаимный контроль гонку вооружений в обеих странах, вызывало все более резкое недовольство договором со стороны стран, не имеющих ядерного оружия. Это выражалось на двух конференциях (в 1975 и 1980 гг.) по вопросам о проверке выполнения условий такого договора.

Таким образом, заключение соглашения между США и СССР о прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия способствовало бы не только контролю за вооружениями, но и нераспространению ядерного оружия. Цель этой



ИНФРАКРАСНАЯ СЪЕМКА — один из потенциальных способов проверки выполнения соглашения о прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия. С помощью этих снимков выявлен сброс теплой воды от двух американских реакторов в Саванна-Ривере (шт. Южная Каролина), производящих плутоний. На фотогра-

фиях потоки теплой воды выглядят красными и оранжевыми. Ширина потоков воды равна примерно 100 м до слива в болото, где она растекается, образуя дельту шириной 1500 м. Снимки были сделаны с самолета, летящего на высоте 1,2 км. Такие же снимки, но со спутников, позволяют обнаружить скрытые реакторы.

статьи — дать некоторую техническую информацию, необходимую для конструктивного публичного обсуждения вопроса о возможности прекращения производства указанных материалов.

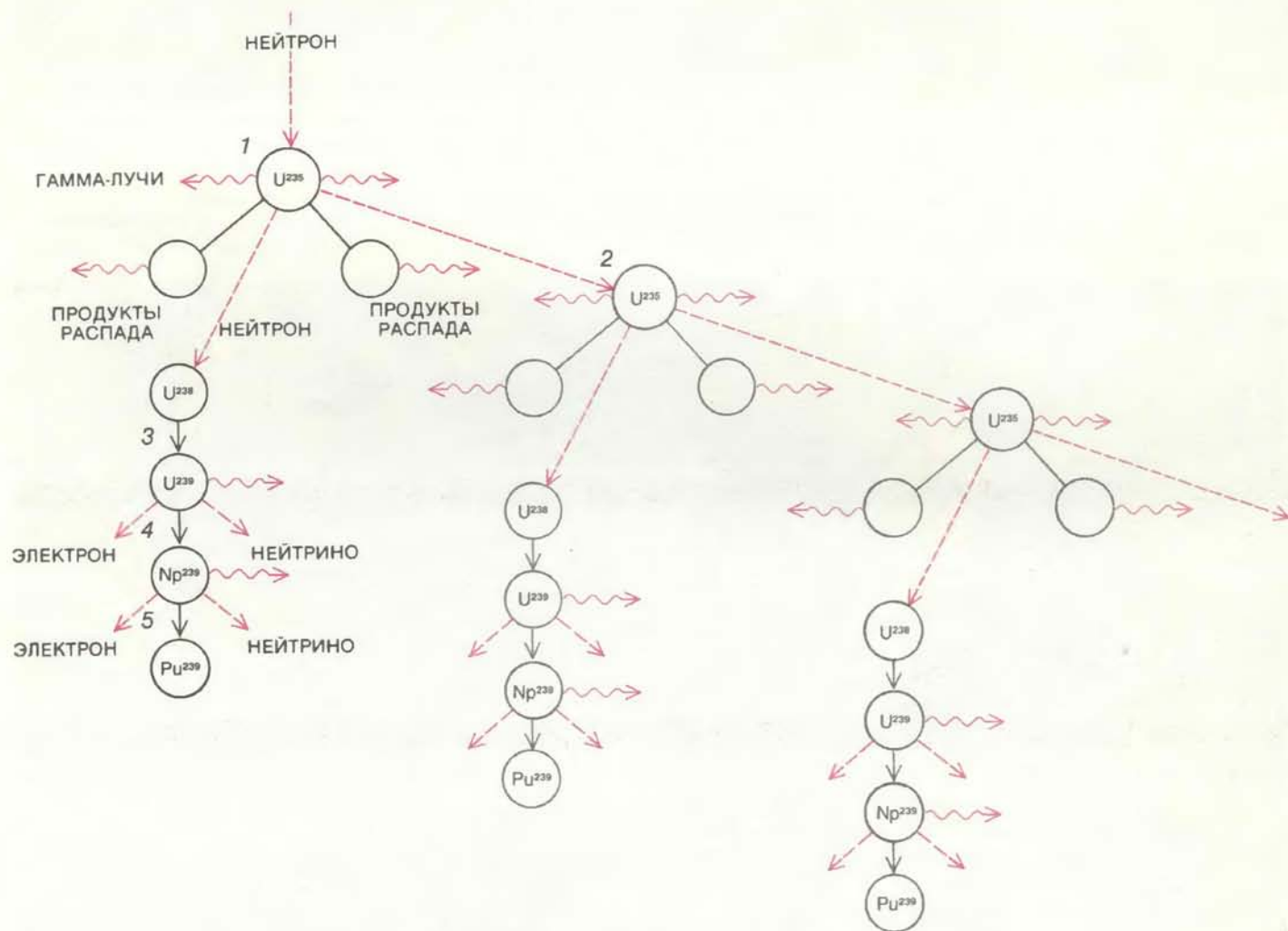
ПРЕЖДЕ всего необходимо охарактеризовать сами делящиеся материалы и сказать о том, откуда они берутся. Единственный делящийся изотоп, который встречается в природе не в следовых количествах, — это уран-235 (U-235). Однако он не встречается в форме, пригодной для того, чтобы из него можно было сразу изготавливать ядерное оружие. Содержание урана-235 в природном уране составляет приблизительно 0,7%. Остальные 99,3% приходятся на уран-238, более тяжелый изотоп, в котором цепная реакция невозможна. Для изготовления ядерного оружия уран нужно подвергнуть обогащению и довести содержание U-235 в нем не менее чем до 20%. Уран, использу-

емый в США для ядерного оружия, содержит более 90% U-235.

Один из способов обогащения урана был разработан в самом начале истории создания ядерного оружия в США. Это так называемый метод газовой диффузии, основанный на диффузии гексафторида урана (газообразного соединения, содержащего уран) через тысячи пористых перегородок, расположенных одна за другой. В 40—50-х годах США построили три завода газодиффузионного разделения изотопов в штатах Теннесси, Кентукки и Огайо. В начале 60-х годов, в период максимального производства урана в США, эти заводы давали в год примерно 80 т урана — количество, достаточное для изготовления тысяч единиц ядерного оружия.

К 1964 г. в США было накоплено столь огромное количество делящихся материалов, что президент Линдон Джонсон принял решение о сокращении их производства, указывая на то, что «даже в отсутствие соглашения

мы не должны накапливать оружие сверх необходимости и стремиться к военной мощи, которая могла бы показаться вызывающей и быть эквивалентной расточительству». С тех пор уранообогатительный комплекс США производил главным образом слабообогащенный уран, используемый в качестве топлива для большинства энергетических ядерных реакторов. После 1964 г. сильнообогащенный уран производился в США для ядерных силовых установок на морских судах, исследовательских реакторов, некоторых реакторов, производящих плутоний, и отдельных энергетических реакторов; пополнение уже имевшихся запасов сильнообогащенного урана для ядерного оружия уже не производилось. Весь уран для ядерного оружия, используемый в новых боеголовках, черпали из запасов, накопленных до 1964 г., или брали из устаревшего оружия. Однако недавно вследствие возрастания потребностей, связанных с новым на-



ПРИ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ ДЕЛЕНИЯ из урана-235 образуется плутоний-239. Когда ядро U-235 захватывает нейтрон (1), оно делится на два ядра промежуточной массы и при этом испускает два или три дополнительных нейтрона. Один нейтрон бомбардирует другое ядро U-235 (2), поддерживая

реакцию. Другой захватывается ядром U-238, превращая его в U-239 (3). Ядро U-239 распадается, образуя нептуний-239 и испуская один электрон и одно нейтрино (4). Плутоний-239 образуется при распаде Np-239 с испусканием электрона и нейтрино (5).

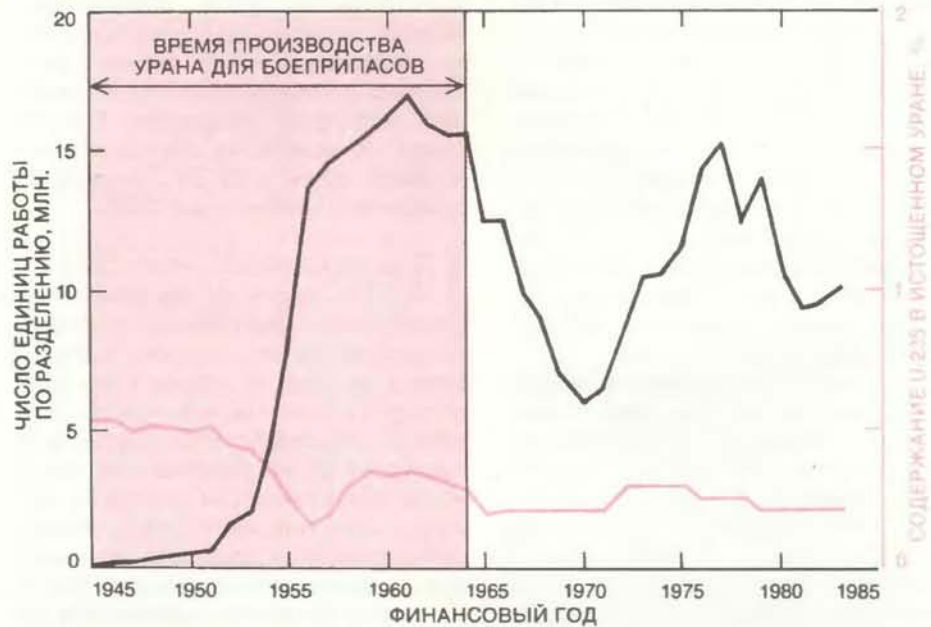
рашиванием ядерных вооружений, администрация Рейгана предложила возобновить производство сильнообогащенного урана для боеприпасов.

В ядерном оружии применяется также и другой делящийся изотоп — плутоний-239 (Pu-239). Чтобы получить Pu-239, берут U-238 и подвергают его бомбардировке нейтронами в ядерном реакторе (см. рисунок на с. 80). Реакторы, производящие плутоний, в принципе ничем не отличаются от энергетических ядерных реакторов, но они работают в таком режиме, в котором дают плутоний, содержащий более 93% изотопа Pu-239. Такой сорт плутония («для боеприпасов») не единственный, из которого может быть изготовлено оружие, но он предпочтительнее, чем сорта с большим процентным содержанием более тяжелых изотопов плутония. При изготовлении современного компактного ядерного оружия Pu-239 имеет то преимущество перед U-235, что для осуществления взрыва за счет деления его требуется гораздо меньше — всего несколько килограммов.

На протяжении почти всего периода с 1955 по 1964 г. в США было 13 реакторов, производящих плутоний. Восемь из них были в районе Ханфорда (под Ричлендом, шт. Вашингтон), а пять — в районе Саванна-Ривера (под Эйкеном, шт. Южная Каролина). Все вместе они давали более 6 т плутония в год, что достаточно для изготовления более 1000 боеголовок. В течение восьми лет после принятия президентом Джонсоном решения о сокращении производства делящихся материалов для оружия все ханфордские реакторы были закрыты, а два из пяти производственных реакторов в Саванна-Ривере законсервированы. Остальные три продолжали работать вместе с новым «двухцелевым» реактором, пущенным в 1964 г. в Ханфорде, который одновременно с производством плутония вырабатывает электроэнергию.

В связи с планами администрации Рейгана произвести более 10 тыс. новых компактных ядерных боеголовок начато осуществление ряда проектов, которые должны увеличить скорость наращивания Соединенными Штатами запасов плутония для ядерного оружия. Эти проекты включают пуск одного из законсервированных в Саванна-Ривере реакторов и переработку в плутоний для боеприпасов части из 17 т топливного и реакторного плутония, находящихся в ведении министерства энергетики.

КАКОВЫ накопленные запасы делящихся материалов в США и СССР? В открытой печати достаточ-



ИСТОРИЯ ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА В США позволяет оценить накопленное в стране количество делящихся материалов. Интенсивность работ, связанных с обогащением (черная линия), измеряется в «единицах работы по разделению» (ЕРР). Число ЕРР приблизительно пропорционально количеству электроэнергии, затраченной на отделение U-235 от U-238. На основании этих данных с учетом процентного содержания U-235 (красная линия) в «истощенном уране» (материале, остающемся после отделения большей части U-235) можно сказать, что до ограничения производства в 1964 г. США произвели, вероятно, около 750 т сильнообогащенного урана. Увеличение интенсивности работ по обогащению, начавшееся в начале 70-х годов, связано не с производством сильнообогащенного урана для ядерного оружия, а с увеличением производства слабообогащенного урана для атомных электростанций.

но информации, чтобы более или менее правильно оценить запасы Соединенных Штатов; что же касается советской военной промышленности, то сведений о ней значительно меньше. Имеющиеся данные позволяют лишь весьма приблизительно оценить советские запасы плутония, и по ним нельзя судить о советских запасах урана для ядерного оружия.

Согласно документам министерства энергетики, с 1944 г. США закупили приблизительно 250 000 т природного урана, содержащего примерно 1800 т U-235. Чтобы определить, сколько этого U-235 пошло на изготовление оружия, лучше всего обратиться к правительственным отчетам, в которых указываются ежегодные объемы «работы по разделению», т. е. работы по обогащению, выполненной уранообогатительным комплексом, и соответствующий процент U-235 в «истощенном» уране, идущем «в отвал» в процессе обогащения. Пользуясь этими данными, мы подсчитали, что до сокращения производства в 1964 г. США могли произвести до 750 т сильнообогащенного урана для боеприпасов. Учитывая потребности в обогащении урана в 1964 г., не связанные с изготовлением оружия, и потребности в сильнообогащенном ура-

не в последующие годы, мы приходим к выводу, что в США сейчас имеется в запасе еще по меньшей мере 500 т урана для ядерного оружия. Такую же цифру получили в своих оценках Т. Когрен и М. Хениг из Совета защиты природных ресурсов.

Количество плутония в накопленном США ядерном оружии можно оценить по опубликованным недавно данным министерства энергетики о выработке с 1951 г. тепловой энергии реакторами, производящими плутоний. Объем этой энергии прямо пропорционален количеству U-235, подвергнувшегося делению в этих реакторах, и, следовательно, количеству полученного в них плутония. (При делении 1 кг U-235 получается приблизительно 0,9 кг плутония.) Исходя из этого, мы заключаем, что в американских арсеналах ядерного оружия содержится примерно 100 т плутония. Оценки Когрена и Хенига примерно такие же.

Данные о количестве плутония и сильнообогащенного урана, произведенных для изготовления ядерного оружия Советским Союзом, пока еще не публиковались ни в СССР, ни в США, но о масштабах производства плутония в Советском Союзе можно судить по содержанию радиоактивного криптона-85 (Kr-85) в атмосфере.

Этот изотоп, образующийся при реакции деления, выпускают в атмосферу заводы по переработке ядерного топлива. Кроме того, сравнительно небольшие количества его образуются и поступают в атмосферу в ходе испытаний ядерного оружия, а также за счет утечек из ядерного топлива. Будучи химически инертным, Кг-85 накапливается в атмосфере, где он распределяется почти равномерно, поскольку период полураспада у него велик (приблизительно 11 лет).

Начиная с 1954 г. различные группы исследователей во всем мире периодически измеряют концентрацию Кг-85 в атмосферном воздухе. Наиболее полные и точные данные таких измерений опубликованы В. Вейссом, А. Зитткусом, Г. Штокбургером и Х. Зарториусом из Института ядерной физики им. Макса Планка во Фрейберге. Приблизительно оценив количество Кг-85, выделившегося во всем мире при ядерных испытаниях и при переработке ядерного горючего вне СССР, и затем вычтя это количество из полного количества Кг-85, выпущенного в атмосферу, можно приблизительно определить, сколько его было выпущено в Советском Союзе (см. рисунок на с. 83). Таким образом мы определили, что в 1984 г. Советский Союз выпустил в атмосферу примерно столько же Кг-85, сколько и Соединенные Штаты. Если, как и в США, это был в основном Кг-85, выделившийся при переработке топлива в реакторах, производящих плутоний, то

количества плутония, накопленные обеими странами, как и приблизительно оцениваемое число ядерных боеголовок, имеющихся в их распоряжении, примерно одинаковы. Однако темпы производства плутония в настоящее время в СССР, возможно, значительно выше, чем в США.

ПРЕДПОЛОЖИМ, что США и СССР достигли соглашения о прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия. Может ли одна из сторон адекватно проверять выполнение соглашения другой стороной? Под адекватной проверкой будем понимать возможность обнаружения за несколько лет любой скрытой деятельности достаточно широкого масштаба, приводящей к увеличению накоплений одной из сторон делящихся материалов со скоростью более 1% в год. Последнее условие было бы реальным ограничением, так как оно соответствует примерно 0,1 максимальных темпов производства в прошлом. Стратегические выгоды нарушений меньшего масштаба были бы столь незначительны, что вряд ли какая-либо из сторон пошла бы из-за них на риск быть уличенной в нарушении соглашения.

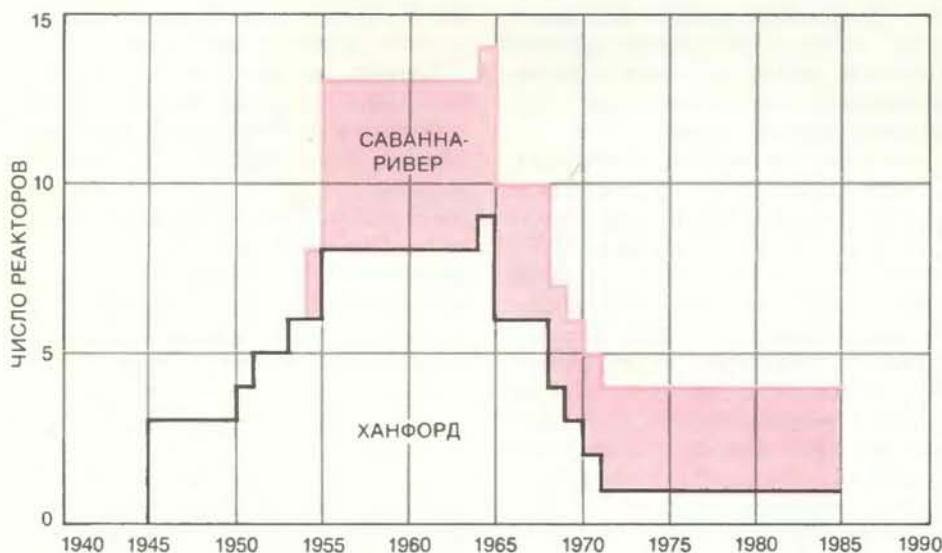
Например, если исходить из полученных нами оценок имеющихся в США делящихся материалов, то скорость наращивания, равная 1% в год, соответствует производству приблизительно 5 т урана и 1 т плутония

«для боеприпасов». Необнаруженные нарушения ниже этого уровня позволили бы изготавливать сотни боеголовок в год, что само по себе весьма существенно, но в сравнении с имеющимися запасами такие нарушения были бы незначительны.

Задачу проверки прекращения производства делящихся материалов для ядерного оружия можно разделить на две составляющие. Первая — контроль за тем, чтобы на изготовление оружия не поступали значительные количества делящихся материалов из «мирных» отраслей промышленности. Вторая — контроль за тем, чтобы не было значительных скрытых производственных мощностей.

Соединенные Штаты всегда считали, что соглашение о прекращении производства делящихся материалов должно предусматривать систему контроля непосредственно на заводах по переработке делящихся материалов, предназначенных не для изготовления оружия, что исключило бы возможность укрытия значительных количеств этих материалов для использования в военных целях. Примерно с 1965 г. в официальных заявлениях США указывалось, что такую задачу могло бы взять на себя Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), которое использовало бы такие же методы, как и при контроле за делящимися материалами в странах, подписавших «Договор о нераспространении» и обязавшихся не изготавливать ядерного оружия.

Проводя кампанию за подписание «Договора о нераспространении», США предлагали передать под контроль МАГАТЭ все свои ядерные установки, кроме тех, которые «непосредственно существенны для национальной обороны». Соглашение между США и МАГАТЭ, делающее возможным реализацию данного предложения, было заключено в 1980 г. Советский Союз воздерживался от аналогичного шага до 1982 г., когда А. Громько заявил о готовности СССР передать некоторые из своих мирных ядерных установок под контроль МАГАТЭ. В марте того же года было заключено очень ограниченное первоначальное соглашение, которое позволит МАГАТЭ осуществлять контроль над советскими энергетическими реакторами одного из двух основных классов. К сожалению, это не тот класс, к которому относятся реакторы, легче всего допускающие эксплуатацию в «двухцелевом» режиме (подобном режиму работы ханфордского реактора, который дает одновременно и электроэнергию, и плутоний «для боеприпасов»).

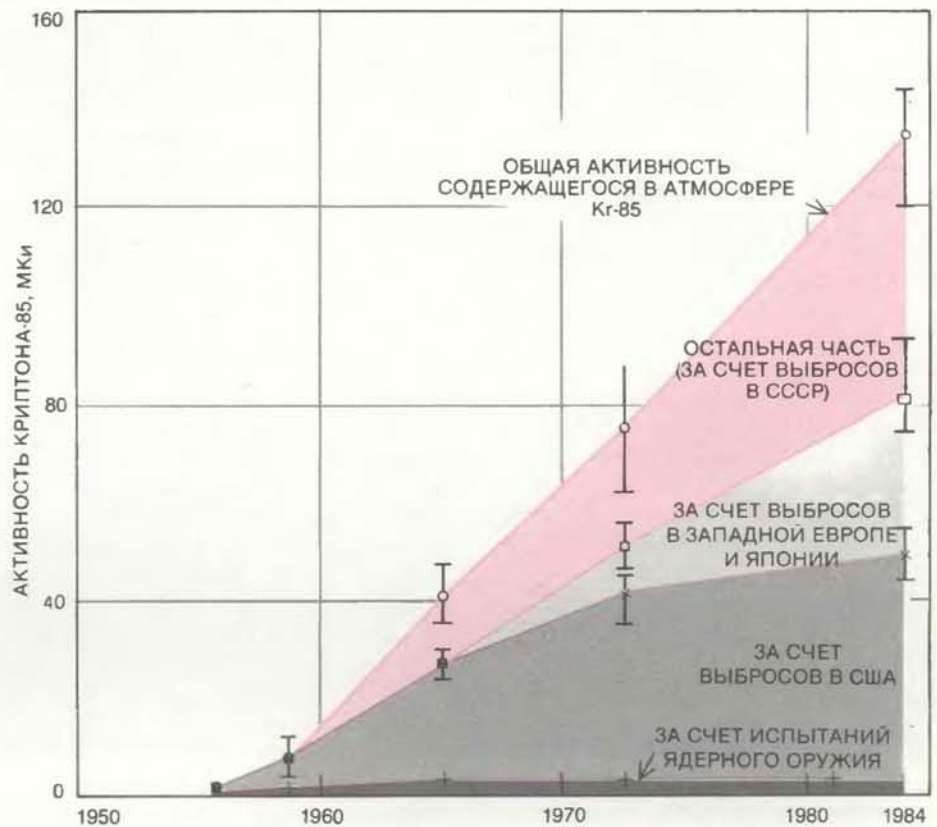


ЧИСЛО РЕАКТОРОВ, ПРОИЗВОДЯЩИХ ПЛУТОНИЙ, в США непрерывно увеличивалось до середины 60-х годов. Три реактора в Ханфорде (шт. Вашингтон) произвели плутоний для бомбы, сброшенной на Нагасаки. Еще два строились, когда Советский Союз провел испытания своего первого ядерного оружия в 1949 г. Вскоре после этого было дано разрешение на строительство еще трех реакторов в Ханфорде и пяти в Саванна-Ривере. В 1964 г. в Ханфорде было закончено строительство «двухцелевого» реактора, который вырабатывает и плутоний, и электроэнергию. В том же году президент Джонсон принял решение о сокращении производства в США делящихся материалов для ядерного оружия.

МАГАТЭ осуществляет в сотни раз более строгий контроль, нежели тот, который потребовался бы для проверки выполнения США и СССР соглашения о прекращении производства делящихся материалов: методы, используемые этой организацией, позволяют обнаруживать за несколько дней или месяцев сокрытие материала в количестве, необходимом для изготовления одной единицы боеприпасов. МАГАТЭ считает существенным сокрытие всего лишь 8 кг плутония или 25 кг урана. Поскольку ядерные арсеналы США и СССР уже колоссальны, потенциальное стратегическое значение может иметь лишь сокрытие в 1000 раз больших количеств ядерных материалов. По-видимому, не подлежит сомнению, что может быть обнаружено сокрытие значительно меньших количеств. Контролеры МАГАТЭ должны быть в состоянии обнаруживать сокрытие менее 1% делящегося материала, проходящего через систему снабжения топливом ядерных реакторов страны. Но чтобы в нарушение соглашения на изготовление оружия поставлять 5 т урана-235 или 1 т плутония в год, нужно укрывать 5% делящихся материалов, производимых для атомных электростанций США, или 15% — для менее мощной системы атомных электростанций Советского Союза.

Задача контролеров МАГАТЭ состоит в том, чтобы подтверждать (с определенной степенью точности), что любой делящийся материал, поставленный на некий объект или произведенный на некоем объекте, либо еще находится на этом объекте, либо израсходован в реакции деления, либо перевезен в другое контролируемое место. Это аналогично задаче банковских ревизоров, контролирующих валютные фонды. Контролеры МАГАТЭ периодически проводят на местах инвентаризацию, проверяя соответствие наличности документам. Путем измерения интенсивности радиации, а также путем других неразрушающих средств контроля на произвольно выбранных объектах, они убеждаются в том, что настоящее ядерное топливо не заменено «поддельным».

Там, где делящийся материал только хранится, задача контролеров МАГАТЭ сводится к опечатыванию контейнеров и складских помещений так, чтобы хранимые в них материалы не нужно было проверять каждый раз заново. Зоны хранения, которые невозможно опломбировать, контролируются (с целью выявления подозрительных действий) при помощи не допускающих нарушения режима ра-



СОДЕРЖАНИЕ В АТМОСФЕРЕ КРИПТОНА-85 позволяет судить о запасах плутония в СССР. Этот изотоп поступает в атмосферу в основном с заводов по переработке ядерного топлива и накапливается в ней, поскольку он химически инертен. Верхняя кривая, построенная по данным измерения содержания Krypton-85 в атмосфере в прошлые годы (с поправками на радиоактивный распад), характеризует полное поступление Krypton-85 в атмосферу во всем мире. Нижние кривые построены по данным, полученным авторами, и отражают вклад, вносимый в эту сумму испытаниями ядерного оружия во всем мире и перерабатывающими заводами вне СССР. Остаточная (закрашенная) часть приблизительно соответствует количеству Krypton-85, поступающего в атмосферу с перерабатывающих заводов в СССР. Оно сравнимо с количеством, поступающим с таких же заводов в США. Поскольку и в США, и в СССР криптон-85 выделяют в атмосферу главным образом заводы, производящие плутоний для ядерного оружия, можно считать, что запасы плутония для оружия у США и СССР примерно одинаковы.

боты видеорегистраторов. Разработаны специальные системы, позволяющие при необходимости дистанционно просматривать в реальном масштабе времени изображения, накапливаемые такими видеорегистраторами.

В американских и советских энергетических реакторах в настоящее время чаще всего используется такой рабочий цикл, в котором свежим топливом служит слабообогащенный уран, а из отработанного топлива не извлекается плутоний. Такой цикл создает дополнительные трудности для незаконного употребления делящегося материала на изготовление ядерного оружия. Даже если бы удалось скрыть достаточное количество такого материала, потребовалась бы дополнительная тайная операция крупного масштаба по переработке его в форму, пригодную для ядерного оружия. Свежее ядерное топливо пришлось бы обогащать до более высо-

кого уровня, а отработанное топливо перерабатывать, чтобы отделить плутоний от сильнорадиоактивных продуктов деления. Таких препятствий для незаконного производства ядерного оружия нельзя избежать до тех пор, пока США и СССР будут воздерживаться от перевода своих атомных электростанций на режимы, в которых свежим топливом служит плутоний или сильнообогащенный уран.

ПОСЛЕ заключения соглашения о прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия U-235 еще применялся бы в качестве топлива не только в реакторах атомных электростанций, но в реакторах ядерных силовых установок морских судов. США и СССР имеют более чем по 100 морских судов с такими установками. Американские реакторы судовых силовых установок работают на таком же уране, как и используемый для боеприпасов, и в на-

стоящее время потребляют примерно 5 т U-235 в год. Поскольку полная мощность на валу советского атомного флота, как показывают приближенные оценки, примерно такая же, как и американского, а советские суда находятся в море значительно меньше времени, то весьма вероятно, что потребность советского флота в уране-235 меньше.

Командование ВМФ обеих стран вряд ли допустит международных инспекторов на свои суда и на заводы, производящие топливо для судовых ядерных силовых установок. Однако США и СССР могли бы договориться о том, какое количество U-235 допускается производить каждой стороне для использования в силовых уста-

новках на флоте. При наличии такого соглашения U-235 производился бы только на контролируемых заводах и через определенный период времени соответствующее количество обогащенного урана передавалось бы на другой контролируемый завод. Такими мерами можно было бы предотвратить систематическую передачу значительных количеств «морского» U-235 на изготовление оружия.

В США примерно столько же исследовательских реакторов, сколько и на морских судах, но их суммарная потребность в U-235 примерно в 10 раз меньше. Нет никаких оснований полагать, что потребность в ядерном топливе для реакторов, используемых в научных центрах в СССР, меньше,

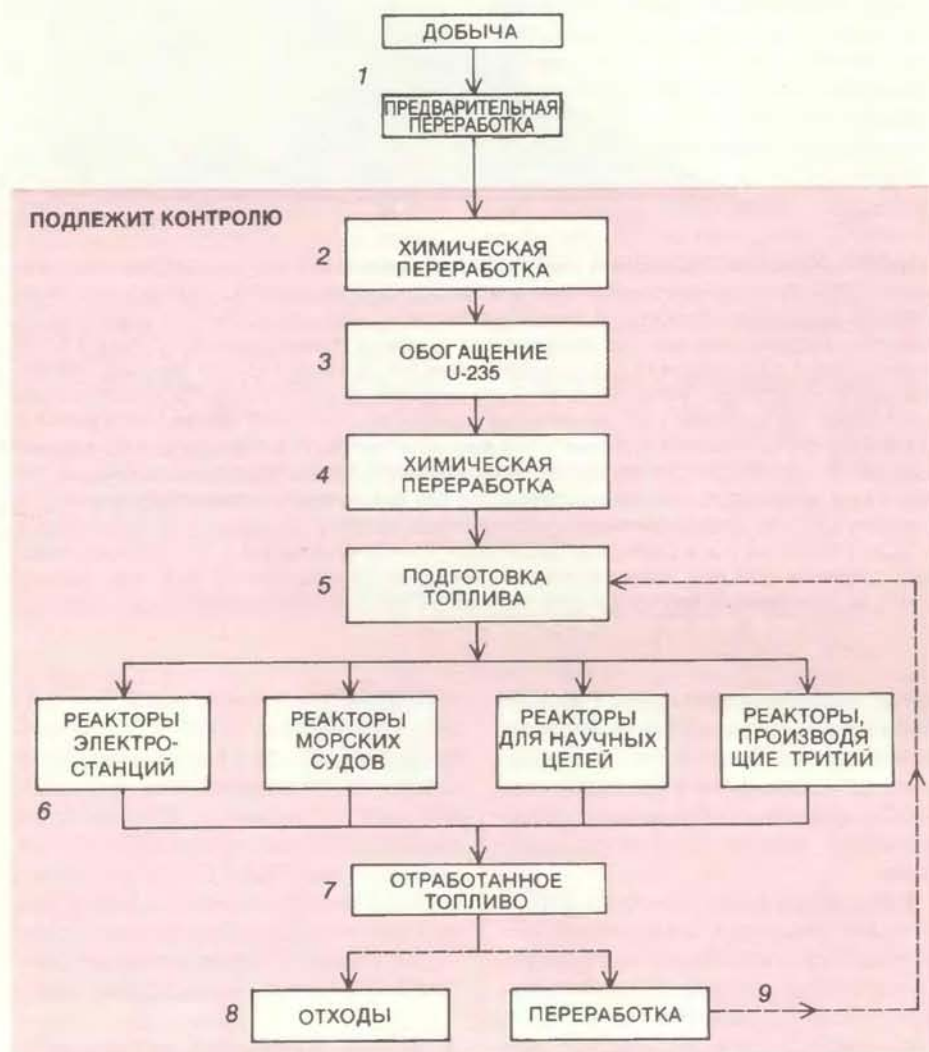
чем в США. Такое количество материала (приблизительно 0,5 т в год) не может идти в сравнение с тем, что считается серьезным нарушением. К тому же МАГАТЭ разработало методы контроля, позволяющие обнаруживать «хищение» материала из топливного запаса исследовательских реакторов.

Последний класс реакторов, снабжение топливом которых необходимо контролировать, — это реакторы, производящие тритий. Tritий служит источником нейтронов, которые вызывают цепную реакцию и повышают эффективность деления в ядерных боеприпасах США. Кроме того, тритий дает большую часть нейтронов, испускаемых так называемой нейтронной бомбой. Tritий получают за счет поглощения литием-6 нейтронов в реакторах того же типа, что и те, в которых получают плутоний за счет поглощения нейтронов ураном-238.

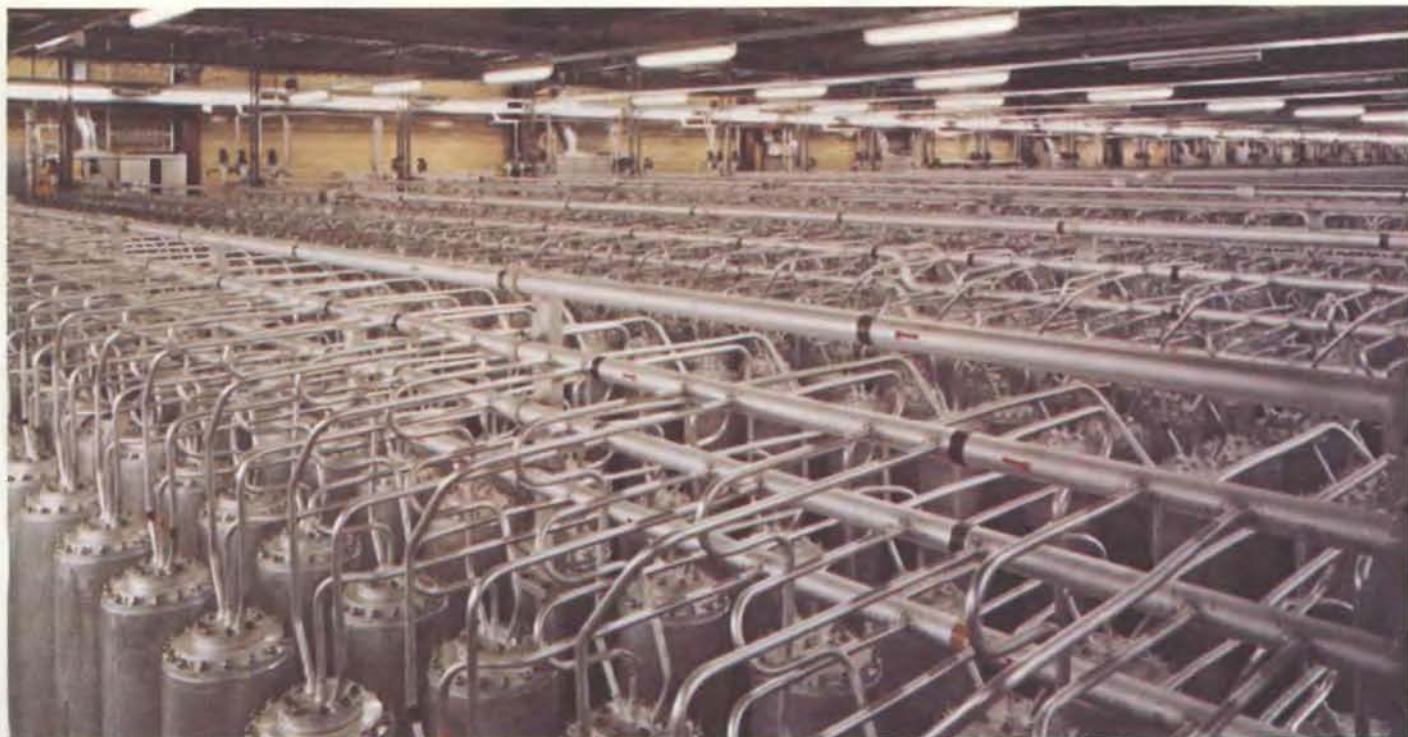
Поскольку период полураспада трития равен 12 годам, его запасы даже при наличии договора о замораживании необходимо пополнять. Но это не потребует больших производственных мощностей. Для поддержания постоянного количества трития в ядерных арсеналах США, вероятно, было бы достаточно одного реактора, по производительности равного тому, что расположен в Саванна-Ривере. Такой реактор, как и любой другой, можно было бы надежно контролировать в отношении скрытого производства делящихся материалов для ядерного оружия.

ИТАК, «законные» реакторы и их топливные циклы можно надежно контролировать, не допуская значительных «хищений» материалов для ядерного оружия. Но где гарантии, что одна из договорившихся сторон не построит специальный завод для тайного производства таких материалов? В первых предложениях США относительно прекращения производства делящихся материалов предусматривалось, что каждая из сторон создаст группы разъездных контролеров, которые будут обследовать территорию другой стороны. Такой подход был неприемлем для Советского Союза. Поэтому очень большое значение имел полный отказ от данного требования со стороны США в 1969 г. Чем было вызвано столь значительное изменение позиции?

Частично тем, что наблюдения с искусственных спутников Земли дали правительству США все основания быть уверенным, что оно сможет из космоса обнаруживать скрытое круп-



ПРОЦЕССЫ, ТРЕБУЮЩИЕ КОНТРОЛЯ для обеспечения выполнения соглашения о прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия, следуют после добычи в шахте и его предварительной переработки (1), где из сырой руды извлекается окисел урана. На заводе химической переработки (2) окисел переводят в газообразный фторид урана, чтобы его можно было подвергнуть обогащению (3). Затем фторид урана снова переводится в окисел или металл (4), который поступает на завод по изготовлению топлива для реакторов (5). После использования по назначению (6) отработанное топливо хранится на месте расположения реактора (7). Далее оно может быть передано в хранилище для радиоактивных отходов (8) или на перерабатывающий завод (9), где из него извлекается для повторного введения в топливный цикл весь содержащийся в нем делящийся уран и плутоний.



ЗАВОД ПО ОБОГАЩЕНИЮ УРАНА методом центрифугирования представляет собой «каскад» центрифуг, по которым пропускается уран. Каждая центрифуга имеет вид цилиндра размером примерно в рост человека. Это «наименее заметный» тип завода по обогащению урана в атомной промышленности. Он меньше завода газодиффузионного разделения изотопов, потребляет меньше электроэнергии и состоит из значительно меньшего числа технологических ступеней обогащения; кроме того, у него менее харак-

терный внешний вид. И все же строительство скрытого завода по обогащению методом центрифугирования, вероятно, можно будет обнаружить с помощью более тщательных разведывательных действий. Чтобы ежегодно производить 5 т урана для ядерного оружия (количество, которое, по оценке авторов, составляло бы значительное нарушение соглашения о прекращении производства делящихся материалов), потребовалось бы около 100 тыс. центрифуг.

номасштабное производство делящихся материалов. Систематическое наблюдение за территорией Советского Союза со спутников началось в 1961 г., и к 1969 г. появилась возможность детально обозревать любое строение на поверхности Земли.

Сегодня к этому добавляется возможность оценивать энергетическую интенсивность скрытых процессов при помощи телескопов, чувствительных к инфракрасному излучению, которое испускают нагретые поверхности. Когда данные наблюдений со спутников анализируются совместно с информацией, отобранной из внутренних отчетов, перехваченных радиосообщений и бесед с эмигрантами, то суммарный результат оказывается поразительным. Об этом убедительно свидетельствуют ежегодные публикации министерства обороны США относительно военной мощи СССР.

Представляется маловероятным, чтобы в условиях такого слежения какой-либо из сторон удалось скрыть деятельность по производству хотя бы 1 т плутония или 5 т сильнообогащенного урана в год. Признаков этой деятельности было бы достаточно, чтобы она не осталась незамеченной. Например, строительство реакторов, производящих плутоний, и связанных

с ними заводов по переработке топлива было бы эквивалентно предприятию с капиталом, исчисляющимся многими миллиардами долларов. На нем были бы заняты многие тысячи рабочих, а потому было бы крайне трудно скрыть истинный характер производимых работ такого масштаба.

Кроме того, для получения урана на цели вооружения потребовалось бы примерно 1000 т урановой руды. Это, хотя и не очень большое, количество материала все же составляет значительную долю в планируемом потреблении его атомными электростанциями. Исчезновение столь большой доли только что добытой руды было бы трудно скрыть, особенно если предусмотреть необходимый контроль непосредственно на урановых обогатительных фабриках.

ВОЗМОЖНОСТИ обнаружения заводов для скрытого производства путем контроля деятельности добывающих и обогатительных звеньев несколько ограничены, так как планы такого производства могут долгие годы обеспечиваться запасами, созданными ранее. В Соединенных Штатах сейчас накоплены сотни тонн U-235 в истощенном, природном и слабообо-

гащенном уране. Подобные же резервы существуют, вероятно, и в Советском Союзе. Нетрудно представить, что до вступления в силу договора о прекращении производства могут быть скрыты запасы, содержащие до 100 т урана-235.

Другой способ обнаружения заводов для скрытого производства делящихся материалов — по характерным особенностям их работы. Примером могут служить огромные количества тепла, выделяемые реакторами, производящими плутоний. Комплекс реакторов, способный скрыто производить 1 т плутония в год, должен был бы выделять в среднем примерно 3 млн. квт тепла. Это приблизительно равно тепловыделению американского города с населением 300 тыс. человек. Выделение столь больших количеств тепла трудно было бы сделать незаметным; сейчас существуют датчики, которые позволяют обнаруживать из космоса наличие или отсутствие потолочной теплоизоляции в жилом доме для одной семьи.

На с. 79 приведен сделанный в инфракрасных лучах аэрофотоснимок сброса теплой воды от реакторов, работающих в Саванна-Ривере, средний тепловой выход каждого из которых равен приблизительно 1,5 млн. квт.

Такие же снимки могут быть сделаны со спутников. Правда, можно попытаться ослабить инфракрасное излучение, испускаемое теплой водой, например полностью смешивая ее с водой большой реки, но проблема скрытности все-таки останется острой и сами мероприятия, направленные на обеспечение скрытности, могут явиться указанием на истинный характер объекта.

Наименее заметные из существующих в настоящее время установок, способных производить делящиеся материалы для ядерного оружия, — это заводы по разделению изотопов методом центрифугирования. Данный метод, в настоящее время внедряемый в промышленности, основан на разделении газа, содержащего уран, в центрифугах. При таком методе для достижения заданного уровня обогащенности требуется гораздо меньше последовательных ступеней, чем при методе газодиффузионного разделения изотопов. Кроме того, заводы по центрифугированию имеют меньшие размеры и потребляют меньше электроэнергии. Внешний вид таких заводов значительно менее характерен, чем газодиффузионных, и их, возможно, трудно будет выявить по одним фотографиям, сделанным со спутников. Однако разведывательные операции более широкого масштаба, вероятно, позволят обнаруживать их на основании собранных данных о крупных работах по изготовлению и монтажу большого числа центрифуг, необходимых для производства 5 т сильнообогащенного урана в год (см. рисунок на с. 85).

Министерство энергетики недавно сообщило, что его будущие уранообогащительные установки будут основаны на новом методе — лазерном разделении изотопов. Этот метод основан на различии энергетических уровней электронов в атомах изотопов U-235 и U-238, обусловленном неодинаковостью масс их ядер. Для разделения изотопов рабочую длину волны системы лазеров подбирают так, чтобы их излучение поглощали атомы U-235 (теряя при этом электрон), но не поглощали атомы U-238. Затем в электрическом поле заряженные ионы U-235 отделяются от незаряженных атомов U-238.

Завод по обогащению урана, использующий технологию, основанную на лазерном методе разделения изотопов, должен быть меньше завода с центрифугированием. Поэтому его будет еще труднее выявить по фотографиям, сделанным со спутников. Тем не менее строительство завода с лазерной технологией обогащения, способного производить 5 т урана в

год для ядерного оружия, обойдется в несколько сот миллионов долларов. Кроме того, на таком заводе должны быть установлены необычные лазеры с большой потребляемой мощностью, работающие в режиме очень коротких импульсов. По этим и другим признакам его можно обнаружить только с помощью более глубоких разведывательных действий.

Хотя любые методы контроля, о которых говорилось выше, теоретически можно обойти, для скрытого производства делящихся материалов потребовалось бы утаивать строительство и эксплуатацию всех связанных с этим крупных заводов на протяжении нескольких лет. Обнаружение (любыми имеющимися средствами наблюдения и разведки) одного подозрительного звена поставило бы под угрозу всю систему скрытого производства.

Свидетельства скрытого производства можно было бы передавать на рассмотрение какому-либо органу типа Постоянной консультативной комиссии, которая была первоначально создана для обсуждения вопросов, касающихся выполнения договора ОСВ I (1972 г.). В отсутствие удовлетворительных объяснений можно было бы ставить вопрос о контроле на местах, как это было решено между США, СССР и Великобританией относительно подземных ядерных испытаний перед прекращением в 1980 г. переговоров о полном их запрещении. Систематическое уклонение от ответов на законные запросы поставило бы, конечно, под вопрос продление соглашения о прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия.

«Вознаграждение» за успешное укрывание программы тайного производства вряд ли было бы очень эффективным; оно свелось бы к небольшому увеличению существующих запасов делящихся материалов, которые и так уже чрезмерно велики.

Если США и СССР удастся достичь соглашения о запрещении дальнейшего производства делящихся материалов для ядерного оружия, то, естественно, будет сделана попытка охватить таким соглашением и другие государства, располагающие ядерным оружием, а также убедить подписать его те из государств, которые не располагают ядерным оружием и которые не подписали договор о его нераспространении. Контролируемое прекращение производства делящихся материалов заложило бы также основу для контролируемого сокращения запасов этих материалов, уже имеющихся в арсеналах госу-

дарств, располагающих ядерным оружием.

Ликвидировать делящиеся материалы можно было бы, очевидно, путем сжигания их в существующих энергетических реакторах. Уран, предназначенный для изготовления ядерного оружия, стал бы непригодным для использования в военных целях после разбавления его истощенным или природным ураном до уровня, отвечающего требованиям, предъявляемым к топливу для энергетических реакторов. Ликвидация запасов плутония оказалась бы более сложной задачей, поскольку в природе не существует изотопа, которым можно было бы «денатурировать» плутоний. Один из возможных способов их ликвидации — использовать плутоний в качестве топлива для сравнительно небольшого числа строго контролируемых реакторов, работающих в «однократном» режиме (т. е. без переработки топлива). Десять крупных реакторов могли бы таким путем ликвидировать весь плутоний, содержащийся в настоящее время в американском или советском оружии, примерно за 10 лет.

Поскольку США и СССР могут, по видимому, довольно хорошо оценивать объемы имеющихся у другой стороны запасов делящихся материалов, нет никаких очевидных причин для того, чтобы на основе таких оценок они не смогли договориться об уменьшении, скажем, на 50% своих запасов ядерного оружия. После такого уменьшения небольшие нарушения станут более существенными, и поэтому, чтобы заложить основу для соглашений о дальнейшем сокращении запасов, потребуется более широкий обмен информацией и более точный анализ.

Сейчас нет никаких оснований откладывать меры, которые могут быть приняты немедленно. Если США и СССР готовы разрешить контроль на своих ядерных установках, не имеющих отношения к изготовлению оружия, то выполнение договоренности о прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия, как и договоренности о существенном сокращении уже имеющихся запасов делящихся материалов, подавалось бы удовлетворительной проверке.

Последствия удара

ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ли 66 млн. лет назад, в конце мелового периода, когда вымерли динозавры и многие другие живые существа, Земля столкнулась с гигантским метеоритом? Эта гипотеза впервые была выдвинута в 1979 г. Л. Альваресом, У. Альваресом и их коллегами по Калифорнийскому университету в Беркли. Ученые сообщили о том, что в тонком слое глины, отделяющем меловые отложения от последующих наслоений третичного времени, содержатся аномально большие количества иридия. Этот элемент редко встречается в земной коре, но его довольно много в метеоритах. По предположению группы Альвареса, отложения иридия возникли в результате падения на Землю астероида диаметром около 10 км. При ударе этого тела о Землю поднялось колоссальное облако пыли, которое окружило всю планету и затмило Солнце, что и вызвало массовое вымирание.

По прошествии восьми лет эта гипотеза все еще вызывает споры. Поскольку иридий широко распространен и в земной мантии, избыточное содержание этого элемента в коре можно, вообще говоря, объяснить, не обращаясь к вземным причинам. Несколько исследователей, и в том числе Ч. Оффисер и Ч. Дрейк из Дартмутского колледжа, выдвинули предположение, что в конце мелового периода была повышена вулканическая активность, в результате чего многие животные вымерли, а из недр Земли были выброшены большие количества иридия. Теперь в журнале "Science" Б. Бохор, П. Модрески и Ю. Фурд из Геологической службы США опубликовали сообщение о глобальном распространении другого, более определенного, чем иридий, «индикатора». Это зерна кварца, несущие на себе, по-видимому, явные следы воздействия ударной волны, которая возникла при падении небесного тела.

Прежде сотрудники Геологической службы идентифицировали такой подвергшийся ударному метаморфизму кварц только в одном месте — в шт. Монтана. Оказалось, что в слоях, ориентированных параллельно кристаллографическим плоскостям минерала, кристаллическая структура нарушена. Подобные кварцевые зерна присутствовали в изобилии именно там, где наблюдалась аномалия содержания иридия. Они включали множество пересекающихся групп нару-

шенных слоев; прежде эта особенность встречалась только в зернах из мест падения метеоритов. Нарушенные слои имеются также в образцах кварца, отобранных в районах развития деформаций земной коры и эксплозивного вулканизма, но в этом случае в зернах содержится только одна группа параллельных слоев.

Подвергшийся ударному воздействию кварц из шт. Монтана мог возникнуть в результате эрозии из какого-то прежде существовавшего ударного кратера и отложиться вместе с иридием, выброшенным из вулканического источника. Однако в настоящее время сотрудники Геологической службы обнаружили зерна испытывавшего ударное воздействие кварца в слоях, содержащих иридий, еще в семи местах земного шара: пять из них находятся в Европе, одно — в Новой Зеландии и одно — на дне Тихого океана. Повсеместное соседство кварца и иридия указывает на то, что они возникли в результате одного и того же события.

Размеры кварцевых зерен, равно как их структура, подтверждают, что этим событием был удар колоссальной силы. Зерна, исследованные Бохором и его коллегами, были столь большими (в некоторых случаях свыше 0,1 мм в длину), что не могли быть перенесены на далекие расстояния ветром. Даже если ударные структуры образовались при вулканических взрывах, отмечает Бохор, материал пеплового облака осел бы сравнительно близко от места извержения. Чтобы объяснить глобальное распространение указанного материала, нужно допустить, что по всей Земле одновременно произошли извержения многих вулканов. В противоположность этому энергии, выделившейся при одном-единственном столкновении небесного тела с Землей, было бы достаточно для того, чтобы забросить обломки на баллистические траектории, по которым они могли бы обогнуть земной шар.

Это открытие не только укрепило позиции гипотезы столкновения, но и позволило прояснить некоторые детали происшедшего события. Кварц широко распространен только в породах континентальной коры, поэтому его присутствие в слое, образованном из выброшенного и затем отложившегося материала, указывает на то, что астероид упал на один из континентов. Самые большие зерна кварца, испытывавшего воздействие ударной волны, найдены в западной части США. Исходя из того, что наиболее

крупные зерна вероятнее всего должны были упасть на землю вблизи места удара, Бохор делает предположение, что астероид упал где-то в Северной Америке. Почему в таком случае не был обнаружен кратер? Бохор полагает, что следы удара могли быть стерты продолжавшимися 66 млн. лет процессами горообразования, оледенения, эрозии и осадконакопления.

Оффисер считает все эти рассуждения необоснованными. При этом он ссылается на неопубликованные данные Н. Картера из Техасского университета сельского хозяйства и техники и исследование Дж. Крокета из Университета Макмастера в пров. Онтарио. Согласно Картеру, минералы, несущие на себе следы воздействия ударных волн, которые связаны с известными вулканическими извержениями, встречаются по всей толще пластов, соответствующей периоду в 400 тыс. лет и включающей границу между меловым и третичным периодами. А исследование Крокета позволяет предположить, что в течение такого же длительного периода отлагались и значительные количества иридия. По мнению Оффисера, в геологической летописи отразились длительные и интенсивные вулканические процессы, а не внезапный удар.

Издательство
МИР
предлагает:

А. Балаж
БИОЛОГИЯ
ОПУХОЛЕЙ

Сомнения и надежды
Перевод с венгерского

В книге в доступной форме описаны биологические основы и возможные механизмы злокачественного перерождения клеток.

Для специалистов в области теоретической, экспериментальной и клинической онкологии, цитологов, всех интересующихся проблемой рака.

1987, 16 л. Цена 2 р. 10 к.



Почему жидкость течет по трубке быстрее, когда трубка сужена

ДЖИРЛ УОЛКЕР

КОГДА я поливаю лужайку из садового шланга, я иногда слегка зажимаю его конец пальцем, чтобы струя воды улетала дальше. Это происходит потому, что скорость воды возрастает при уменьшении диаметра отверстия, через которое она вытекает.

Увеличивается ли при этом объем воды, вытекающей из шланга в единицу времени? Оказывается, нет. Объем (его называют расходом жидкости) на самом деле уменьшается из-за того, что сжатие шланга вызывает возникновение в потоке жидкости турбулентности, которая снижает его энергию. Если уменьшать отверстие, то скорость воды будет увеличиваться, а ее расход — уменьшаться. Этот факт известен из лабораторных экспериментов. Если я хочу уменьшить количество воды или другой жидкости, вытекающей из трубки, я затягиваю на ней зажим, уменьшая тем самым просвет, через который течет жидкость. Результат получается именно тот, которого следовало ожидать.

Однако недавно В. Гацек, врач из Уэйнсборо (шт. Вайоминг), удивил меня своими опытами. Он попытался смоделировать течение (поток) жидкости через почку человека: некоторые особенности этого течения ставят в тупик медиков. В его эксперименте вода стекала по садовому шлангу из поднятого над землей резервуара, который непрерывно наполнялся. К нижнему концу шланга была прикреплена резиновая трубка, образующая петлю; эта трубка моделировала расположение входящего и выходящего сосудов в почке. Петля фиксировалась зажимом в виде трех колечек, вырезанных из конца трубки. На свободном конце трубки располагался винтовой зажим, с помощью которого моделировалось переменное сопротивление в выходящем сосуде почки. Чтобы вся трубка находилась на одной высоте и различия высоты отдельных ее участков не влияли на течение, Гацек положил ее на стол.

Вытекающая из системы за определенное время вода наполняла небольшое ведро, которое затем взвешивалось на весах и таким образом определялся расход воды. Сначала вода

текла тоненькой струйкой: причиной было сжатие трубки. Затем, постоянно измеряя расход воды, Гацек начал затягивать зажим, поворачивая винт каждый раз на определенный угол. Поначалу расход оставался постоянным. Далее, когда трубка заметно сузилась, расход внезапно возрос; он увеличился в пять раз по сравнению с расходом при полностью открытом винтовом зажиме. При дальнейшем затягивании зажима расход вновь начал уменьшаться и стал равен нулю при полностью закрытом зажиме.

Как может затягивание зажима увеличивать расход воды? Оно должно приводить к возникновению турбулентности, вследствие чего уменьшается энергия потока и расход воды. Тем не менее сжатие потока каким-то образом увеличивает расход воды.

После того как винтовой зажим был закрыт, Гацек начал открывать его, увеличивая просвет трубки на определенную величину, и опять следил за расходом воды. На этот раз для достижения максимального расхода ему пришлось сильнее открывать зажим по сравнению с моментом максимального расхода при постепенном затягивании зажима, и величина максимального расхода воды оказалась выше. После достижения максимума дальнейшее ослабление зажима привело к резкому уменьшению расхода воды до тех пор, пока вода вновь не стала течь тоненькой струйкой. Когда Гацек построил график зависимости расхода воды от просвета трубки, на нем четко выявлялся гистерезис (запаздывание) в системе. Почему система ведет себя по-разному при закрывании и открывании зажима?

Изучение деталей опыта Гацека не дает никакого намека на решение этого вопроса. Резервуар с водой располагался на высоте 5,2 м над столом. Резиновая трубка имела тонкие стенки и наружный диаметр 5 мм. (Характеристики трубки не играют большой роли, она лишь должна быть тонкостенной и эластичной.) Длина петли составляла 22 см, а входные и выходные участки трубки имели длину соответственно 9 и 10 см. Ширина каждого колечка на зажиме составляла 1 мм.

Для измерения расхода воды Гацек собирал ее в течение 30 с. Затем он взвешивал собранную воду, переводил ее объем в кубические миллиметры и вычислял расход. (Можно было бы измерять время, за которое вода наполняет ведро, определенного объема.) Винт зажима поворачивался на 5° после каждого измерения. Никаких следов усталости трубки, находящейся под давлением воды, не наблюдалось.

Другой опыт, проведенный Гацеком, еще сильнее все запутал. В этом опыте он убрал винтовой зажим и постепенно поднимал резервуар с водой. Сначала, как и следовало ожидать, расход воды увеличивался. Однако, после того как резервуар был поднят выше определенной высоты, расход воды оставался постоянным, а затем уменьшился на 30%. Когда Гацек поднял резервуар еще выше, расход вновь начал возрастать.

Первоначально Гацек использовал центробежный насос, прокачивавший воду сквозь петлю и зажатую резиновую трубку. Поэтому он решил, что удивительные свойства потока объясняются пульсацией при работе насоса. Однако в 1986 г. С. Уэллс, бывший тогда студентом-дипломником Университета Олд-Доминион в шт. Виргиния, обнаружил, что те же аномалии наблюдаются и в стационарном потоке, т. е. пульсации здесь ни при чем. Тогда Гацек заменил насос резервуаром, поднятым над землей.

Гацек считает, что в опыте с винтовым зажимом резкое возрастание расхода воды вызвано деформацией участков трубки внутри кольцевого зажима. Расположенный здесь кусок входной трубки находится под давлением воды. Когда зажим открыт, давление расширяет этот участок, отрезок выходной трубки в зажиме сдвигается и поток жидкости через него уменьшается до тонкой струйки.

При постепенном закрывании зажима сужение канала приводит к возникновению в потоке сопротивления, вследствие чего возрастает давление на участке между кольцевым и винтовым зажимами и в выходной трубке внутри кольцевого зажима. По-видимому, давление в выходной трубке становится достаточным для уравновешивания давления во входной трубке. Отрезок выходной трубки внутри кольцевого зажима расширяется. Он расширяется за счет сжатия входной трубки, тем не менее в результате расход жидкости резко возрастает. После того как он достигает максимума, дальнейшее затягивание винтового зажима порождает столь сильное сопротивление, что поток постепенно уменьшается до нуля.

Я решил применить несколько иной подход к решению этой загадки: рассмотреть изменение энергии потока жидкости. Меня заинтриговало следующее противоречие: при затягивании винтового зажима энергия потока должна уменьшаться, а в действительности она увеличивается. Чтобы проследить за моими рассуждениями, необходимо сначала уяснить некоторые основные характеристики течения жидкости. Расход жидкости в трубе равен произведению скорости потока на площадь поперечного сечения трубы. Вдоль трубы расход должен быть постоянным, поскольку вода не может исчезать и появляться из ничего. В тех местах, где труба сужается, скорость течения должна возрастать, а где она расширяется — падать. Если диаметр трубы не меняется, скорость течения должна быть постоянной в каждой ее точке.

Течение без турбулентности называют ламинарным. Такое течение можно описать с помощью линий тока, представляющих собой траектории движения отдельных частиц (микроскопических объемов жидкости). Каждая новая частица, проходящая через некоторую точку системы, будет двигаться вдоль той линии тока, по которой двигались все частицы, прошедшие ранее через эту точку.

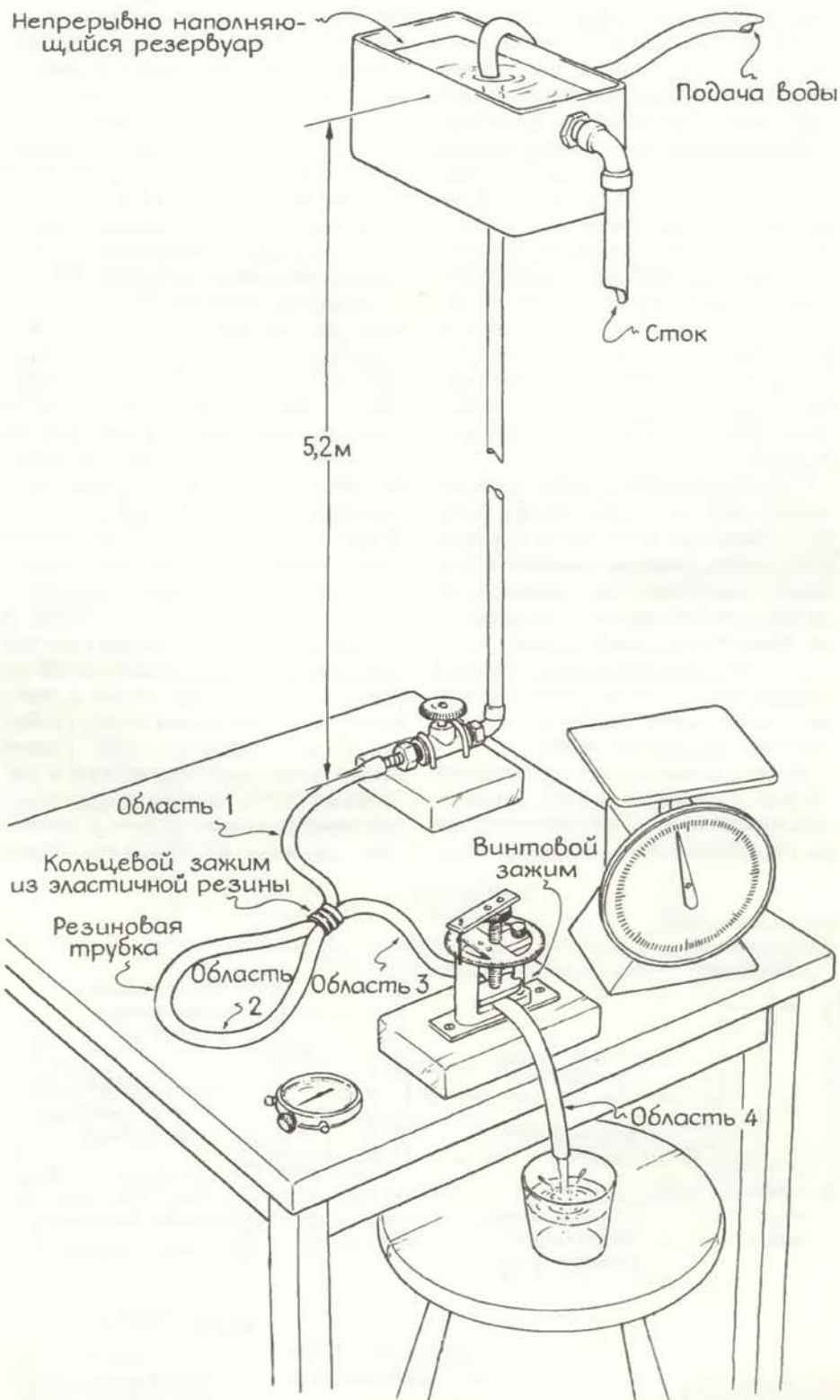
В движущейся воде существуют два давления: статическое и динамическое. Статическое давление имеется и в трубе с неподвижной жидкостью; оно равно нулю лишь на границе воды с атмосферой, например на конце шланга. Динамическое давление пропорционально квадрату скорости течения. Статическое и динамическое давления связаны с различными видами энергии. Статическое давление представляет собой потенциальную энергию, отнесенную к единице объема, а динамическое давление — кинетическую энергию единицы объема. Если изменяется толщина слоя жидкости, то необходимо учитывать гравитационную потенциальную энергию единицы объема.

Согласно уравнению Бернулли, названному так по имени швейцарского ученого XVIII в. Д. Бернулли, в ламинарном потоке сумма этих энергий постоянна вдоль линии тока. Предположим, что вода течет по горизонтальной сужающейся трубе. Когда она попадает в узкий участок, ее скорость и кинетическая энергия (динамическое давление) увеличиваются за счет уменьшения статического давления. В том месте, где труба расширяется, происходит обратный процесс. Во всех случаях сумма статического и динамического давления остается постоянной.

Пусть теперь труба постоянного диаметра стоит вертикально. При тчении воды по трубе ее гравитационная потенциальная энергия превращается в статическое давление. И опять полная энергия системы не изменяется.

Уравнения Бернулли и условия постоянства расхода жидкости вдоль трубы недостаточны для объяснения результатов опыта Гацека. Если бы течение было ламинарным, расход

жидкости вдоль участка трубки, зажатого кольцевым зажимом, не изменился бы, когда Гацек убрал зажим. Поскольку поток превращается в тонкую струйку, сужение трубки вызывает турбулентность, причем настолько сильную, что она сопровождается поглощением почти всей энергии потока. Я убежден, что возрастание расхода жидкости при затягивании винта обусловлено значительным уменьшением потерь энергии в выходной



Установка В. Гацека для изучения течения жидкости



Турбулентность в месте сужения трубы

трубке внутри кольцевого зажима.

Для развития своей гипотезы я решил исследовать простое ламинарное течение воды в горизонтальной трубе постоянного диаметра. Я прикрепил трубку в нижней части заполненного водой резервуара. На открытом конце трубки, из которого вытекала вода, давление было равно атмосферному, поэтому и статическое давление в этом месте должно быть равно нулю. Скорость жидкости по всей длине трубки должна быть постоянной вследствие постоянства диаметра. Следовательно, согласно уравнению Бернулли, статическое давление должно быть равно нулю по всей длине трубки.

Рассмотрим частицу жидкости, находящуюся в резервуаре вблизи сливного отверстия, к которому прикреплена трубка. Давление с внешней стороны отверстия, где прикреплена трубка, меньше, чем внутри резервуара. Разность давлений ускоряет жидкую частицу в направлении внешней стороны отверстия, в результате чего она приобретает скорость, равную скорости жидкости в трубе.

Затем я провел опыты с дренажной трубой, состоящей из двух горизонтальных секций и соединяющей их вертикальной секции. На концах гори-

зонтальных секций статическое давление должно быть равно нулю. Кроме того, диаметры всех секций одинаковы, поэтому скорость течения в них также должна быть постоянной. Основное отличие от предыдущего опыта состоит в том, что, когда вода течет по вертикальной трубке, ее гравитационная потенциальная энергия переходит в статическое давление. В верхней части этой секции статическое давление отрицательно.

Рассмотрим вновь жидкую частицу, входящую в сливное отверстие резервуара. Поскольку теперь статическое давление с внешней стороны отверстия отрицательно, частица будет ускоряться сильнее и приобретать скорость, большую, чем в предыдущем опыте. При большей скорости потока расход жидкости выше.

Заметьте, что кинетическая энергия и скорость воды определяются статическим давлением и гравитационной потенциальной энергией воды в резервуаре. Предположим, что конец горизонтальной секции трубки сжимается так, что возникает турбулентность, при которой поглощается энергия. Тогда кинетическая энергия воды, вытекающей из трубки, должна уменьшиться и, следовательно, снизится скорость течения в системе. В опыте Гацека два сужения трубки были созданы кольцевыми зажимами, а третье — винтовым зажимом.

Чтобы проверить опыт Гацека, я провел эксперимент со схематической моделью его трубки, состоящей из двух коротких тонких секций и зажима на горизонтальном конце трубки (см. рисунок вверху на с. 91). Тонкие секции моделировали входную и выходную трубки в местах их прохождения через кольцевой зажим. Статическое давление на открытом конце

трубки и в областях 3 и 4 равно нулю. В области 1 статическое давление большое; оно сжимает выходную секцию трубки в кольцевом зажиме, и в результате через систему течет лишь тонкая струйка воды. Область 2 моделирует петлю в опыте Гацека.

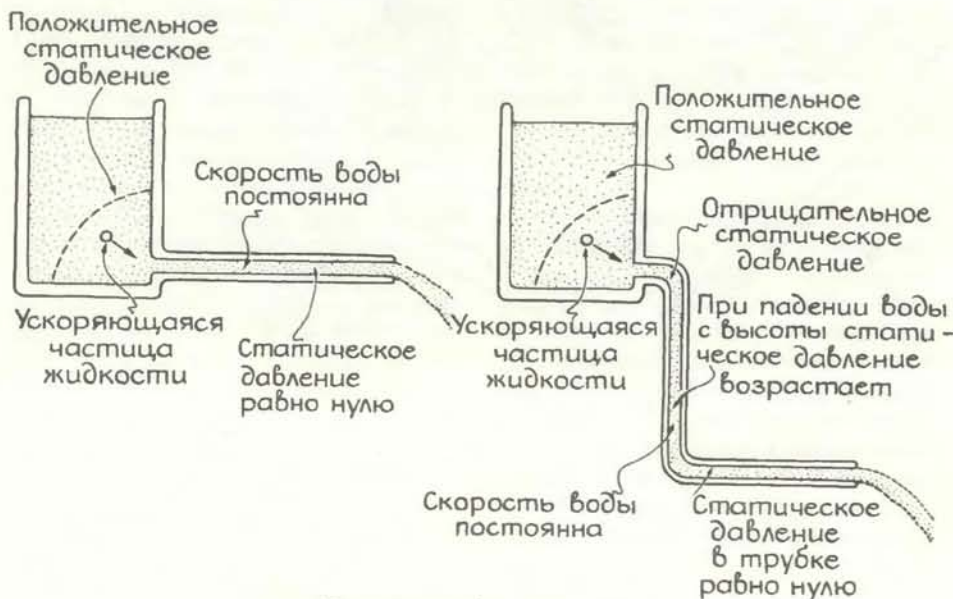
Рассмотрим график, помещенный под изображением этой модельной системы. Верхняя линия представляет изменение полного давления вдоль трубки, нижняя линия — изменение статического давления. Расстояние между линиями показывает величину динамического давления, или кинетической энергии, в разных точках трубы. Поскольку скорость воды постоянна и мала, расстояние между линиями также постоянно и мало.

В вертикальной секции трубки давление возрастает за счет уменьшения гравитационной потенциальной энергии. Обе линии на графике идут вверх, однако кинетическая энергия остается постоянной. Во входной и выходной трубках внутри кольцевого зажима возникает турбулентность, которая уменьшает статическое давление. Поскольку диаметр входной трубки относительно велик, потери энергии в ней небольшие. В частично сжатой выходной трубке эти потери значительно больше, поэтому статическое давление в ней уменьшается до нуля.

Затем я построил диаграмму, соответствующую случаю максимального расхода жидкости. Вновь в области 4 статическое давление равно нулю. Поскольку размер трубки в этой области не менялся, а расход воды увеличился, увеличилась и скорость течения. Следовательно, расстояние между двумя кривыми давления на графике стало больше, чем в предыдущем случае.

Обратите внимание на потери энергии в секциях, моделирующих входную и выходную трубки. Хотя потери во входной секции слегка возросли, потери в выходной секции заметно уменьшились вследствие увеличения диаметра этой секции внутри кольцевого зажима. Полные потери энергии на участках внутри кольцевого и винтового зажимов оказались меньше, чем при полностью открытом винтовом зажиме. В результате кинетическая энергия потока возросла.

При каких условиях через кольцевой зажим проходит максимальное количество жидкости? Гацек считал, что это происходит при равенстве диаметров входной и выходной трубок внутри зажима. Чтобы проверить его гипотезу, я предположил, что потери энергии при сужении трубки пропорциональны отношению площадей сечения трубки в нормальном состоянии и суженной трубки. За-



Два принципа дренажа

тем я сложил потери на входе и выходе кольцевого зажима при условии, что сумма площадей сечения сжатых трубок равна площади сечения зажима. Далее я решил проверить свое предположение для случая минимальных полных потерь энергии. В самом деле они минимальны тогда, когда диаметры входной и выходной трубок равны. Итак, эта часть загадки была решена. Когда винтовой зажим затягивается, возрастающее статическое давление в выходной трубке внутри кольцевого зажима расширяет ее, при этом потери энергии в данном месте резко уменьшаются, и кинетическая энергия вытекающей из трубки воды увеличивается.

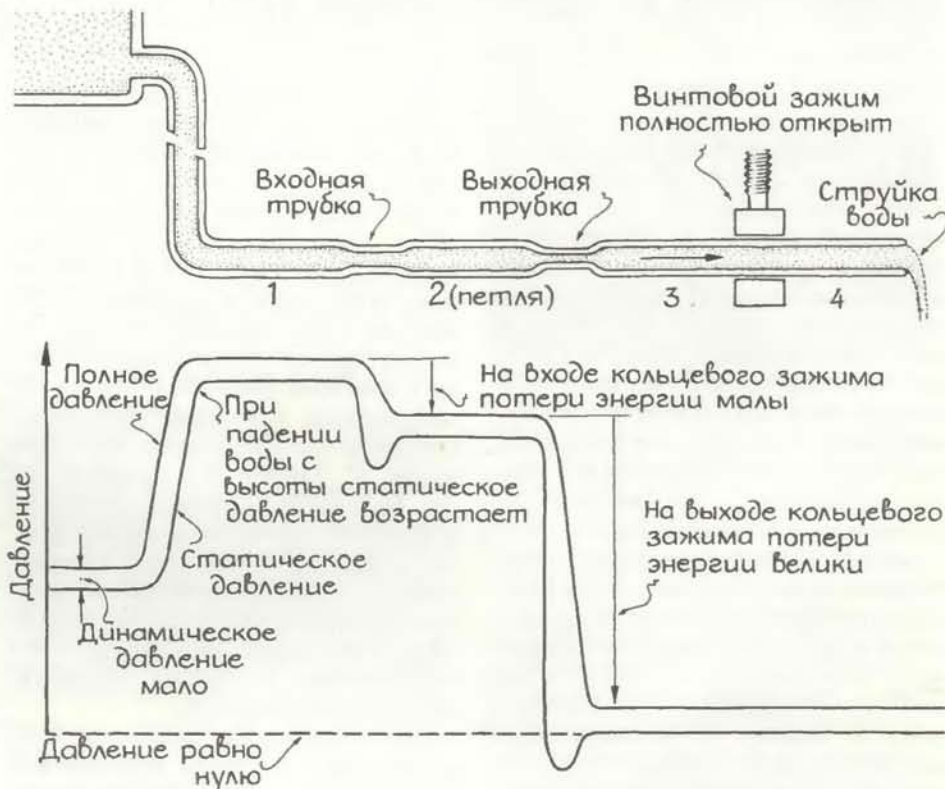
Почему переход в режим с максимальным расходом воды происходит столь резко? Я думаю, что причиной служит форма стенок входной и выходной трубок в тех местах, где они касаются кольцевого зажима. При затягивании винтового зажима стенка входной трубки становится выпуклой, а выходной — вогнутой и выходная трубка частично перекрывается. Как только давление в ней возрастает настолько, что оказывается в состоянии прогнуть стенку в обратную сторону, оно резко выгибает ее наружу. При этом соприкасающиеся стенки входной и выходной трубок становятся плоскими и расход жидкости быстро достигает своего максимального значения.

Чем объяснить возникновение в рассматриваемой системе гистерезиса? Предположим, что винтовой зажим был затянут до того состояния, при котором расход жидкости достигает максимума. Поскольку при этом соприкасающиеся стенки входной и выходной трубок становятся плоскими, потери энергии на участке внутри кольцевого корсета близки к минимальным. Если затем немного приоткрыть винтовой зажим, стенки трубки останутся плоскими и потери энергии на этом участке не увеличатся. Однако потери энергии внутри винтового зажима при этом уменьшатся и, следовательно, уменьшатся полные потери энергии в системе. В результате этого увеличится кинетическая энергия потока и расход жидкости станет максимальным.

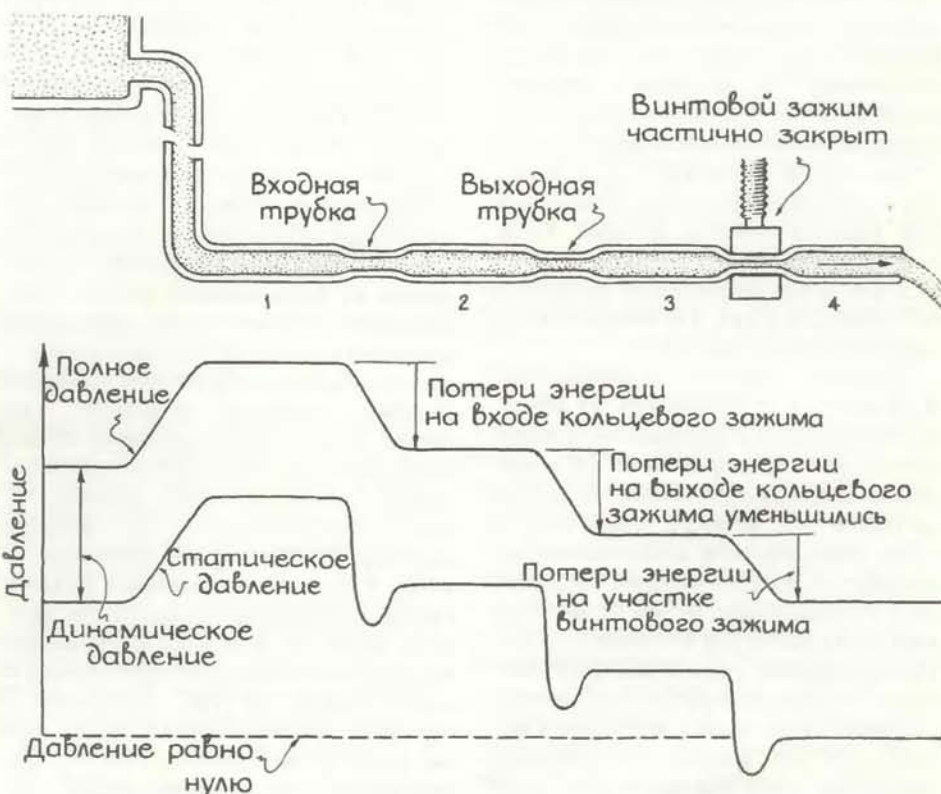
Итак, остался нерешенным последний вопрос. Как объяснить изменение расхода жидкости в случае, когда винтовой зажим все время открыт, а резервуар постепенно поднимается? Предложенное Гацеком объяснение вполне удовлетворительно. Сначала расход жидкости возрастает из-за того, что при подъеме резервуара на дополнительную высоту вода проталкивается в систему с большей скоро-

стью. Однако вскоре возросшее давление во входной трубке кольцевого зажима начинает сдавливать выходную трубку. После того как резервуар поднимается еще выше, расход воды начинает возрастать вследствие того, что высокое давление во входной трубке растягивает кольцевой зажим. Опыты Гацека помогают объяс-

нить некоторые характеристики течения крови в почечных клубочках. Дело в том, что приносящая артериола (входящий сосуд) и выносящая артериола (выходящий сосуд) проходят через одно отверстие капсулы Боумена и могут «бороться за пространство» в этом отверстии. На выносящем сосуде нет никакого зажима, од-



Энергетические потери при открытом винтовом зажиме



Энергетические потери при частично закрытом винтовом зажиме

нако он подвержен действию сосудосуживающего гормона под названием «ангиотензин», образующегося под действием вырабатываемого в почках ренина. При определенных физиологических условиях почки могут обеспечивать образование ангиотензина,

для того чтобы сузить выносящий сосуд и увеличить сопротивление току крови. Возросшее сопротивление может вызвать расширение сосудов в отверстии капсулы Боумена, что приведет к значительному увеличению расхода крови в системе.

мает эстроген. Если же недостаток эстрогена в организме компенсируется, вероятность возникновения ИБС после такой операции не больше, чем у женщин того же возраста, не вступивших в климактерический период.

Таким образом, по поводу развития ишемической болезни сердца у женщин во время климакса есть утешительные новости. Плавное снижение уровня эстрогена, происходящее при естественном климаксе, не влечет за собой никакого существенного увеличения риска, а те женщины, кому пришлось удалить оба яичника, могут избежать опасности путем медикаментозного лечения эстрогеном.

Наука и общество

Женские проблемы

ШИРОКО известно, что женщины живут дольше: в среднем 78,2 года, а мужчины — 71,2 года. Тем не менее быть женщиной — значит находиться в дополнительной потенциальной опасности. Согласно недавно появившимся сообщениям, для женщин, употребляющих алкоголь (пусть даже в умеренных количествах), вдвое больше риск заболеть раком молочных желез, а для тех, кому хирургически удалили матку и яичники без лечения эстрогеном, удваивается риск ишемической болезни сердца.

Факты, свидетельствующие о корреляции между употреблением алкоголя и раком молочных желез, приводятся в двух независимых сообщениях, опубликованных в «New England Journal of Medicine». Автор одного из них, А. Шацкин из Национального института рака, с группой сотрудников проанализировали данные, полученные в ходе долгосрочного эпидемиологического обследования, проведенного в рамках первого общенационального освидетельствования здоровья и питания населения. В этом обследовании 7188 женщин в возрасте от 25 до 74 лет были подробно опрошены, а затем за ними наблюдали в течение 10 лет. К концу этого срока у 121 из них развился рак молочных желез. Причем для тех женщин, которые пили спиртное в среднем 3 раза в неделю, риск заболевания возрос на 40—50%, а для тех, кто выпивал раз в день или чаще — на 100%.

Вторая работа принадлежит У. Уиллетту с коллегами из Медицинской школы Гарвардского университета. Они предложили 89 538 медицинским сестрам письменно ответить на ряд вопросов об их привычках по части употребления алкогольных напитков; затем этих женщин наблюдали в течение 4 лет. У 601 из них был диагностирован рак молочных желез. Исследователи учли известные факторы, влияющие на развитие данного ракового заболевания, и пришли к выводу, что для женщин, выпивавших ежедневно один или более раз, вероятность заболеть выше, чем для тех, кто употребляет спиртное от случая к случаю или вообще не пьет.

Строго говоря, употребление спиртных напитков может увеличивать риск заболевания раком вследствие не собственно воздействия алкоголя, а иных причин, так что необходимо дальнейшее изучение обнаруженной корреляции. Тем не менее сам факт такой связи не вызывает сомнения: он установлен почти во всех подобных исследованиях, и учет известных факторов риска не изменяет общей картины. В редакционной статье, сопровождающей упомянутые публикации, С. Грэхем из Университета шт. Нью-Йорк в Буффало пишет, что женщинам, для которых велика опасность рака молочных желез: излишне полным, имеющим мало детей, впервые беременным после 25 лет, а также тем, у кого матери страдали от этого заболевания, — следует сократить употребление алкоголя.

Остро интересны также статистические данные о связи ишемической болезни сердца (ИБС) с климаксом. Многие годы считалось, что в период естественного или искусственного (вследствие хирургического удаления матки) климакса повышена вероятность ИБС. В США удаление матки — одна из самых частых крупных хирургических операций, и сообщение о связи ее с ИБС вызвало понятное беспокойство. Последние сведения как будто рассеивают тревогу. Согласно результатам, полученным группой исследователей, возглавляемой Г. Колдишем из Медицинской школы Гарвардского университета, риск рака молочных желез возрастает вследствие резкого падения уровня женского полового гормона эстрогена, что имеет место после удаления обоих яичников, а не из-за прекращения месячных самого по себе. Результаты письменного опроса 121 700 женщин в возрасте от 30 до 55 лет свидетельствуют, что при естественном климаксе (когда постепенно уменьшается уровень эстрогена в результате угасания функции яичников) нет существенного увеличения риска ИБС. Женщины, у которых удалена только матка или же матка и один яичник, тоже не подвергаются повышенному риску. Однако удаление матки и обоих яичников одновременно ведет к удвоению риска ИБС, если пациентка не прини-

Сладкая отравка

СТЕХ ПОР КАК в 1981 г. было решено использование искусственного сладкого вещества аспартам, поступившего в продажу под названием Nutra Sweet, популярность этого заменителя сахара сильно возросла. Он столь широко применяется в производстве различных напитков и пищевых продуктов, что к 1985 г. его потребление в США превысило 3500 т. в год. Но недавно появились сведения, которые вновь разожгли тревожные опасения, высказывавшиеся еще при внедрении аспартама в практику, о том что аспартам может влиять на «химию мозга», даже если потребляется в количествах, не выходящих за рамки нормального. В нескольких лабораториях получены данные, свидетельствующие, что большие — но в пределах нормального — дозы аспартама вызывают у человека изменения в поведенческих реакциях.

В мае этого года в Вашингтоне состоялась информационная встреча, на которой ученые, проводившие клинические исследования, представили полученные результаты промышленникам и правительственным чиновникам. Один из исследователей, П. Спирер из Больницы Бет Израэль в Бостоне доложил предварительные результаты экспериментов на добровольцах, которым в рацион включали аспартам в большом количестве (для человека массой 50 кг — 12 стандартных упаковок от питьевой соды, вмещающих по 200 мг аспартама; это количество принимается за 24 ч). При этом ухудшались показатели испытуемых в тестах, обычно используемых для оценки высших функций мозга. Причем с течением времени, как выяснилось при последовательных проверках, эти показатели становились все хуже. Испытуемые, кроме того, жаловались, что в период приема ас-

партама они чаще страдают от головной боли и головокружения.

Считается, что эти эффекты обусловлены аминокислотой фенилаланином, являющейся одним из компонентов аспартама. (Это вещество тоже имеется в продаже; магазины «здоровой пищи» предлагают его в качестве ценной добавки к питанию.) Фенилаланин включают в себя все белки, но когда он потребляется в составе белков, его уровень в мозгу ниже, так как другие аминокислоты препятствуют поглощению фенилаланина. Эта аминокислота может оказывать токсическое действие на нервную систему. При хроническом заболевании, называемом фенилкетонурией, в отсутствие лечения наблюдаются умственная отсталость и судороги. Фенилкетонурия обусловлена врожденным дефектом фермента фенилаланингидроксилазы. Кроме того, многие здоровые люди не способны эффективно усваивать фенилаланин из-за того, что имеют только одну полноценную копию гена фенилаланингидроксилазы, а не две, как должно быть в норме. Показано, что у таких людей — по-видимому, их 1,5—2% — в ответ на введение определенной дозы фенилаланина уровень его в крови достигает величин, значительно больших, чем у нормальных индивидов.

В опытах Спирса испытуемые потребляли аспартам из расчета 50 мг на 1 кг веса тела в сутки, что равно «приемлемой ежедневной дозе», установленной Управлением по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA). Как сообщил Л. Элсас из Медицинской школы Университета Эмори, у людей, имеющих только одну полноценную копию гена фенилаланингидроксилазы, фенилаланин вызывает замедление ритмов мозговой активности уже в дозе 34 мг на 1 кг веса в сутки. Согласно Г. Маталону из Медицинского колледжа Иллинойского университета в Чикаго, прием аспартама в дозах 50-100 мг на 1 кг веса в сутки — это не редкость среди населения США. По его данным, у 14% нормальных индивидов и 35% имеющих одну функциональную копию гена при ежедневном — на протяжении нескольких недель — потреблении больших доз аспартама содержание фенилаланина в крови превышает уровень, считающийся чрезмерным для беременных женщин.

Комментируя представленные сведения, научный сотрудник Nutra Sweet Company подчеркнул, что все эти результаты предварительные. В частности, как он утверждает, в исследовании, проведенном Маталоном, не было контрольной группы испытуе-

мых. На это Маталон ответил, что он располагает массой контрольных данных из ранее проведенных исследований. Защитник Nutra Sweet также отметил, что в работе Элсаса, выявившей изменения в ритмах активности мозга, не наблюдалось тех явлений в поведении, о которых сообщил Спирс.

Возможное объяснение поведенческих эффектов аспартама следует из результатов экспериментов, о которых доложил М. Дьюринг из Массачусетского технологического института. По его данным, у крыс высокие дозы фенилаланина подавляют синтез нейромедиатора дофамина. В ряде лабораторий показано, что у лабораторных животных высокие дозы аспартама могут снижать порог стимуляции, вызывающей судороги, или увеличивать их частоту, хотя нет указаний, что сам аспартам вызывает судороги.

Одобрение аспартама со стороны FDA в 1981 г. подверглось критике потому, что научные сотрудники этого учреждения сделали оговорки по поводу результатов проверки продукта, представленных фирмой-производителем — G.D. Searle & Co., но последующее независимое рассмотрение подтвердило решение FDA. Глава компании Сирл заявил, что ни одна из пищевых добавок не подвергалась столь тщательной оценке, как аспартам. Организатор информационной встречи Р. Вуртман из Массачусетского технологического института подчеркнул, что, поскольку аспартам относят к пищевым продуктам, а не к лекарственным препаратам, в отношении этого вещества закон не требует постоянно следить за его безопасностью и ставить правительственные организации в известность о негативных реакциях. Ожидается, что для подобных ситуаций вскоре будет предложено новое законодательство.

Рентгеновский микротомограф

РАЗРАБОТАН микроскоп, работающий на «жестком», или высокоэнергичном, рентгеновском излучении синхротрона и создающий трехмерные изображения с разрешением, достигающим 1 мкм — в 1000 раз большим, чем у компьютерного растрового томографа, используемого в медицине. Новая система — детище фирмы Exxon Research and Engineering Company, авторы разработки — Б. Флэннери, Г. Декман, У. Робертс и К. Д'Амико.

В системе используются источник синхротронного излучения Брукхейвенской национальной лабо-



РЕНТГЕНОВСКИЙ МИКРОТОМОГРАФ позволяет получить изображение (томограмму) мельчайшего насекомого из семейства трипсовых. Дополнительные цвета выбраны для более наглядного представления внутреннего строения насекомого.

ратории, рентгеновский детектор с высоким разрешением и электронно-вычислительное устройство с необычным принципом формирования изображений. Комплекс этого оборудования расширяет возможности томографии и позволяет наблюдать структуры на микроскопическом уровне. Поэтому разработчики новой системы называют ее трехмерным рентгеновским микротомографом. Поскольку в системе используется возможность синхротронного источника генерировать монохроматическое рентгеновское излучение с точной регулировкой его энергии чуть выше и чуть ниже характеристических линий атомного поглощения, разработчики получили изображения, позволяющие судить о распределении содержащихся в образце химических элементов. Поэтому они полагают, что их микротомограф станет уникальным прибором для изучения микроструктуры многих материалов и различных видов живых тканей.

В медицинских томографах используется рентгеновское излучение для сканирования тела человека в плоскости. Данные измерений подвергаются математической обработке и на основании полученных результатов строится карта поперечных сечений — реконструированное изображение структуры костной или мягких тканей. Томография устраняет неоднозначность радиографических изображений, получаемых на обычных медицинских рентгеновских аппаратах,

в которых изображения получаются как «тень» при сквозном просвечивании.

Микротомография основана на тех же физических и математических принципах. Получение детальных изображений с микроскопическим разрешением, однако, требует создания значительно более мощного рентгеновского пучка. Для уменьшения размеров элементов изображения в 1000 раз, т. е. увеличения разрешения с 1 мм (у обычного томографа) до 1 мкм (у рентгеновского микротомографа), яркость в рентгеновских лучах для получения трехмерных изображений нужно увеличить в 10^{12} раз. Несколько лет назад Л. Гроджинс из Массачусетского технологического института указал, что синхротронный источник рентгеновского излучения способен генерировать такой поток энергии, который необходим для получения изображений с высоким разрешением. Однако эти потенциальные возможности могут быть реализованы только при условии создания новых методов получения изображений в рентгеновских лучах и более совершенных методов обработки данных с большим объемом расчетных работ, неизбежных при реконструировании трехмерных изображений. Все эти задачи практически уже решены сотрудниками фирмы Exxon.

Разработчики полагают, что рентгеновская микротомография станет важным инструментом в практике научных исследований и диагностики в таких областях, как материаловедение, биология и медицина. В частности, они не сомневаются, что эти установки найдут применение при изучении сложных систем, которые по таким параметрам, как температура, давление и среда их «жизнедеятельности», близки к широкому классу объектов от реакторов до живых организмов.

Воспитывать ли ребенка

БОЛЬШИНСТВО родителей, наверное, считают, что их дети научатся садиться, хватать предметы, ходить и осваивать другие навыки быстрее, если их активно побуждать к этому, и медленнее, если предоставить их самим себе. Однако многие специалисты по детской психологии утверждают, что развитие детей обусловлено в основном жесткой генетической программой, нежели родительским вниманием или другими внешними стимулами. Сторонники этой теории часто ссылаются на два «классиче-

ских» наблюдения над близнецами, выполненные в начале 1930-х годов. Эти эксперименты рассматриваются как свидетельство того, что лишение ребенка человеческого внимания не приведет к устойчивой задержке его физического развития, а обучение не ускорит это развитие.

Такой вывод был подвергнут критике М. Рэйзелом, специалистом по детской психологии, сотрудничавшим с Вейцмановским институтом науки в Реховоте (Израиль). По мнению Рэйзела, эти эксперименты на самом деле показали, что для нормального развития внешняя стимуляция является принципиальной. Ограничения такой стимуляции в указанных экспериментах, говорит он, привели к тому, что два индивидуума отстали в физическом развитии и, быть может, необратимо.

Эксперименты, о которых идет речь, были начаты независимо один от другого в 1932 г. двумя молодыми психологами, занявшими позднее видное место в своей области: У. Деннисом, в ту пору доцентом Виргинского университета, и А. Макгроу, в те годы исследователем из Колумбийского пресвитерианского медицинского центра в Нью-Йорке. Деннис, которому помогала жена, изучал пару разнояйцевых близнецов женского пола, Делу и Рей, дочерей бедной женщины из Балтимора. В течение 13 месяцев, начиная с 36-го дня от их рождения, близнецы находились в доме Денниса.

В 1935 г. в журнале «The Journal of Genetic Psychology» Деннис так писал о «полуизоляции» Делы и Рей: «До одиннадцати месяцев им не давали никаких игрушек... Для того чтобы ограничить действия, которые могли бы повлиять на их способность сидеть, детей почти постоянно держали в кроватках на спине... В течение первых шести месяцев мы даже не меняли выражение лица в присутствии детей, не улыбаясь и не хмурясь, никогда не играли с ними, не ласкали и т. д.» На протяжении всего эксперимента близнецы не могли видеть друг друга, так как между их кроватками была поставлена ширма.

В 1938 г. в том же журнале Деннис сообщал, что, судя по результатам эксперимента, «на первом году жизни ребенок “растет” сам по себе». В качестве доказательства он приводил тот факт, что и у Делы и у Рей многие «реакции» — такие, как смех, способность подносить пищу ко рту и плакать в ответ на звуки, — сформировались примерно в том же возрасте, что и у 40 детей из «контрольной» группы, воспитывавшихся в семьях.

Однако диаграмма, приведенная в этой же статье, показывала, что Делы

и Рей отставали в развитии от самых отсталых детей из контрольной группы по таким ключевым показателям, как умение ползать, сидеть и стоять. Хотя Деннис утверждал, что обучение, проведенное в конце 14-го месяца, позволило близнецам «довольно быстро» выйти на нормальный уровень в этих навыках, его данные показывают, что Делы не могла стоять и ходить без посторонней помощи до двух лет. Когда близнецам было четыре года, коэффициент интеллекта (КИ) у Рей составлял 107, а у Делы всего 70. Более того, физическое обследование Делы, проведенное в возрасте шести лет, показало, что она страдает частичным параличом левой стороны тела. Деннис игнорировал «общее отставание» Делы, заметив, что «судя по всему оно вызвано не условиями эксперимента, а какими-то врожденными отклонениями».

Деннис, скончавшийся в 1976 г., никогда не сообщал о дальнейшем развитии близнецов. В 1951 г. он упомянул, что после окончания эксперимента Делы и Рей не вернулись к матери, которая «обнаружила слабое чувство ответственности за них», и жили «временами у родственников, а временами в детских учреждениях».

Джонни и Джимми — близнецы, которых наблюдала Макгроу, — были родом из бедной семьи, проживавшей в Бруклине. (Макгроу выбрала этих близнецов, полагая, что они однояйцевые, но когда они выросли, обнаружила, что они двуяйцевые.) Джимми, который играл роль «контрольного» ребенка, подвергался ограничениям, в то время как Джонни проходил интенсивное обучение. Говоря об условиях, в которых рос Джимми, Макгроу отмечала: «Он не получал больше двух игрушек за раз; его никто не тревожил в кроватке. Однако он ни в коей мере не был совершенно изолирован, поскольку его кроватка была отделена всего лишь ширмой от довольно шумной детской». Эксперимент проводился в лаборатории Макгроу восемь часов в день и пять дней в неделю на протяжении двух лет. Остальное время дети проводили в своей семье.

В 1933 г. Макгроу писала в журнале «Psychological Bulletin», что Джонни не достиг существенного превосходства в таких основных навыках, как умение хватать, самостоятельно сидеть и ходить. Макгроу сделала вывод, что «определенные особенности ребенка слабо зависят, если зависят вообще, от практики». Но она же продолжала утверждать, что «другие типы поведения можно значительно усовершенствовать путем обучения». В самом деле, когда Джонни еще не исполнился год, он карабкался по



БЕССТРАШНЫЙ ДЖОННИ в возрасте 21 месяца слезает с полуторамеретровой стойки (три фотографии слева). Джимми, его брат-близнец, с которым никто не занимался специально, отказывался слезать с меньшей высоты (справа).

плоскости с углом наклона 60° , плавал под водой и катался на роликовых коньках, писала Макгроу, в то время как свойственная Джимми «исключительная осторожность часто мешала развитию моторных реакций».

Спустя два года Джимми стали интенсивно обучать, чтобы проверить, сможет ли он догнать Джонни, однако, за исключением езды на трехколесном велосипеде, способности Джимми «никогда не сравнялись со способностями Джонни». В возрасте 10 лет физическое превосходство Джонни все еще было налицо. «Он не только бегает быстрее и лазает выше, — писала Макгроу в статье, опубликованной в 1942 г. в журнале «New York Times Magazine», — но обнаруживает во всем больше легкости и изящества».

Макгроу, которой сейчас 88 лет, говорит, что она всегда честно признавала превосходство Джонни, объясняемое ранним обучением. Джонни, вспоминает она, оставался более подвижным, когда она в последний раз обследовала близнецов (в ту пору им было 22 года). Когда ее спросили, почему другие исследователи говорили о преимуществах Джонни как о преходящем явлении, она заметила: «Я думаю, люди находят в тексте то, что они хотят найти».

Приводимые ниже цитаты можно считать типичными для трактовки результатов экспериментов Денниса и Макгроу. В книге «Handbook of Infant Development», опубликованной в 1979 г., Дж. Каган из Гарвардского университета писал: «После того как [Дела и Рей] вернулись в нормальную среду, их развитие с возрастом постепенно приняло нормальный ход». А. Болдуин из Рочестерского университета пишет в своем учебнике

«Theories of Child Development», опубликованном в 1980 г., что обучение Джонни «дало ему лишь небольшое кратковременное преимущество перед Джимми, его братом-близнецом, с которым не проводили занятий».

Рэйзел, сторонник активного обучения детей, узнал об экспериментах Денниса и Макгроу в 1973 г. во время работы над докторской диссертацией по психологии в Нью-Йоркском университете — вскоре после того, как его жена родила первого ребенка. Его научный руководитель, считая чрезмерным внимание, которое Рэйзел оказывал ребенку, посоветовал ему ознакомиться с этими экспериментами. «Я не мог поверить, что выводы, о которых упоминал мой руководитель, были получены экспериментально, — вспоминает Рэйзел, — и поэтому решил ознакомиться с ними самостоятельно».

Обзор экспериментов, выполненный Рэйзелом, в котором подчеркивается отставание Делы и длительное физическое превосходство Джонни над Джимми, был опубликован в 1985 г. в виде главы в сборнике «Advances in Applied Developmental Psychology» под редакцией И. Сигела из Службы тестирования в области образования. Сейчас Рэйзел надеется опубликовать статью, в которой он призывает продолжить изучение Делы, Рей, Джонни и Джимми, чтобы определить, каковы долговременные последствия этих экспериментов. Сигел говорит, что рассматривает вопрос публикации статьи в журнале «Journal of Applied Developmental Psychology», редактором которого он является. «Обучение детей — это острый вопрос, — говорит он, — и Рэйзел предлагает точку зрения, которая

кажется не очень популярной».

Было ли неправильным проводить указанные эксперименты? Дж. Хант, который считается пионером в области экспериментальной психологии и который лично знал Денниса и Макгроу, пишет: «Повторить что-либо подобное сегодня было бы абсолютно недопустимо. Однако этика зависит от того, что вам известно, а они (Деннис и Макгроу. — *Ред.*) не знали, что выполняемый эксперимент может привести к нежелательным последствиям». Э. Циглер из Йельского университета предостерегает от увлечения идеей Рэйзела, согласно которой обучение является решающим фактором для развития ребенка. «Было бы ужасным сказать родителям, что все их усилия ни к чему не приведут, — отмечает Циглер. — Однако, если родители будут ломать головы над тем, как вырастить вундеркинда из обычного дитяти, это тоже может нанести ему вред».

Макгроу говорит, что она всегда уделяла больше времени простому наблюдению за своими подопечными, чем попыткам разрешить спор по вопросу «естество против мастерства». Она решительно утверждает, что несколько не сожалеет о проведенном ею эксперименте и что Джимми подвергался не большим лишениям, чем многие дети, воспитывающиеся дома, и не испытывал в действительности никаких болезненных воздействий. Джимми, который стал бизнесменом, живет с женой и детьми в штате Нью-Йорк. Макгроу говорит, что он иногда навещает ее, в то время как Джонни, проживающий с матерью во Флориде, уже давно избегает всякого общения. «Джимми знает адрес Джонни, — заметила Макгроу, — но не скажет мне его».

Занимательный компьютер

Странная привлекательность хаоса

А. К. ДЬЮДНИ

ХАОС ОБЛАДАЕТ странной привлекательностью для ума, способного увидеть в нем закономерности. Некоторые физические системы в своем хаотическом поведении в каком-то смысле стремятся к упорядоченности, в которой мы наблюдаем такие закономерности. К тому же внешние проявления этих закономерностей сами по себе кажутся нам какими-то странно привлекательными. Кое-кто из читателей уже, наверное, знает, что геометрические формы, лежащие в основе хаоса, называются странными, или хаотическими, аттракторами (см.: Дж. П. Кратчфилд, Дж. Д. Фармер, Н. Х. Пэкард, Р. Шоу. Хаос, «В мире науки», 1987, № 2). Странные аттракторы (от англ. attractive — привлекательный, притягательный) можно генерировать и с помощью персонального компьютера.

Но прежде чем отправиться в страну хаоса, читателям нужно вооружиться необходимыми доспехами — интуитивным пониманием основных физических понятий, которые нам встретятся. В частности, что такое аттрактор? Грубо говоря, аттрактор — это обобщение понятия равновесия, это то состояние, к которому приходит в конце концов система, то, к чему она притягивается. Простым примером физической системы, иллюстрирующей понятие аттрактора, служит маятник. Представим обычный движущийся маятник, который под воздействием сил трения замедляется и в конце концов останавливается. Движение маятника можно описать посредством так называемой фазовой диаграммы, или диаграммы состояний, по одной оси которой откладывается угол, составляемый маятником с вертикалью, а по другой — скорость изменения этого угла. Движение качающегося маятника на фазовой диаграмме представляется точкой, движущейся вокруг начала отсчета. По мере того как маятник теряет энергию, эта точка приближается по спирали к точке начала отсчета, где в конце концов и останавливается. В данном случае начало отсчета выступает в роли аттрактора, поскольку оно как бы притягивает к себе точку, представляющую движение маятника на фазовой диаграмме. Конечно, в

аттракторе, состоящем из одной единственной точки, нет ничего странного.

Несколько более замысловатый аттрактор характеризует движение старинных настенных часов с грузом на цепочке. Груз играет роль механизма, подкачивающего энергию к маятнику, благодаря чему он не замедляет своего движения. Если запустить часы энергичным толчком маятника, он замедляется до темпа, обусловленного механизмом груза, и затем характер его движения остается неизменным. Однако если запустить часы слабым толчком, то маятник ведет себя подобно обычному, энергетически независимому маятнику — он постепенно замедляется и останавливается. В случае слишком сильного начального толчка движение маятника на фазовой диаграмме представляется спиралью, обвивающейся все более плотно вокруг круговой орбиты. Здесь аттрактор является кругом. И в данном случае окружность не кажется нам более странным объектом, чем точка.

Обыкновенному маятнику можно придать хаотическое поведение, подвергнув его вертикальной вибрации: если точка подвеса начнет двигаться вверх и вниз, совершая гармонические колебания под действием электродвигателя, то маятник может качаться совершенно непредсказуемым образом, без всяких признаков периодичности.

Однако, чтобы синтезировать хаос, я выбрал другую физическую систему, а именно три усилителя, первый из которых выдает на выходе сигнал x , поступающий на два других усилителя. Второй усилитель выдает сигнал $1-x$, имея на входе x . На вход третьего усилителя поступают два сигнала: x и $1-x$. На выходе он выдает произведение входных сигналов $x(1-x)$, которое подается на вход первого усилителя. Сюда же подается управляющее напряжение r . Эту систему завершает еще один компонент — устройство, на короткие промежутки времени выдающее на выходе тот сигнал, который в данный момент поступает ему на вход. Это устройство находится на выходе первого усилителя. Описанная электронная схема из трех усилителей порождает

танец напряжения, который становится все более неистовым по мере того, как управляющее напряжение r постепенно увеличивается.

При r меньше 3 и первоначальном ненулевом значении x схема в течение короткого времени выдает осциллирующий сигнал, но затем приходит к некоторому фиксированному значению x , которое остается уже неизменным. Это значение представляет собой аттрактор в виде одной точки. Если управляющее напряжение r повысить до уровня, несколько превышающего 3, сигнал начинает колебаться между двумя значениями x . На этом уровне r о системе можно сказать, что она бистабильна и что аттрактор состоит из двух точек. При дальнейшем увеличении r сигнал колеблется уже около четырех точек. Если увеличить r еще больше, мы придем к аттрактору из восьми точек и т. д. При каждом небольшом повороте ручки, управляющей напряжением r , число точек удваивается, а когда напряжение достигает определенного значения, лежащего приблизительно посередине между 3 и 4, сигнал, вырабатываемый схемой, внезапно «сходит с ума». С огромной электронной скоростью он начинает бесконечно гоняться за простыми, повторяющимися закономерностями, которые были присущи ему ранее. Теперь его поведение управляется странным аттрактором, обладающим потенциально бесконечным количеством значений. В результате получается хаос.

Читатели, знакомые с электроникой, возможно, захотят сами собрать подобную схему. Другие же смогут смоделировать ее на компьютере (неважно, большом или маленьком) и увидеть этот танец во всей его красе на экране дисплея. Для этого нужно написать простую программу, решающую итерационным методом уравнение $x \leftarrow x(1-x)$. Программа, которую я назову CHAOS1, имеет ядро, состоящее из шести инструкций:

```
x = 0,3
for i = 1 to 200
  x = rx (1 - x)
for i = 1 to 300
  x = rx (1 - x)
plot (200x, 100)
```

Исходное значение переменной x равно 0,3. Сначала программа CHAOS1 входит в цикл, итерационный основное уравнение 200 раз, чтобы выйти из промежуточного, неустановившегося режима. Этот неустановившийся режим присущ свойствам самого уравнения и не является результатом приближенных вычислений. Причина этого явления будет пояснена ниже в

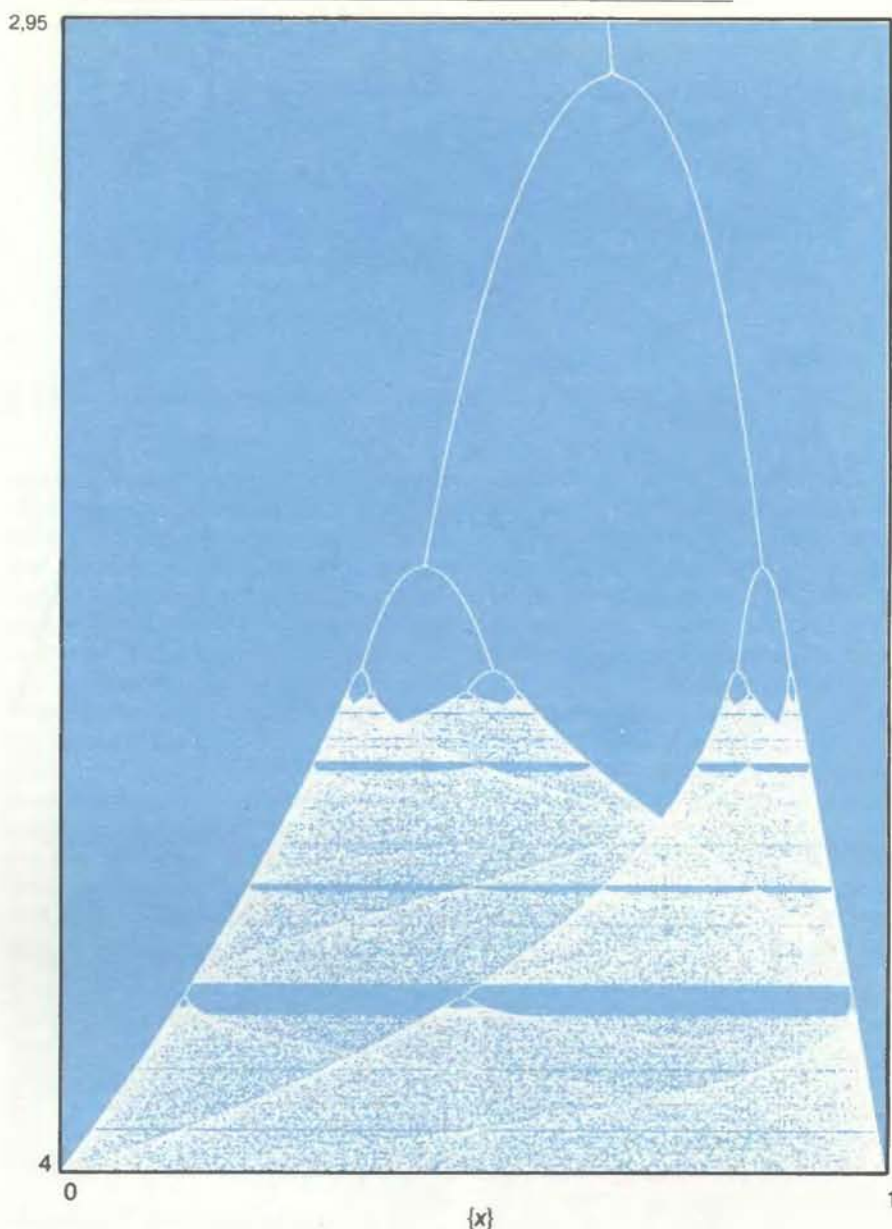
геометрической интерпретации. Затем программа входит в новый цикл, итерированный уравнение еще 300 раз и высвечивающий каждое значение x на экране.

Параметр 100 в графической инструкции plot приведенного выше алгоритма принят произвольно; в данном случае экран имеет размеры 200 на 200. Горизонтальная координата $200x$ распределяет вычисленные значения x (всегда находящиеся в интервале от 0 до 1) вдоль одной строки на экране, установленной на высоте 100 — как раз посередине гипотетического экрана.

В зависимости от устанавливаемого значения управляющего параметра r программа высветит либо одну и ту же точку на экране 300 раз, либо несколько точек, меньше чем 300 раз каждую. Она может даже попытаться уловить хаос, высвечивая 300 различных точек странного аттрактора. Если увеличить число шагов итерационного процесса, картина странного аттрактора будет уже полнее. В любом случае, после того как итерационный процесс установился, значения x начинают прыгать систематическим образом от одной точки аттрактора к другой. Аттракторы называют также орбитами независимо от того, конечно или бесконечно количество их точек.

Полная картина поведения рассмотренной простой схемы с усилителями возникает по мере того, как программа строит ряд изображений, расположенных одно под другим (см. рисунок справа). Эти изображения соответствуют ряду значений управляющего параметра r , изменяющихся от 2,9 до 4,0, скажем, за 200 шагов от верхнего до нижнего края экрана. Более изящную картинку можно получить, если увеличить число шагов, скажем, до 4000, однако в этом случае диаграмма не поместится ни на каком экране, и чтобы увидеть ее целиком, нужно распечатать ее на бумаге.

При значениях r , меньших 3,56 (более точное значение этого порога равно 3,56994571869), аттракторы нашей простой динамической системы, запечатленной в итерационном уравнении $x - x(1 - x)$, состоят из нескольких точек. Эти точки, представляющие нехаотическое поведение, образуют три большие полосы и бесконечное количество полос меньшего размера. Аттракторы становятся странными, когда значение r приближается к 3,56. Здесь начинается хаос; до этого плавно разветвлявшиеся линии внезапно превращаются в сумасшедшие зигзаги и россыпи. Странно и то, что хаотическое поведение время от времени прерывается, по мере того как значение r продолжает приближаться к 4.



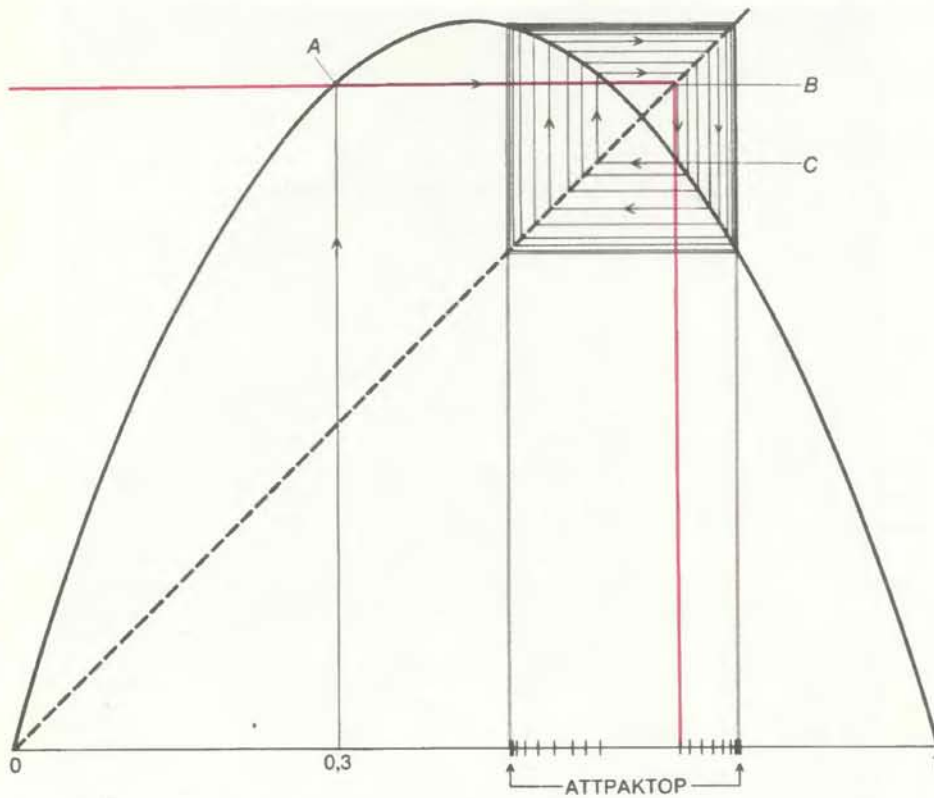
На бифуркационной диаграмме показан переход к хаосу

Получаемое таким образом изображение называется бифуркационной диаграммой. Если посмотреть на нее немного сбоку, то можно, наверное, подумать, что это хаотический спектр звезды x . Изображение украшено кривыми линиями и привлекательными теневыми складками. Почему диаграмма обладает такими декоративными свойствами — загадка, которую можно объяснить только при помощи теории хаоса. Мы еще коснемся этой темы ниже. А пока читателей, наверное, волнует другая загадка: почему это, казалось бы, невинное уравнение ведет себя так странно?

Поведение уравнения при нехаотических значениях параметра r может быть промоделировано геометрически, если мы нарисуем параболу, описываемую уравнением $y = rx(1 - x)$, где x — значение по оси абсцисс, а y — значение по оси ординат. Наложим на эту параболу прямую линию $y = x$.

Описываемая процедура прослеживается на верхнем рисунке на с. 98, где значение r установлено равным 3,3 и аттрактор системы состоит из двух точек. Чтобы показать, как ведет себя система, было выбрано начальное значение x . Я принял его равным 0,3, хотя можно было с таким же успехом выбрать любое другое значение.

Первая итерация для уравнения моделируется проведением вертикальной линии, начинающейся в точке $x = 0,3$ в основании графика. Мы продолжаем эту линию до тех пор, пока она не дойдет до графика параболы. Точку, в которой линия касается параболы, обозначим A . Высота этой точки равна соответствующему значению координаты y . На втором шаге итерационного процесса это значение y вводится обратно в уравнение в качестве значения переменной x . Графически эта процедура соответствует измерению высоты пересечения



Геометрическое моделирование простой системы приводит к возникновению двухточечного аттрактора

вертикальной прямой и параболы, откладывая измеренного расстояния по горизонтальной оси и проведению новой вертикальной линии от полученной отметки на горизонтальной оси до пересечения с параболой. Здесь эта процедура проводится в сокращенной версии, путем проведения горизонтальной линии от точки A до диагональной прямой $y = x$. Новую точку пересечения обозначим B . Заметим, что точка B и точка начала отсчета находятся в диагонально противоположных углах квадрата, сторона которого равна значению y , полученному на первом шаге итераций. Поэтому значение y снова можно ввести в систему, проведя вертикальную ли-

нию из точки B до пересечения с параболой (в точке C). Постоянно повторяя процедуру проведения вертикальных прямых до пересечения с параболой и горизонтальных линий до пересечения с диагональной прямой, мы получаем прямоугольные траектории, стремящиеся как бы по спирали к квадрату.

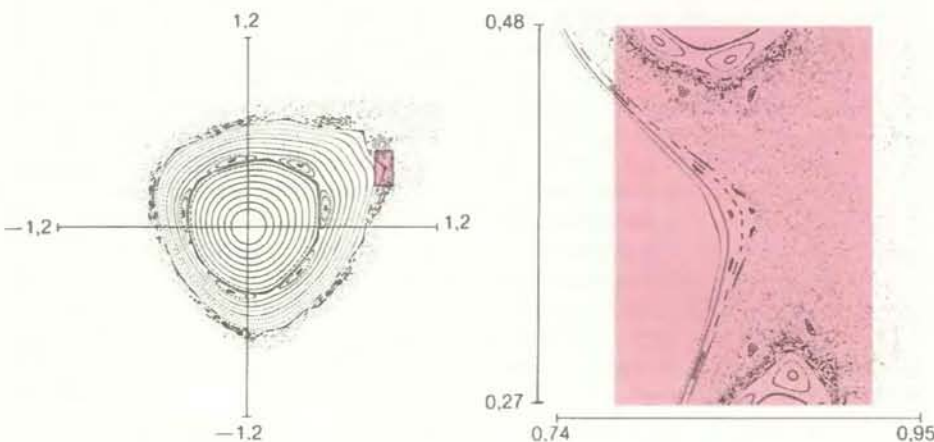
Наша геометрическая процедура шаг за шагом имитирует алгоритм программы CHAOS1. Те две точки, в которых результирующий квадрат пересекает параболу, соответствуют двухточечному аттрактору. Предприимчивые программисты, возможно, заинтересуются задачей генерирования подобных рисунков на компьюте-

ре. Если они это сделают, то, наверное, смогут глубже понять природу рассматриваемого нами «простого» итерационного уравнения. Интересно, как будут выглядеть рисунки, когда наступит хаос? Значения параметра r , приводящие к хаотическому поведению, выглядят случайными, но являются ли они на самом деле случайными?

Идеей совершить путешествие в страну хаоса я обязан группе читателей, среди которых был и Дж. П. Кратчфилд, один из авторов статьи «Хаос», о которой мы уже упоминали. Как объясняют Кратчфилд и его коллеги, соавторы статьи, «ключ к пониманию хаотического поведения лежит в понимании простых операций растяжения и свертывания, происходящих в пространстве состояний». В рассмотренном примере простой системы усилителей пространство состояний соответствует отрезку линии, содержащему точки аттрактора и точку, представляющую текущее значение x . Где тут возникает растяжение и свертывание?

Итерирование уравнения $x \leftarrow rx(1 - x)$ сводится к отображению точек на отрезке между 0 и 1 в участок параболической кривой. Точки, расположенные поблизости друг от друга на единичном отрезке, в особенности те, что лежат в окрестности 0, оказываются разнесенными дальше друг от друга, когда они отображаются на параболическую кривую. Это происходит, конечно, тогда, когда число $rx(1 - x)$ заменяет x . Свертывание возникает благодаря симметрии параболы; кроме вершины параболы для любого значения $rx(1 - x)$ всегда можно найти две точки единичного отрезка, отображающиеся в это значение. Это, конечно, точки x и $1 - x$.

Структура бифуркационной диаграммы была довольно подробно исследована теоретиками. Границы областей хаотического поведения устанавливаются максимальным и минимальным значениями, итерируемыми от $x = 0,5$. Кривые, за которыми следуют минимумы и максимумы, а также кривые, за которыми следуют «вуали», так причудливо свешивающиеся в хаотических областях, являются графиками простых полиномов по r . В местах наибольшего сгущения тени наблюдается самая высокая концентрация точек странных аттракторов. В пустых полосах, упомянутых выше, хаос уступает место порядку. Теория говорит, что для каждого целого числа существует полоса (она может быть сколь угодно узкой) с орбитами точно такого размера. Наконец, читателей, знакомых со свойствами хаоса, наверное, не удивит тот факт, что



Последовательные орбиты отображения Энона (слева) вырождаются в хаос (справа)



Отображение Энона генерирует различные фигуры при $a = 0,264$ (слева) и $a = 1,5732$ (справа)

странные аттракторы, даже в такой простенькой системе, которую мы исследовали, обладают фрактальной природой: рисунок из бесконечного числа точек имеет интересные узоры, повторяющиеся при любой степени увеличения рисунка, подобно множеству Мандельброта, описанному в журнале «В мире науки», 1985, № 10.

Более сложные динамические системы описываются уравнениями Энона, названными так в честь французского математика Мишеля Энона. Так называемые отображения Энона не только описывают физические системы, подобные движущимся астероидам или каплющим водопроводным кранам, но генерируют также чудесные изображения. Отображение Энона состоит из пары уравнений. Рассмотрим следующий пример:

$$\begin{aligned}x & \leftarrow xc \cos a - (y - x^2) \sin a \\ y & \leftarrow xs \sin a + (y - x^2) \cos a\end{aligned}$$

По текущим значениям двух переменных x и y в правых частях уравнений вычисляются новые значения (также обозначаемые через x и y) в левых частях.

В программе CHAOS2 эти два уравнения используются для создания изображений порядка и хаоса, присущих широкому классу динамических систем. Основной фрагмент программы CHAOS2 очень похож на аналогичный фрагмент программы CHAOS1:

```
input x, y
for i ← 1 to 1000
  xx ← xc cos a - (y - x^2) sin a
  y ← xs sin a + (y - x^2) cos a
  x ← xx
plot (100x, 100y)
```

Различия между этими программами объясняются двумя причинами: в программе CHAOS2 мы имеем две итерлируемые переменные вместо одной, и система, описываемая отображением Энона, является консервативной, а не диссипативной. Поскольку у нас два уравнения, необходимо ввести

временную переменную xx для нового значения x , в то время пока текущее значение x используется еще во втором уравнении. Тот факт, что описываемая динамическая система консервативна, означает, что предварительный итерационный цикл для исключения промежуточных значений в неустановившемся режиме может быть опущен. Потери энергии, объясняющиеся трением или какими-либо другими факторами, здесь отсутствуют. Следовательно, здесь нет и аттракторов как таковых. Однако можно сказать, что каждая вычисленная системой орбита является своим собственным аттрактором. Как бы то ни было, странность (или хаос) определенно присутствует в отображении Энона. Наконец, отметим, что при любом значении параметра a результирующая система имеет множество орбит и благодаря свойству консервативности любая исходная пара значений x и y будет представлять точку, уже находящуюся на одной из орбит, таким образом, притяжение здесь является, если можно так выразиться, мгновенным. По этой причине в программе CHAOS2 не используются стандартные исходные значения для итерлируемых переменных. Они должны быть введены перед выполнением основного цикла.

Построение программы CHAOS2 завершается, если перед ее основной частью поставить инструкцию ввода, позволяющую программисту выбрать значение a . Как и в программе CHAOS1, каждое новое значение a приводит к новой системе. Но поскольку система двумерна, выборка орбит занимает все свободное место и мы не можем теперь систематически варьировать параметр a , не вызывая на экране такого хаоса, который уже нежелателен.

Позтому пользователь программы CHAOS2 задает исходную орбиту, вводя координаты одной из ее точек. Затем, откинувшись в кресле, он может с интересом наблюдать, как на экране возникает орбита. Она может

оказаться кривой линией (нарисованной как бы пунктиром), либо чем-то более необычным. Например, на нижнем рисунке на с. 98 показана последовательность из 38 орбит, построенных с использованием отображения Энона, со значением a , равным 1,111. При постепенном удалении от центра изображения видим, как орбиты образуют гнездо из замкнутых траекторий, затем внезапно появляются маленькие «островки»: отдельные орбиты, вклинившиеся между более крупными, вложенными друг в друга орбитами. Двигаясь дальше, мы видим, как продолжается рисунок из вложенных орбит, сменяющийся хаосом. Во внешних частях изображения опять появляются островки вперемешку с кластерами случайно разбросанных точек, предвещающих наступление хаоса. Одна из хаотических областей (заклученная на рисунке в прямоугольную рамку) показана в увеличенном виде. Читателям, которые захотят рассматривать диаграммы Энона в увеличенном масштабе, мы советуем пользоваться самыми точными арифметическими операциями, имеющимися на их компьютерах.

Как я уже говорил выше, отображения Энона представляют широкое многообразие консервативных физических систем, например таких, как астероиды, движущиеся по орбитам вокруг Солнца. К сожалению, орбиты на наших диаграммах — это не те орбиты, по которым движутся астероиды, а лишь фазовые их представления. На только что рассмотренных диаграммах по горизонтальной оси можно откладывать параметр, характеризующий положение астероида в пространстве, например расстояние до Солнца; по вертикальной оси можно откладывать скорость в радиальном направлении, или скорость изменения расстояния до Солнца. Каждая точка орбиты, вычисленной при помощи отображения Энона, представляет пару величин: расстояние до Солнца и скорость астероида, движу-

щегося под определенным углом по отношению к направлению на Солнце, т. е. когда астероид проходит через вертикальную плоскость, составляющую этот угол с направлением на Солнце. Последовательные точки, вычисленные при помощи отображения, представляют последовательные появления астероида на этой плоскости. Островки, упомянутые выше, — это резонансные полосы, возникающие из-за возмущений орбиты астероида более крупными телами Солнечной системы, такими, как Юпитер. В хаотических областях положение и скорость астероида будут изменяться, по существу, случайным образом каждый раз, когда астероид будет вновь появляться на плоскости. Его движение непредсказуемо.

С эстетической точки зрения заслуживают внимания некоторые другие изображения, полученные при помощи отображений Энона. Независимо от их физической интерпретации, они выглядят весьма своеобразно, напоминая какие-то причудливые волные организмы (см. рисунок на с. 99).

Читатель из голландского города Лейден П. де Йонг предложил недавно некоторые интересные итерационные формулы, генерирующие весьма своеобразные формы и изображения. Он рекомендует обратить внимание на следующие формулы с четырьмя параметрами:

$$\begin{aligned}x &= \sin(ay) - \cos(bx) \\y &= \sin(cx) - \cos(dy)\end{aligned}$$

Начинаем с нулевых значений x и y . Затем, чтобы получить изображение того, что де Йонг называет «цыплячьими ножками», подставим $a = 2,01$; $b = -2,53$; $c = 1,61$ и $d = -0,33$. При значениях этих параметров соответственно $-2,7$; $-0,9$; $-0,86$; $-2,2$ получим «катапульту», стреляющую точками, а если их значения равны $-2,24$; $0,43$; $-0,65$ и $-2,43$, то можно увидеть «пасхальное яйцо, украшающее само себя».

Подобно де Йонгу, читатели могут изобретать свои собственные итерационные формулы и экспериментировать с ними.

ЧИТАТЕЛИ с «одноколейными Чумами» теперь уже наверняка решили задачу, предложенную в прошлом номере журнала, где требовалось поменять местами два железнодорожных вагона, между которыми находился мост. Вагоны стояли на круговом пути, а локомотив был на другом пути, соединяющемся с круговым стрелкой. Мост достаточно прочен, чтобы выдержать только один вагон; локомотива он не выдержит.

Каким образом локомотив сможет поменять вагоны местами?

Локомотив заходит на круговой путь, подходит к вагону A и заталкивает его на мост. Затем он пятится назад, подходит к вагону B , прицепляет его, подводит к краю моста и сцепляет вагоны A и B . Далее локомотив и прицепленные к нему вагоны, пройдя через стрелку, выезжают на прямой путь, где вагон A отцепляется. Теперь локомотив опять подводит вагон B к мосту и, отцепив, оставляет его там. Наконец, локомотив проходит по кругу, стягивает вагон B с моста, оставляет его на новом месте и возвращается за вагоном A .

В июньском номере журнала в статье, посвященной компьютерной музыке, я предложил читателям поразмыслить, каким образом можно получить неповторяющиеся последо-

вательности нот, выбирая числа по модулю m . Выборку следует начинать с исходного числа и далее все время умножать имеющееся число на a , прибавлять b и брать остаток от деления полученного результата на m . Если числа a и m не имеют общего множителя большего единицы, то последовательность будет максимально длинной. Она также порождает самую необычную музыку.

П. де Йонг отмечает, что при помощи хаоса ему удавалось создавать очень странную музыку. Читатели и сами могут синтезировать аналогичные звуки, превращая числа, которые генерирует программа CHAOS2 в музыкальные ноты. Вне хаотических зон будут получаться простые, вторяющиеся музыкальные фразы, внутри же этих зон музыка будет воплощением хаоса.

Наука и общество

Недостаток места

УЧЕНЫЕ, занимающиеся исследованием космического пространства, критикуют Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (НАСА), выдвинувшее новый двухэтапный план размещения орбитальной станции. В новом варианте программы уменьшено число обитателей станции, а это означает, что масштабы исследований сократятся по сравнению с тем, что ожидалось. «Заселение» станции откладывается до 1996 г., что на два года позже срока, который был предусмотрен проектом, одобренным президентом Рейганом в 1984 г.

Новый график (кстати, не первое препятствие на пути нормального хода работ по проекту) НАСА вынуждено было принять в связи с тем, что, по некоторым оценкам, стоимость станции, о которой было объявлено в прошлом году, возросла с 8 до 14,5 млрд. долл. в ценах 1984 г. (или до 21 млрд. долл. в ценах 1987 г.). Белый дом,

вмешавшийся в развитие событий в начале этого года, высказался за двухэтапную программу. Расходы на первом этапе, предусматривающем вывод на орбиту станции всего лишь с одной научной лабораторией для американских исследователей и одним жилым модулем, должны составить 12,2 млрд. долл. (в ценах 1984 г.). Решено отказаться на этом этапе от планировавшегося ранее одновременного запуска на ту же орбиту платформы с приборами и «ангара» для обслуживания спутников. Предусматривается также, что в этом космическом комплексе будут сделаны всего два «гнезда» для научных приборов. Мощность энергоблока составит лишь 50 кВт, из них 30 кВт потребуются для систем жизнеобеспечения.

Еще до того как НАСА объявило о последних изменениях в программе, среди ученых имелись серьезные разногласия по поводу его планов. Задержка программы запуска шаттлов, вызванная гибелью «Челленджера», отодвинет сроки вывода в космическое пространство ряда научных стан-

ций; специальная комиссия, консультирующая НАСА по вопросам использования космической станции в научных целях, констатировала «с большим сожалением», что график работ в этой области выходит за пределы того отрезка времени, которым располагает для активных научных исследований современное поколение ученых. П. Банкс из Станфордского университета, бывший председатель упомянутой комиссии, предложил даже, чтобы НАСА использовало уже изученную новую большегрузную ракету-носитель (Heavy Lift Launch Vehicle) для вывода на орбиту одного тяжелого модуля — с тем чтобы начать исследования до 1996 г.

НАСА тут же отвергло идею Банкса, который вскоре после этого подал в отставку. Он заявил, что выдвижение нового двухэтапного плана размещения космической станции подтверждает его мнение о том, что НАСА «не выполняет своих обязательств» в отношении исследований космического пространства с помощью обитаемой орбитальной станции; он предпочел бы увидеть в скором будущем на орбите небольшие, обслуживаемые человеком платформы.

Другие считают, что вывод на орбиту космической станции — это сама по себе плохая идея. Один из них, Т. Донахью, председатель комитета по космическим исследованиям при Национальном научно-исследовательском совете, писал в апреле в комитете конгресса, что при необходимости следует заставить НАСА приобзреть ракеты одноразового использования для исследования космического пространства необитаемыми аппаратами. Донахью полагает, что не существует убедительных научных доводов в пользу размещения на орбите станции с людьми на борту и что на это может уйти значительная часть средств, отпускаемых на исследование космического пространства. «Мы рискуем повторить печальный опыт с «Челленджером», — добавил Донахью.

В конгрессе на план НАСА реагировали по-разному, а предполагаемое сокращение вырабатываемой на орбитальной станции мощности породило скептицизм. Один из обсуждаемых вариантов сводится к тому, чтобы не допускать представителей других стран для работы на станции до тех пор, пока мощность энергетической установки не будет доведена до 87,5 кВт. Всестороннее рассмотрение вопроса в конгрессе отложено до представления в сентябре доклада о расходах на эти цели, готовящегося Национальным научно-исследова-

тельским советом. Что касается переговоров с другими странами, заинтересованными в совместном использовании орбитальной станции, то здесь серьезных осложнений нет: американские представители недавно согласились с новым вариантом официального межправительственного соглашения, которое во многом учитывает возражения европейских стран против неограниченного доступа американских военных к обитаемой орбитальной станции.

Как устранить расхождение оптического пучка

ДИФРАКЦИЯ, т. е. отклонение волн от прямолинейного направления у краев препятствия, — явление повсеместное. В оптике она приводит к размыванию контура тени и снижает разрешающую способность оптических приборов. Дифракция также вызывает расхождение лазерного пучка, как бы хорошо он ни был коллимирован. Считалось, что, хотя этот эффект и можно свести к минимуму (в первую очередь путем перехода на более короткие волны и более широкие пучки), полностью исключить его невозможно. Трех исследователям из Рочестерского университета удалось показать как теоретически, так и практически, что обусловленное дифракцией расхождение пучков света фактически можно устранить, причем очень простым методом.

За отправную точку был взят тот факт, что обычно интенсивность лазерного излучения неоднородна в сечении пучка и ее зависимость от радиуса выражается кривой, описываемой так называемое гауссово распределение, причем в центре пучка интенсивность максимальна, а к периферии падает. При распространении в пространстве пучок с таким профилем в результате дифракции быстро расширяется, так что пик интенсивности в центре становится все менее выраженным. Как указывают Дж. Дернин, Дж. Мисели-младший и Дж. Эберли в статье, опубликованной в журнале "Physical Review Letters", уравнения, описывающие дифракцию, допускают существование пучков с профилями, описываемыми совершенно иным классом функций, и, в частности, такими, у которых центральный пик интенсивности исключительно узок и не подвержен уширению, обусловленному дифракцией.

Простейшая из таких функций на-

зывается функцией Бесселя нулевого порядка и обозначается J_0 . Функции Бесселя широко используются в математической физике для описания поведения систем с осевой (круговой и цилиндрической) симметрией, таких, как органые трубы и круглые мембраны. Известно, что эти функции хорошо описывают структуру электромагнитного поля, распространяющегося в цилиндрическом волноводе. Несмотря на это, исследователи до сих пор не рассматривали возможность генерирования пучков света с профилем интенсивности в виде J_0 для того, чтобы добиться не подверженного дифракции распространения пучка в пространстве.

Чтобы получить такой пучок, Дернин и его коллеги направили излучаемый лазером свет на неширокую кольцеобразную щель, расположенную в фокальной плоскости линзы. Свет, проходящий через щель и попадающий на линзу, фактически можно рассматривать как излучение бесконечного числа точечных источников, расположенных по кольцу и излучающих в одной фазе. Такое излучение коллимируется линзой в пучок с профилем интенсивности в виде функции J_0 : в центре интенсивность максимальна, а вокруг него располагаются концентрическими кольцами вторичные максимумы.

До сих пор в виде пучка с профилем J_0 удалось представить лишь незначительную часть энергии оптического источника, поэтому оптические устройства с таким принципом формирования пучка вряд ли найдут применение в лазерном оружии или других лазерных устройствах, в которых используются мощные импульсы света. «Если цель заключается в том, чтобы передать всю энергию из одной точки пространства в другую, то, вероятно, можно вполне обойтись и пучками с гауссовым профилем», — говорит Дернин. Кроме того, хотя пучок с профилем J_0 не подвержен дифракционному уширению, на практике он все же имеет эффективную максимальную дальность распространения, определяемую диаметром линзы. (В большинстве случаев для пучка J_0 максимальная дальность, при которой он не испытывает дифракции, будет, однако, значительно больше, чем для обычного лазерного пучка, имеющего сравнимый радиус зоны с пиковой интенсивностью.) Учитывая эти ограничения, полагают исследователи, следует ждать, что пучки с профилем J_0 найдут применение в высокоточных процессах, таких, как слежение за целью, точечная сварка и центровка осей компонентов оптических устройств.

Динамо-машина Земли;
земные огни ночью;
сага о китайском порохе;
агротехника западноафриканских стран

ФИЛИП MORRISON

ПРИРОДНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ЗЕМЛИ
THE EARTH ELECTRICAL ENVIRONMENT,
by the Geophysics Study Committee,
National Research Council. National
Academy Press (\$28.95)

БЕН ФРАНКЛИН в рубашке родился: когда при попытке измерить электрический заряд летучего змея, запущенного в грозовое облако, он нажал на переключатель, взметнулся лишь сноп голубых искр. Недавно в шт. Нью-Мексико французские исследователи запускали в грозовое небо небольшие ракеты с тянущимися от них заземленными проводами, и в двух случаях из трех происходил самый настоящий молниевый разряд. На фотографии, сделанной ночью, отчетливо видна стрела молнии, вырвавшаяся вверх из светящегося столба, который образовался при взрыве поднятого в воздух провода, не выдержавшего внезапного гигантского тока в несколько десятков килоампер.

Живой и исчерпывающий обзор современных знаний о земных электрических явлениях всех масштабов — вот что представляет собой эта книга. Практически каждая из 16 глав (написанных специалистами, но понятных каждому) содержит и факты, и их подробное истолкование. При создании книги предпочтение было отдано не уравнениям и таблицам, а рисункам, картам и диаграммам. Авторский коллектив (слишком большой, чтобы перечислять отдельные имена) подарил читателям прекрасную книгу, достойную служить образцом такого рода обзоров.

Если среди ночи вас разбудила яркая вспышка молнии, знайте, что бдительный спутник Программы спутниковой метеорологии министерства обороны США уже зарегистрировал ее с помощью оптического устройства. В книге приводятся карты отмечаемых спутником молний — для разных сезонов и разного времени суток. Как и следовало ожидать, максимум числа молний следует за Солнцем, сдвигаясь то к северу, то к югу. Подобно людям, молния избегает жар-

ких пустынь и холодных тундр и явно предпочитает сушу морю: разряды молний встречаются над океанами, но значительно реже, чем над сушей.

Все имеющиеся в нашем распоряжении цифры неточны. Ночью количество вспышек молний достигает примерно 100 за секунду (по всему земному шару), но это по данным оптических датчиков, которые регистрируют не все вспышки. Спутник, улавливающий высокочастотные радиошумы, дает заметно большее число молний, регистрируя около 300 разрядов в секунду. И все же такая статистика куда надежней, чем традиционные оценки, получаемые на основе данных сети метеорологических наблюдений, когда каждая из станций в конце дня должна отчитаться, наблюдалась ли в эти сутки поблизости гроза или нет.

Регистрация молний по излучаемым ими радиоволнам имеет длинную историю. Сегодня в помощь службе лесных пожаров на территории Северной Америки установлена целая сеть автоматических широкополосных приемников, которые определяют положение и некоторые характеристики каждой молнии. Данные обо всех молниях в Восточных штатах от Флориды до Мэна поступают на компьютер Университета шт. Нью-Йорк в Олбани. В июне 1984 г. этот компьютер насчитал рекордное число в 50 836 молний за одни сутки — в основном благодаря грозам в трех соседних штатах.

Наша погода определяется движением горизонтальных потоков — долгоживущих медленно вращающихся вихрей, имеющих в поперечнике несколько сотен километров, а в высоту — лишь около 10 км. Грозы — явление более кратковременное и компактное — десяток километров в ширину и столько же в высоту. Их причиной является локальное конвективное течение — подъем влажного и теплого приповерхностного воздуха. В конце концов они затухают или рассеиваются. В каждый момент на земном шаре можно насчитать несколько тысяч гроз. Обыкновенно центр гро-

зы — это область концентрации отрицательных зарядов с интенсивным ливнем, легко обнаруживаемая с помощью метеорологического радара. Ее диаметр около 3 км. Разряды молний, половина которых происходит в облаках, а другая достигает земли, переносят к земной поверхности отрицательный заряд. Положительный заряд обычно сосредоточивается высоко в наковальне грозового облака.

В последнее десятилетие было обнаружено, что в Северной Японии во время суровых зимних гроз у наиболее интенсивных молний заряды менялись местами: положительный заряд двигался к земле, причем его энергия на порядок превосходила энергию типичных молний с отрицательным зарядом, наблюдаемых в летнее время. Сейчас такие положительные разряды зарегистрированы повсеместно. Гипотеза о том, что за них ответствен какой-то неизвестный механизм подзарядки, по всей видимости, несостоятельна. Вероятно, причина проста. Сильный ветер на высотах может отнести положительно заряженную верхушку облака километров на двадцать от центрального отрицательного заряда, и вот тут-то необычайно мощный разряд переносит положительный заряд к земле. Такие положительные разряды довольно редки, но все же иногда наблюдаются. Именно они представляют основную опасность для линий электропередачи и, возможно, для самолетов. Вероятно, они же ответственны и за пожары.

Возможность наблюдать и изучать грозы существенно возросла за последние одно-два десятилетия. Считается, что необходимым условием значительной электризации являются мощное конвективное течение, образование осадков и кристаллизация льда (отмечаются, правда, и отдельные грозы без ледяной фазы). Обнаружено, что области с отрицательным зарядом располагаются там, где температура опускается намного ниже -20°C (летом — на больших высотах, зимой — значительно ниже).

Что же вызывает разделение зарядов? Точный ответ на этот вопрос пока не найден. Наглядная таблица описывает особенности восьми предложенных с 1913 по 1977 г. гипотез микроскопических механизмов. Все они действуют на стадии образования града, часть из них работает только в неразвитом облаке, среди крошечных облачных капель или во время дождя. Необходимая плотность заряда составляет около кулона на кубический километр. Несколько десятков таких объемов и составляют заряженную область. Это не так уж много: на один кубический километр приходит-

ся, можно сказать, копеечная электротенергия. Кинетическая энергия конвекции и скрытая теплота этой многотонной массы воздуха и воды превышают ее электрическую энергию в 100 млн. раз. А созданные человеком электрогенераторы производят энергию, на несколько порядков превышающую электрическую энергию всей атмосферы.

В современных трехмерных моделях анализ начинается с разделения зарядов в микромасштабе (чаще всего вызываемого столкновением частиц облака того или иного типа — ледяных или жидких). Следующая стадия — это крупномасштабное разделение зарядов благодаря гравитационному оседанию и более быстрому процессу — конвекции. В 1984 г. был проведен большой эксперимент, в ходе которого удалось поменять полярность грозового облака, подпитывая его отрицательными ионами с помощью длинного подвешенного кабеля, находившегося под напряжением в 100 кВ. Результат эксперимента несколько обескуражил создателей модели: роль ионов, не связанных ни с какими частицами облака, оказалась большей, чем предполагалось. Эта идея была выдвинута еще 30 лет тому назад Б. Воннегутом, который на этот раз сам участвовал в эксперименте.

Другие главы посвящены остальным глобальным процессам, происходящим в нижнем, среднем и верхнем слоях атмосферы. Здесь еще остается масса неясностей. Давно известно, что круговорот электричества в атмосфере ограничен сверху проводящей атмосферой. Грозы играют роль генераторов, создающих разность потенциалов приблизительно в 300 кВ и результирующий ток в 1000 А, направленный к проводящей поверхности. Ток зарядки имеет прерывистый неровный характер, обратный же ток, наблюдаемый повсеместно при ясной погоде, гладкий.

Три других геоэлектромагнитных потока имеют иные масштабы. К ним относятся: солнечный ветер, «сталкивающийся» в космическом пространстве с магнитным полем Земли; земные ветры, возмущающие проводящую ионосферу и создающие горизонтальную разность потенциалов; могучая «динамо-машина», скрытая в недрах Земли. Нам хорошо известны такие их проявления, как Полярное сияние или влияние на магнитную стрелку компаса. Возможно, каким-то неведомым нам образом они связывают нашу погоду и даже сейсмологию Земли с далеким плазменным Солнцем, — в такой же степени, в какой молнии связаны со всей нашей Галактикой благодаря космическим

лучам, поддерживающим проводимость воздуха.

Конечно, здесь перечислено далеко не все, о чем сказано в книге. К примеру, гром можно использовать для определения положения молнии, так как время распространения звука известно. Не правда ли, интересно послушать в исполнении компьютера раскаты грома, полученные с помощью запущенной в обратном направлении акустической модели, предназначенной для определения положения молнии. Не будем забывать также, что молния — это и химический процесс. Сегодня при разрядах молний образуется лишь 1% азота, используемого земными организмами. А на ранних этапах развития жизни молнии могли быть важнейшей ее опорой. Заключительная глава посвящена электрическим токам, которые индуцируются в морской воде и в других протяженных проводниках на Земле под влиянием далеких токов в ионосфере. Предсказывается, что один раз за несколько лет по аляскинскому трубопроводу будет протекать постоянный ток до 1000 А. Это явление впервые обнаружилось в годы рождения телеграфа: в конце августа 1859 г. наблюдалось особенно яркое полярное сияние, а через несколько дней пораженные телеграфисты в Новой Англии «более часа... держали телеграфную связь на одних небесных батареях».

Вудруф Т. Салливан. Земля ночью EARTH AT NIGHT, by Woodruff T. Sullivan, III. A poster map, 23 by 35 inches, Catalog Number 34-5, Hansen Planetarium, 1098 South 200 West, Salt Lake City, Utah 84101 (\$6, shipping charge \$1.50)

Марри Мелбин. Граница ночи: колонизация земного шара после полудня NIGHT AS FRONTIER: COLONIZING THE WORLD AFTER DARK, by Murray Melbin. The Free Press (\$19.59)

ТЕМНОЕ НОЧНОЕ небо кажется сферой, подсвеченной мерцанием мириад звезд. Внутри ее находится другая сфера, также слегка освещенная ночью: это поверхность Земли. Необычная настенная карта изображает ночную Землю в виде мозаики фотографий. Они сделаны с двух спутников Программы спутниковой метеорологии министерства обороны США, находящихся на полярных орбитах на высоте 800 км. Один из них движется над терминатором — границей, разделяющей освещенную и

неосвещенную части планеты, другой — по линии полночь—полдень.

Радиоастроному В. Салливану, увлеченному идеей наблюдения нашей и других планет с большого расстояния, удалось наложить фотографии на карту мира с точностью до нескольких процентов. Каждый исходный снимок, переданный со спутника в цифровом виде и изображающий полосу поверхности 3000 × 3 км, получен при сканировании с помощью фото диода, чувствительного к излучению в видимой и ближней инфракрасной области спектра. На Земле с помощью лазерного сканера на основе цифровой информации воссоздаются фотографии. Эта спутниковая система и поразительные плоды ее работы уже были описаны в нашем журнале (см. Thomas A. Croft. Night-time Images of the Earth from Space, «Scientific American», July 1978). Карта земного шара составлена из 40 таких фотографий с учетом поправок на масштаб, экспозицию, яркость лунного света и другие незначительные искажения. Карта, черный фон которой расцвечен яркими пятнами, очень красива и исполнена глубокого смысла. Чтобы можно было отличать ночную сушу от ночного океана, Салливан использовал остроумное графическое устройство, автоматически покрывающее водную поверхность штриховкой, которая резко обрывается на границе с сушей.

Наибольшие вариации яркости поверхности наблюдаются, конечно, на континентах и островах. Здесь можно выделить три типа свечения, каждый из которых — результат деятельности человека. Наиболее привычные для нашего глаза — это крупные города с их бодрствующими в темное время суток жителями. Среди них особенно выделяются бассейн Рейна и Рура, южная часть Англии, северо-восток Америки, Пенджаб, Рио-де-Жанейро и Сан-Паулу, восточная и западная часть Японии. Небольшие дополнительные карты показывают около 180 хорошо заметных крупных и мелких городов — от Фэрбенкса до отдаленного Крайстчерча.

Следующие в списке — значительно более «блеклые» сельские районы. Их освещают в основном не тусклые деревенские лампы, а пламя горящих полей (подсечное земледелие), сухих пастбищ и выжигаемых под новые посадки участков леса. Эти районы менее ярки, чем первая группа, но тем не менее довольно отчетливы. Они тянутся от Малагасийской республики до Сахеля и хорошо заметны также в Бирме, Таиланде и Лаосе. Некоторые области настолько часто закрыты облаками, что сканирование так и не

удалось осуществить. Так, «белые пятна» пришлось на Западную Африку, Южный Китай и многие острова.

Третью группу представляют участки «с большой передержкой». Они располагаются вдоль пустынных берегов Персидского залива, что дает ключ к расшифровке этих пятен. Огромные языки пламени горящего природного газа соперничают с блеском крупнейших на Земле мегаполисов. Таких «огненных джинов» можно встретить также на берегах Оби к северу от Омска (Сургутское месторождение), на тропических островах Сулавеси, в дельте Нигера и в Северном море к югу от Шетландских островов.

Светящимися линиями выглядят в темноте такие объекты, как реки Огайо, Нил, Желтая, а также Транссибирская железная дорога. Десятки ярких пятен, сливающихся в узкую линию, связывающую Мадрас с яркой «заплаткой» Дели, не ассоциируются у нас с каким-либо знакомым географическим объектом. Скорее всего этими пятнами отмечены огромные скопления людей по берегам рек и вдоль железных дорог; иногда же они объясняются доступностью электроэнергии вблизи линий высоковольтных передач. Страницы убоистого текста позволяет увидеть на карте земных «созвездий» то, чего не замечает глаз и не в силах породить воображение.

Кто же из 5 млрд. дневных приматов ведет ночной образ жизни? Жители городов уже давно научились укорачивать ночь, прибегая к искусственному освещению. Марри Мелбин, социолог из Бостонского университета, делится с читателями своими наблюдениями в этой области. После того как все земные пространства были заселены и все его рубежи взяты, людская энергия и предприимчивость были направлены в другое русло — к покорению рубежей времени. Время от полуночи до рассвета до сих пор остается неосвоенным. Лишь немногие американцы перешли этот рубеж, хотя, как уже было сказано, жители городов давно не прекращают свою активную жизнь с заходом солнца.

Составлению карты помог проведенный в мае опрос американских «полуночников». Около 30 млн. человек не находились в постели к 12 ч ночи; однако между 3 и 5 ч ночи их число уменьшилось до 10 млн. Именно эти 5% населения — общественно полезные и постоянные «полуночники». Около 4 млн. из них — рабочие и служащие, имеющие ночную работу. Многим более 4 млн. — владельцы таких заведений, как ночные бары или бензоколонки. Большинство бодрст-

вующих находились в пути (многие по дороге домой), причем полтора миллиона мчались в своих автомобилях. Воистину племя, не знающее покоя!

Все виды человеческой деятельности можно разделить на три группы. Первая из них связана с дневными занятиями. Вторая — с распространением этих занятий за пределы светового дня. Скажем, рыбаки и пекари приступают к работе задолго до рассвета. Рано открываются и оптовые рынки. Ночью метаболизм большого города наиболее интенсивен: происходит обновление всех его клеток — чистка, ремонт, вывоз отходов, мусора и т. д. Третий вид ночной деятельности сравнительно нов. Он вызван необходимостью круглосуточных работ — скажем, в сфере телекоммуникаций — в учреждениях, осуществляющих связь между регионом, погруженным в ночную тьму, и его залитым солнечным светом «антиподом».

Круглосуточное дежурство несут: служба Белого дома, работники химических заводов и электростанций, сотрудники международных аэропортов, редакций газет, госпиталей. К сожалению, это не всегда относится к руководителям: примеры тому — аварии в Бхопале и Чернобыле. Во всех этих случаях на ночном дежурстве находились лишь «нижние чины», а высокое начальство вело «дневной образ жизни». Лишь во время аварии на Три майл айленд, случившейся незадолго до рассвета, был немедленно разбужен главный инженер реактора.

Во время социологического исследования в 1974 г. группа опрашиваемых разыскивала на улицах Бостона «полуночников» и брала у них интервью. Было установлено, что те, кто бодрствует ночью, настроены гораздо дружелюбнее по отношению друг к другу, чем дневные обитатели города. Здесь действует тот же закон, по которому люди ощущают между собой более тесную связь в условиях риска. Ночные обитатели города чувствуют себя своего рода пионерами, осваивающими новые земли. «В обществе с более высоким уровнем комфорта люди гораздо реже помогают друг другу, чем в сложной обстановке ранних человеческих поселений».

Похоже, мы постепенно отводим все меньше времени для сна. «Выросшие в новых условиях, наши дети будут считать круглосуточное бодрствование чем-то весьма естественным», и ночные объективы спутников будут замечать все больше освещенных регионов. Впрочем, ситуация может измениться на обратную, если в будущем нам придется прибегнуть к более жесткой экономии топлива.

Джозеф Нидхэм, Хо Пинъю, Лу Гуэйджен, Вонг Лин. НАУКА И ЦИВИЛИЗАЦИЯ В КИТАЕ, т. 5, ч. 7. ВОЕННАЯ ТЕХНИКА: САГА О ПОРОХЕ
SCIENCE AND CIVILIZATION IN CHINA, Volume 5, Part 7. Military Technology: The Gunpowder Epic, by Joseph Needham, with the collaboration of Ho Ping-Yu, Lu Gwei-Djen and Wang Ling. Cambridge University Press (\$99.50)

«ЭТА КНИГА была задумана 43 года назад», когда однажды летним вечером в компании, где находились авторы, зашел разговор об истории пороха и в очень древнем тексте был найден относящийся к этому вопросу отрывок. Доктор Нидхэм после ряда приключений был эвакуирован вместе с несколькими видными китайскими историками в «очаровательный городок» в провинции Сычуань. Вместе с ними был и молодой ученый Вонг Лин, посвятивший истории пороха многолетнюю научную работу. Первую искру этого сверкающего фейерверка учености зажег доктор Хо, но с тех пор все четверо авторов успели принять участие в работе над книгой.

История пороха — это история не только техники и технологии, но и претворения в жизнь воли государства. На одной из первых страниц приведена диаграмма, изображающая всю историю применения пороха в виде потока, текущего от Византии к мысу Канаверал. Средневековому китайскому зелью предстояло сыграть важнейшую роль в падении феодальных господ далекой Европы; в 1449 г., например, артиллерийская «батарея» французского короля обрела удерживаемые англичанами замки в Нормандии, разнося их один за другим «со скоростью пять замков в месяц». А вот в Китае то же самое вещество, используемое в оружии самого разного вида в течение пяти столетий, не оказало сколько-нибудь значительного влияния на вековую бюрократическую структуру, не владевшую замками и не имевшую тяжелой рыцарской конницы. Подобно книгопечатанию, порох не совершил в Китае революции: подобно компасу, он оказался в конце концов в руках заморских варваров, унижавших впоследствии потомков тех, кто его изобрел.

Делая обзор этого объемистого тома, мы в основном коснемся технической истории первого взрывчатого вещества. Зажигательные стрелы использовались в войнах с древнейших времен. Места естественного выхода нефти на поверхность, встречающиеся достаточно часто, представляли

собой важный источник сырья для зажигательных веществ, применявшихся в военном деле. Первое важное изобретение в этой области — появление грозного греческого огня — может быть датировано довольно точно. Ведь ему должно было предшествовать открытие перегонки, позволявшей получать кипящую при низкой температуре углеводородную фракцию — нефть, похожее на керосин или бензин летучее, легко воспламеняющееся вещество. Горящей жидкостью поливали с помощью насоса вражеские корабли в морском сражении, победа в котором спасла Византию от арабского нашествия в конце VII в. Корабли-защитники назывались «носителями сифонов»: на них греческие моряки, укрытые за железными щитами, налегали на грохочущие бронзовые насосы-огнеметы. Эта техника вместе с самой горючей жидкостью попала в Китай через арабских купцов, которые вели морскую торговлю с Юго-Восточной Азией. К 1000 г. насосы-огнеметы уже использовались в китайской армии.

Тем временем алхимики-даосы, искавшие вовсе не оружие убийства, а эликсир жизни, начиная с III в. н. э. использовали в своих опытах серу и, разумеется, вещества, содержащие углерод. Но подлинным ключом к открытию пороха стал, конечно, его внутренний окислитель — селитра. История экспериментов китайских алхимиков с естественными продуктами разложения органических веществ, современными и древними нитратами, и постепенного получения все более чистой селитры охватывает несколько столетий. К 850 или 900 г. селитра и технология ее получения были уже хорошо известны. После 1200 г. арабские химики назовут это вещество «китайским снегом».

Первое определенное сообщение о внезапном воспламенении смеси селитры, серы и угля встречается в контексте, не имеющем никакого отношения к военному делу. Перечисляя десятки занятий, которых должен избегать истовый последователь даосизма, знаменитая книга даосского канона, по-видимому, написанная до 900 г. н. э., упоминает и такой случай, когда некие люди, нагревая смесь серы, реальгара и селитры с медом, получили ожоги рук и лица и «даже сожгли все здание». Это сработал внутренний окислитель.

Изобретатели оружия появляются на сцене гораздо позже. Китайское название пороха — огненный порошок — напоминает о медицине и алхимии. Английское название — пушечный порошок (gunpowder) — с самого начала предполагает использо-

вание его в военных целях. Исторические источники (не до конца понятные читателю) свидетельствуют о том, что в военных целях, а именно в качестве замедленного воспламенителя для греческого огня, порох был использован в Китае около 920 г. Очень скоро порох начинает применяться как самостоятельное средство в зажигательных стрелах и снарядах: его прикрепляют к стреле позади накопника и поджигают, чтобы устроить пожар, который трудно погасить. Имеются описание и рисунок, хотя и значительно более поздние, такого «огненного граната, выпущенного из лука». Затем появляется пороховый огнемёт, извергающий горящие газы из бамбуковой трубки — огненной пики. Такое оружие видно на фотографиях пассажирских джонок 1930-х годов; в то время оно все еще устанавливалось для защиты от пиратов в морях, омывающих Южный Китай.

Но если газы могут с силой вырваться из трубки, почему бы не заставить их толкать какие-нибудь снаряды? И вот уже «огненные трубки» набивают песком, битым фарфором, человеческими экскрементами и другими веществами, которые тогда считались ядовитыми. Наконец, появляется настоящее взрывчатое вещество (разумеется, состав пороха постепенно изменяется, что находит отражение в записях). К началу XII в. была создана «хлопушка» из бамбуковой трубки, наполненной нитратной смесью, главным действием которой был громкий шум. Мы видим эту «громовую бомбу» на одной из иллюстраций. Прогресс в этой области оказался быстрым: около 1230 г. чжурчжени стойко обороняли Кайфын от грозных монголов, и единственным оружием, которого боялись монгольские воины, были «копья летучего огня» (большие огненные пики) и «разрывающие бомбы». Эти бомбы, древнейшие из разрывных снарядов, представляли собой наполненные порохом чугунные сосуды; по форме они напоминали тыкву, а толщина их стенок достигала 5 см. Эта оборона вошла в историю, хотя она не смогла спасти ни город, ни династию Цзинь.

Вслед за бомбой появляется и настоящий снаряд. В течение долгого времени огненные газы выбрасывали из стволов лишь разнообразные подбивавшиеся для этой цели обломки. Но в конце концов пришел черед специально изготовленных ядер и стрел с прокладками, соответствующими диаметру ствола; так появилось настоящее огнестрельное оружие, сначала изготовлявшееся из бам-

бука, а затем и из металла. Создание этого оружия было нелегким делом, но мы точно знаем, что около 1290 г. оно уже существовало. На восьми-фунтовой бронзовой ручной бомбарде, найденной при раскопках в Маньчжурии, нет клейма с датой ее изготовления, но археологические данные и местные исторические источники позволяют довольно точно датировать находку. Это древнейшее ружье изготовлено, по-видимому, незадолго до 1290 г.

Первое изображение пушки в Европе датируется 1327 г. Ситуация представляется вполне ясной: судя по замечаниям Роджера Бэкона и отзывам арсеналов. Европа с охотой приняла убийственную селитру между 1270 и 1310 г., как только в Китае дело наконец дошло до создания артиллерии.

Но как порох попал в далекую Европу? Последняя часть книги полна предположений, опирающихся на немногочисленные известные факты: светловолосые скандинавы, посещавшие Новгород, арабские военные инженеры в Китае, итальянская торговая колония в Тебризе. К началу XIV в. «звонок уже прозвенел... и Западный мир вступил на роковой путь», ведущий к стрелковому оружию, артиллерии, тепловым двигателям и космическим полетам. А государство мандаринов, несмотря на весь свой опыт, вскоре оказалось не способным состязаться с Европой — с ее предпринимателями, изобретателями, королями и сектами. Один лишь факт: в 1650 г. в Пекине было два знаменитых пушечных мастера — оба монахи-иезуиты.

П. Ричардс. Сельскохозяйственная революция в странах Западной Африки: экология и производство продовольствия
INDIGENOUS AGRICULTURAL REVOLUTION: ECOLOGY AND FOOD PRODUCTION IN WEST AFRICA, by Paul Richards. Westview Press (\$ 34)

СРЕДИ крестьян народности менде в Сьерра-Леоне, по-видимому, издавна практиковался экспериментальный подход к сельскому хозяйству. Они убирают урожай не серпом, а ножом: каждая срезанная метелка злака кладется на ладонь и быстро рассматривается. Они специально выделяют небольшой участок земли, засевают его, собирают урожай и тщательно измеряют одной и той же тыквой-горлянкой посеянное и собранное зерно. «В 1983 г., — вспоминает автор, — я трижды или четырежды столкнулся со случаями, когда

крестьяне занимались сортировкой зерна, проводя селекцию из урожая прошлых лет». На обложке небольшой, но убедительно написанной книги помещена фотография отобранной крестьянином метелки риса. У зерен риса длинные ости и жесткие колосковые чешуи, отпугивающие птиц («рис с костлявой челюстью», как называют его местные жители). Ущерб, наносимый птицами, — одна из сложнейших проблем, с которой сталкиваются в этих местах крестьяне, выращивающие скороспелые сорта риса. А учебники рекомендуют селекцию, направленную на устранение именно этих признаков.

Такой простейший пример помогает понять суть аргументации Ричардса. Мелкие крестьяне Западной Африки уже давно доказали свою тягу к новому, насколько они изобретательны и как глубоко их понимание окружающего мира. В отличие от сельских жителей многих других районов с традиционными методами земледелия мужчины и женщины племени менде выращивают зерновые в весьма специфических условиях: земля в изобилии, а рабочей силы не хватает, дикие и обработанные участки, лес и саванна тесно переплетаются, дожди обильны, но выпадают лишь в определенное время года. Как правило, они узнают больше из собственного опыта, чем современные специалисты из книг. Это с одной стороны. А с другой — приблизительность, возникающая тогда, когда общая теория основана на опыте, накопленном в совершенно иных условиях. Она для крестьян плохой советчик. «Никто не ожидает, что пилот сможет управлять самолетом только на основе прочитанного в учебниках». Несмотря на это, неопытные советчики часто считают, что могут руководить хозяйством того, чья жизнь зависит от выращенного им самим урожая. Селекция, проводимая на ферме «под скептическим взглядом местных земледельцев», даст лучшие результаты.

Эта история не нова. Шоколадное дерево на острова Зеленого Мыса было завезено португальцами, однако разведение его на Африканском континенте было строго запрещено. Тем не менее со временем какао-бобы стали основной товарной культурой нескольких английских владений в Западной Африке, но плантации какао появились там отнюдь не по прихоти колониальной администрации. В 1963 г. историк-экономист П. Хилл доказал, что какао было завезено в Гану тайком одним работником, вернувшимся на родину с «отхожего промысла» на португальской плантации, причем на первых порах разведение

этой ныне процветающей культуры почти полностью зависело от инициативы местного населения. Аналогичным образом бывшие рабы из африканского племени йоруба, вернувшиеся после освобождения из Бразилии, принесли с собой технику изготовления сухого маниокового саго, называемого «гари». Это нововведение было чрезвычайно важным — оно сделало возможным широкое распространение высокоурожайных «горьких» сортов этого корнеплода, которые ранее невозможно было использовать из-за высокого содержания цианида.

В колониальной Индии голод, следовавший за неурожаем, рано заставил земледельцев уделять особое внимание выращиванию культур, обеспечивающих собственное пропитание, а производство сельскохозяйственной продукции для рынка ставить на второе место. В Западной Африке внедрилась «карибская модель»: в первую очередь заботятся о выращивании урожая экспортных культур, а уж потом думают о собственном обеспечении продовольствием. Интересен случай с одним из индийских специалистов, приглашенным сюда для консультации по вопросам получения еще более высоких урожаев риса в зоне мангровых болот эстуария Скар (Сьерра-Леоне). Он обнаружил, что урожай у местных крестьян выше, чем в Мадрасе, и рекомендовал отрядить некоторых наиболее опытных из них для создания рисовых плантаций в других местах. Однако администрация осталась недовольна: она считала, что высокие урожаи доказывают только, как плодородна здешняя земля, даже если ее неграмотно обрабатывать.

Почему традиционное сельское хозяйство Африки всегда казалось таким отсталым? Дело в том, что крестьяне трудились здесь не менее напряженно, чем в других местах, но по-своему. Например, они не пахали землю, и расчет в том был простой. Вспашка облегчает возделывание культур, однако в этих местах главная забота земледельца — прополка. Вспашка не оправдана, особенно при отсутствии тяглового скота. Применялась переложная система, причем залежная растительность, которая могла бы служить прекрасным зеленым удобрением, выжигалась. В азоте здесь нет нужды: вполне хватает цианобактерий и бобовых. Почве требуются только минеральные вещества — ей остается зола. Крестьяне возделывают различные растения на одном и том же участке: 80% земли занято совмещенными культурами. С одной стороны, такое разнообразие необходимо для полноценного пита-

ния, с другой — растущие вместе виды в некоторых случаях действительно стимулируют друг друга.

В основу книги положены материалы о крестьянских хозяйствах Сьерра-Леоне, она полна восхищения ими, но круг поднимаемых в ней вопросов отнюдь нельзя считать узким или «провинциальным». В ней немало убедительных критических рассуждений о крупных аграрных теориях различных авторов — от Спенсера до Маркса и Ленина — о наших знаниях, о непродуманных концепциях и неудачных селекционных мероприятиях, о различных сельскохозяйственных движениях в различных регионах мира — от Канзаса до России. «Народная наука» достойна в Западной Африке всяческого поощрения прежде всего потому, что это — хорошая наука.

Сам автор исходит из двух глубоко различных теоретических положений, к которым трудно придаться. Он считает, что развитие сельского хозяйства является одновременно сферой применения прикладной биологии и социальных наук. Грамотность — вовсе не обязательное условие для проведения успешных опытов в земледелии. Сельскохозяйственная революция в Англии была совершена отнюдь не искушенными университетскими агрономами. Один из экспериментов по орошению, проведенный в XVIII в., совсем недавно был описан с правильных позиций. Оказалось, что «опытные делянки» некоего мистера Бейкуэлла «полностью убеждали каждого, кто их видел».

В то же время не стоит видеть вещи в розовом свете. Сельская жизнь, как и всякая другая, полна противоречий и ошибок. Доморожденные научные исследования, как и импортированные знания, не панацея от всех бед. Безусловно, фермеры нуждаются в том, что им может дать большая наука, не менее, чем профессиональные селекционеры и распространители новых методов и сортов в энергии и знаниях опытного крестьянина. В каждом конкретном случае здесь надо выбирать, что полезнее. Эта книга будет интересна каждому, кому небезразлично развитие человеческого общества.

Издательство МИР предлагает:

**М. Страшкраба,
А. Гнаука**
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРЕСНОВОДНЫХ
ЭКОСИСТЕМ**

Перевод с английского

В книге известного чехословацкого эколога М. Страшкрабы и математика-кибернетика из ГДР А. Гнаука изложена разработанная авторами концепция экологической системы водоема, в основу которой положена теория стохастических автоматов, принципы термодинамики и авторегуляции. Эти исследования выполнялись в рамках многостороннего научного сотрудничества ученых социалистических стран по комплексной проблеме «Планетарные геофизические исследования».

Содержание: Системный подход и экосистема. Анализ и моделирование экосистемы как метод ее исследования. Моделирование источников и стоков, первичных и вторичных продуктов в пресноводных водоемах. Учет географической связи районов. Кибернетическое моделирование фитопланктона. Роль теории линейных экосистем.

Из отзыва члена-корр. АН УССР В. И. Беляева: «Книга представляет значительный интерес для решения проблем математического моделирования сложных экологических систем. Наряду с новыми теоретическими результатами в ней приводятся большое число примеров решения конкретных проблем рационального водопользования на озерах и водохранилищах».

Для геофизиков, географов, экологов, математиков, биологов, гидрологов — специалистов и студентов старших курсов соответствующих специальностей.

1987, 25 л. Цена 4 р.



ПЕРЕДОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И КРИЗИС СТАЛЕЛИТЕЙНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ США

TECHNOLOGY AND STEEL INDUSTRY COMPETITIVENESS. Office of Technology Assessment. U.S. Government Printing Office, 1980.

RADICALLY INNOVATIVE STEELMAKING TECHNOLOGIES. Julian Szekely in *Metallurgical Transactions B*, Vol. 11B, No. 3, pages 353-371; September, 1980.

THE COMPETITIVE STATUS OF THE U.S. STEEL INDUSTRY: A STUDY OF THE INFLUENCES OF TECHNOLOGY IN DETERMINING INTERNATIONAL INDUSTRIAL COMPETITIVE ADVANTAGE. Bruce S. Old, chairman. National Academy Press, 1985.

МОЛЕКУЛЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

CONTROL OF ROD DISK MEMBRANE PHOSPHODIESTERASE AND A MODEL FOR VISUAL TRANSDUCTION. P. A. Liebman and E. N. Pugh, Jr., in *Current Topics in Membranes and Transport*, Vol. 15, pages 157-170; 1981.

FLOW OF INFORMATION IN THE LIGHT-TRIGGERED CYCLIC NUCLEOTIDE CASCADE OF VISION. Bernard K.-K. Fung, James B. Hurley and Lubert Stryer in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 78, No. 1, pages 152-156; January, 1981.

MILLISECOND ACTIVATION OF TRANSDUCIN IN THE CYCLIC NUCLEOTIDE CASCADE OF VISION. T. M. Vuong, M. Chabre and L. Stryer in *Nature*, Vol. 311, No. 5987, pages 659-661; October 18, 1981.

CYCLIC GMP CASCADE OF VISION. Lubert Stryer in *Annual Review of Neuroscience*, Vol. 9, pages 87-119; 1986.

КОЛЬЦА УРАНА

RINGS: DISCOVERIES FROM GALILEO TO VOYAGER. James Elliot and Richard Kerr. The MIT Press, 1984.

THE RINGS OF URANUS. J. L. Elliot and P. D. Nicholson in *Planetary Rings*, edited by Richard Greenberg and Andre Brahic. University of Arizona Press, 1984.

RINGED PLANETS: STILL MYSTERIOUS. Jeffrey N. Cuzzi in *Sky and Telescope*, Vol. 68, No. 6, pages 511-515, December, 1984; Vol. 69, No. 1, pages 19-23, January, 1985.

VOYAGER 2 MISSION TO URANUS.

Reports in *Science*, Vol. 233, No. 4759; July 4, 1986.

ПЛЯЖИ И БАРЬЕРНЫЕ ОСТРОВА

MAN'S IMPACT ON THE BARRIER ISLANDS OF NORTH CAROLINA. Robert Dolan, Paul B. Godfrey and William E. Odum in *American Scientist*, Vol. 61, No. 2, pages 152-162; March—April, 1973.

BARRIER ISLANDS. Robert Dolan, Bruce Hayden and Harry Lins in *American Scientist*, Vol. 68, No. 1, pages 16-25; January—February, 1980.

THE OUTER BANKS OF NORTH CAROLINA. Robert Dolan and Harry Lins. *U.S. Geological Survey Professional Paper No. 1177-B*, 1986.

НЕСПОКОЙНЫЙ ЛАНДШАФТ. Под редакцией Д. Бранслена, Дж. Дорнкемпа. Перев. с англ. — М.: Мир, 1981.

БОЛЕЗНЬ ЛАЙМА

LYME ARTHRITIS: AN EPIDEMIC OF OLIGOARTICULAR ARTHRITIS IN CHILDREN AND ADULTS IN THREE CONNECTICUT COMMUNITIES. Allen C. Steere, Stephen E. Malawista, David R. Snydman, Robert E. Shope, Warren A. Andiman, Martin R. Ross and Francis M. Steele in *Arthritis and Rheumatism*, Vol. 20, No. 1, pages 7-17; January-February, 1977.

LYME DISEASE: A TICK-BORNE SPIROCHETOSIS? Willy Burgdorfer. Alan G. Barbour, Stanley F. Hayes, Jorge L. Benach, Edgar Grunwald and Jeffrey P. Davis in *Science*, Vol. 216, No. 4552, pages 1317-1319; June 18, 1982.

LYME DISEASE SPIROCHETES INDUCE HUMAN AND MURINE INTERLEUKIN 1 PRODUCTION. Gail S. Habicht, Gregory Beck, Jorge L. Benach, James L. Coleman and Kimberly D. Leichtling in *The Journal of Immunology*, Vol. 134, No. 5, pages 3147-3154; May, 1985.

CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF A LIPOPOLYSACCHARIDE EXTRACTED FROM THE LYME DISEASE SPIROCHETE (*BORRELLA BURGDORFERI*). Gregory Beck, Gail S. Habicht, Jorge L. Benach and James L. Coleman in *The Journal of Infectious Diseases*, Vol. 152, No. 1, pages 108-117; July, 1985.

Крючков В. Н. ХРОНИЧЕСКАЯ МИГРИРУЮЩАЯ ЭРИТЕМА, ИЛИ БОЛЕЗНЬ ЛАЙМА, — НОВЫЙ КЛЕЩЕВОЙ СПИРОХЕТОЗ. — Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии, 1985, № 9, с. 101-109.

ХОЛОДНЫЙ
ЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

MESIC MOLECULES AND MUON CATALYSED FUSION. L. Bracci and G. Fiorentini in *Physics Reports*, Vol. 152, No. 4, pages 169-216; 1982.

OBSERVATION OF UNEXPECTED DENSITY EFFECTS IN MUON-CATALYZED D-T FUSION. S. E. Jones, A. N. Anderson, A. J. Caffrey, C. DeW. Van Siclen, K. D. Watts, J. N. Bradbury, J. S. Cohen, P. A. Gram, M. Leon, H. R. Maltrud and M. A. Paciotti in *Physical Review Letters*, Vol. 56, No. 6, pages 588-591; February 10, 1986.

DETUNING REDUCTION OF MUON STICKING IN RESONANT MUON-CATALYZED D-T FUSION. Michael Danos, Berndt Müller and Johann Rafelski in *Physical Review A*, Vol. 34, No. 5, pages 3642-3645; November, 1986.

MUON-CATALYZED FUSION REVISITED. Steven Earl Jones in *Nature*, Vol. 321, No. 6066, pages 127-133; May 8, 1987.

Воробьев А. А. МЮОННЫЙ КАТАЛИЗ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА. — Успехи физических наук, 1986, т. 148, вып. 4, с. 719-723.

Пономарев Л. И. МЮОННЫЙ КАТАЛИЗ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА. — Природа, 1979, № 9, с. 8-20.

Петров Ю. В. ГИБРИДНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ И МЮОННЫЙ КАТАЛИЗ. — Природа, 1982, № 4, с. 62-72.

АЭРОДИНАМИКА
ОПЫЛЕНИЯ ВЕТРОМ

WIND POLLINATION IN THE ANGIOSPERMS; EVOLUTIONARY AND ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS. David R. Whitehead in *Evolution*, Vol. 23, No. 1, pages 28-35; March, 1969.

LIFE IN MOVING FLUIDS: THE PHYSICAL BIOLOGY OF FLOW. Steven Vogel. Princeton University Press, 1983.

PALEOBOTANY AND THE EVOLUTION OF PLANTS. Wilson N. Stewart. Cambridge University Press, 1983.

THE MOTION OF WINDBORNE POLLEN GRAINS AROUND CONIFER OVULATE CONES; IMPLICATIONS ON WIND POLLINATION. Karl J. Niklas in *American Journal of Botany*, Vol. 71, No. 3, pages 356-374; March, 1984.

АРКИ И СВОДЫ
В ДРЕВНЕЙ АРХИТЕКТУРЕ
БЛИЖНЕГО ВОСТОКА

ANCIENT EGYPTIAN MASONRY. Somers Clarke and R. Engelbach. Oxford University Press, 1930.

ARCHITECTURE FOR THE POOR.

Hassan Fathy. University of Chicago Press, 1973.

DIGGING UP TELL JEMMEH. Gus W. Van Beek in *Archaeology*, Vol. 36, No. 1, pages 12-19; January/February, 1983.

О ПРЕКРАЩЕНИИ
ПРОИЗВОДСТВА ДЕЛЯЩИХСЯ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЯДЕРНОГО
ОРУЖИЯ

CONTROLLING THE SOURCE: VERIFICATION OF A CUTOFF IN THE PRODUCTION OF PLUTONIUM AND HIGHLY ENRICHED URANIUM FOR NUCLEAR WEAPONS. Frank von Hippel and Barbara G. Levi. Report No. pu/cees 167, Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, 1984.

US AND SOVIET STOCKPILES OF FISSILE MATERIALS. Frank von Hippel, David Albright and Barbara G. Levi. Report No. pu/cees 168, Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, 1984.

НАУКА ВОКРУГ НАС

A NEW CONCEPT OF RENAL HEMODYNAMICS. W. J. Gatzek in *Medical Hypotheses*, Vol. 4, No. 3, pages 221-230; May-June, 1978.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

HENON MAPPING WITH PASCAL. Gordon Hughes in *Byte*, Vol. 11, No. 13, pages 161-192; December, 1986.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.08.87.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,75 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,50.

Уч.-изд. л. 16,67.

Усл. кр.-отт. 51,36.

Изд. № 25/5518. Заказ 550.

Тираж 23900 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7

Издательство
МИР
предлагает:ВЫСОКО-
ЭФФЕКТИВНАЯ
ЖИДКОСТНАЯ
ХРОМАТОГРАФИЯ
В БИОХИМИИ

Под редакцией А. Хеншена и др.
Перевод с английского

Учебное и справочное пособие по широко применяемому эффективному методу анализа сложных смесей веществ. В нем изложены основные положения и принципы хроматографического разделения веществ, приведены подробные разработки по приборам и методикам, дана обширная подборка литературы по основным областям применения ВЭЖХ.

Для химиков и биохимиков широкого профиля — работников исследовательских и промышленных лабораторий, работников аналитических лабораторий пищевой промышленности и медицинских учреждений, студентов вузов химического и биологического профиля.

1988, 53 л. Цена 8 р. 30 к.

К. Хаусман
ПРОТОЗООЛОГИЯ

Перевод с немецкого

Книга профессора Свободного университета Западного Берлина представляет собой учебник, отличающийся высоким научным уровнем, компактностью и четкостью изложения материала. Описаны систематика и эволюция простейших, организация клеток, структура и функции органелл, а также методы сбора, культивирования и исследования простейших. Книга снабжена удобным определителем и словарем терминов.

Для студентов-зоологов старших курсов, специалистов-биологов, врачей и ветеринаров.

1988, 22 л. Цена 1 р. 80 к.



Внимание читателей!

АЭРОКОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

Ежемесячный журнал в переводе с английского,
издательство «Мир»

Если раньше журнал «Аэрокосмическая техника» ориентировался на специалистов узкого профиля, то с 1987 года его тематическая направленность изменилась: многие публикуемые в нем информационные статьи, сообщения и фотоснимки представляют интерес и для широкого круга читателей. В каждый выпуск теперь включаются оперативные материалы из нового для советского читателя научно-популярного журнала «Аэрокосмическая Америка» (Aerospace America) в соответствии с контрактом, заключенным издательством «Мир» и Американским институтом аэронавтики и астронавтики (AIAA). Кро-

ме того, достигнута договоренность на перевод и публикацию материалов из еще одного издаваемого этим же институтом журнала «Теплопередача и теплозащита» (Thermophysics and Heat Transfer).

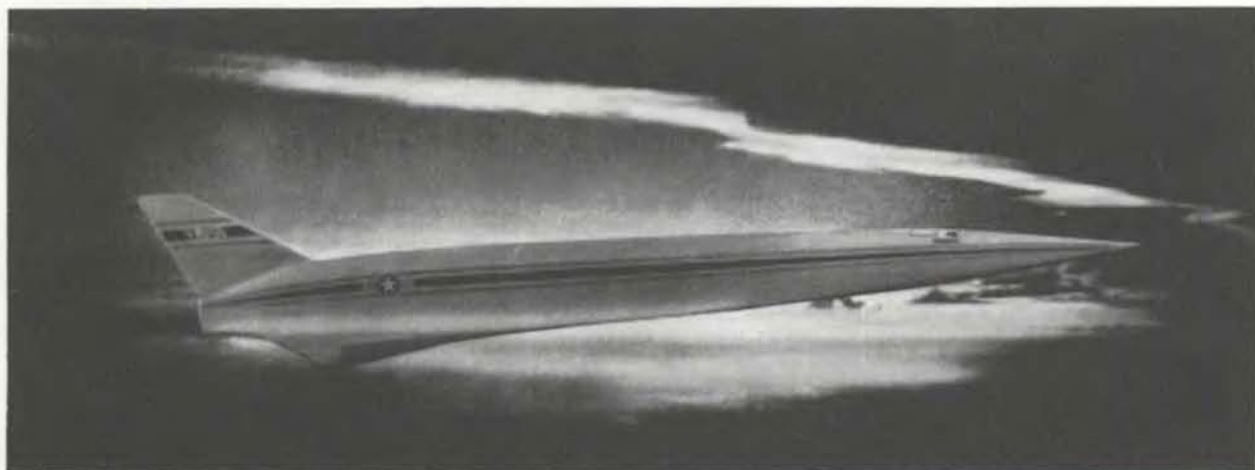
Вместе с тем редакция «Аэрокосмической техники» по традиции и по-прежнему в большом объеме продолжает публикацию наиболее актуальных и значимых статей из других уже известных читателям пяти научных вестников: AIAA Journal; Journal of Aircraft; Journal of Spacecraft and Rockets; Journal of Propulsion and Power; Journal of Guidance, Control, and Dynamics. Эти жур-

налы также издаются Американским институтом аэронавтики и астронавтики — ведущим научным обществом, объединяющим свыше 35 тысяч ученых, инженеров, специалистов, работающих в области авиации, ракетно-космической техники.

С помощью общественного научного совета редакция «Аэрокосмической техники» постоянно работает над улучшением планирования каждого номера, привлекает к отбору материалов из американских источников и оперативному их переводу компетентных ученых и инженеров, в совершенстве владеющих английским языком и своей специальностью.

ТЕМАТИКА ПУБЛИКАЦИЙ

Содержание каждого номера журнала можно условно разделить на два больших раздела. В первый из них постоянно включаются научно-популярные материалы, посвященные новым зарубежным самолетам, ракетам, космическим аппаратам, кораблям, станциям, исследованиям ближнего и дальнего космоса, новым проектам, гипотезам, перспективам развития в США и других странах Запады ведущих отраслей индустрии, в том числе и военного профиля. Второй раздел журнала (рассчитан на подготовленного читателя) отражает следующие тематические направления: аэродинамика летательных аппаратов, включая численные методы; авиационные и ракетные двигатели; топливо и процессы горения; теплопередача и теплозащита летательных аппаратов; управление и навигация; прочность и устойчивость; композиционные материалы; лазеры и их применение; спутниковая связь; бортовая и наземная электроника; энергетика, МГД-устройства; охрана окружающей среды.



Космоплан — техника будущего. Этот снимок из Aerospace America опубликован в журнале «Аэрокосмическая техника» (№ 6, 1987 г.). Иллюстрация наглядно показывает, как будет развиваться авиация в ближайшие десять лет... Уже сегодня начато проектирование воздушно-космических самолетов, скорость которых в 25 раз будет превышать скорость звука.

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

Подписка на журнал «Аэрокосмическая техника» (годовая, полугодовая, квартальная) принимается без ограничений во всех агентствах «Союзпечати», почтовых отделениях связи, а также общественными распространителями. Стоимость годовой подписки (12 номеров) — 37 руб. 20 коп., полугодовой — 18 руб. 60 коп., квартальной — 9 руб. 30 коп. Журнал включен в «Каталог газет и журналов зарубежных стран», раздел «Переводные научные и научно-технические журналы». Индекс 91345.



В следующем номере:



КОНСТРУИРОВАНИЕ ЯХТЫ
«СТАРЗ-ЭНД-СТРАЙПС»

СТОЛКНОВЕНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПРОТОНОВ

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ СИНДРОМА ДАУНА

ТЕОРИЯ РАЗНООБРАЗИЯ АНТИТЕЛ

СОЛЯНАЯ ТЕКТОНИКА

ТРАНЗИСТОРЫ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

МАССОВАЯ ОХОТА НА ДЖЕЙРАНОВ
В КАМЕННОМ ВЕКЕ

АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ

«ЛЕСТНИЦА СЛОВ»:
ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ГОЛОВЛОМКИ
И ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРА

МУЗЫКА И ПАРЫ АММИАКА
РИСУЮТ НА МЫЛЬНОЙ ПЛЕНКЕ