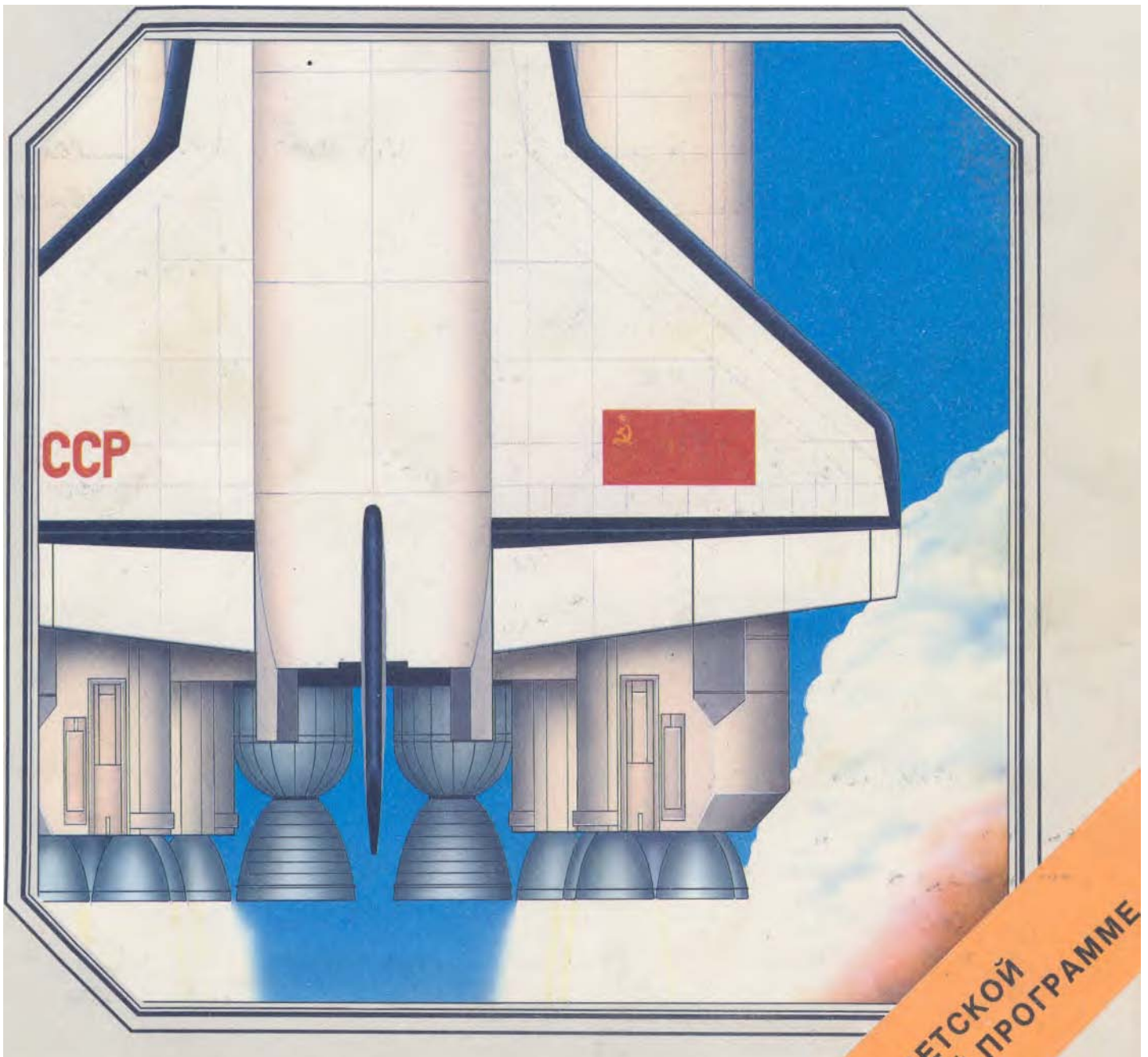


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Апрель **4** 1989

О СОВЕТСКОЙ
КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ

Вниманию читателей!

А. Никола

ОСНОВЫ ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Перевод с английского



Отслаивание в гранодиорите. Трещиноватость становится более интенсивной по мере приближения к поверхности и не проявляет зависимости от круто падающего магматического расслоения.

В книге известного французского ученого, специалиста по структурной геологии и петрологии, анализируется формирование складок, трещин и разломов с учетом происходящих при этом физических процессов. Описаны различные типы складчатости и разрывных нарушений, объясняется, как образуются однородные и гетерогенные деформации. Особый интерес представляет характеристика микроструктуры геологических пород, изучаемых с помощью микроскопа и столика Федорова. Подробно рассмотрены типы трещин и их поведение под воздействием напряжений, нормальное и эффективное давление флюида и его

влияние на формирование трещин. Обсуждаются хрупко-пластические переходы при формировании микротрещин, увеличение и уменьшение объема горных пород, а также несвязанная (прерывистая) деформация.

Книга будет полезна геологам широкого профиля, тектонистам, геологам-структурщикам, петрологам, геофизикам, а также студентам и аспирантам этих специальностей.

1990 г., 15 л. Цена 3 р. 30 к.

На книги, выходящие в 1990 г.,
магазины научно-технической литературы принимают заказы
с апреля - мая 1989 г.

Издательство заказы не принимает



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

МОСКВА «МИР»

№ 4 АПРЕЛЬ 1989

В номере:

СТАТЬИ

(Scientific American, February 1989, Vol. 260, No. 2)



6 О советской космической программе

Питер М. Бэнкс, Салли К. Райд

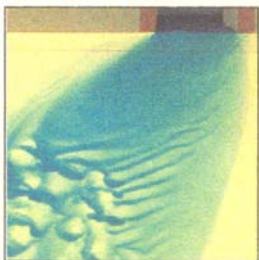
С 1971 г. космонавты провели в общей сложности более 5600 суток на борту орбитальных космических станций. Вместе с тем, пилотируемые полеты составляют лишь небольшую часть обширной программы космических исследований, осуществляемой Советским Союзом



16 Гены цветового зрения

Джереми Натанс

Обнаружены гены, которые кодируют белки, обеспечивающие различение цветов в глазу человека. Это дает ключ к пониманию нормального цветового зрения и генетические основы цветовой слепоты



26 Гигантские водопады в океане

Джан А. Уайтхед

Подводные водопады, куда более грандиозные, чем водопады на суше, играют важнейшую роль в химическом балансе и «климате» океанских глубин



36 Новые сверхпроводники: перспективы применения

Алан М. Вольски, Роберт Ф. Гиз, Эдвард Дж. Даниельс

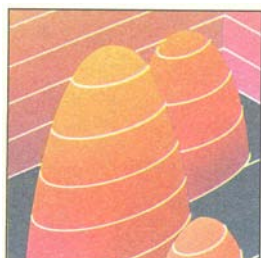
От достижений в области материаловедения сейчас зависит будут ли реализованы надежды на практическое использование высокотемпературных сверхпроводников в различных отраслях экономики. Для этого нужна долгосрочная исследовательская программа



46 От пения птиц к нейрогенезу

Фернандо Наттебом

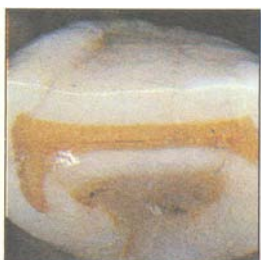
При изучении у канарейки нервных клеток, отвечающих за пение, обнаружилось, что во взрослом мозге образуются новые нейроны, способные заменять старые. Возможно нейрогенез такого типа лежит в основе самовосстановления мозга



54 Химические эффекты ультразвука

Кеннет С. Суслик

При прохождении интенсивных ультразвуковых волн через жидкость в ней образуются небольшие пузырьки, которые растут и схлопываются, выделяя огромное количество тепла. В таких экстремальных условиях создаются возможности для протекания необычных химических реакций



62 Реконструкция процесса заселения Азии первобытным человеком: одонтологический подход

Кристи Дж. Тернер

Мельчайшие различия в строении зубов людей позволяют реконструировать великие миграции первобытного человека, заселившего бассейн Тихого океана, Восточную Азию и Новый Свет



70 История переписи населения в США и обработки ее данных

Кит С. Рид-Грин

К 1880 г. возросшая численность населения и количество фиксируемых при переписи данных практически парализовали деятельность управления переписи населения США. В 1890 г. на помощь пришло изобретение Германа Холлерита - механический перфокарточный табулятор

РУБРИКИ 5 Об авторах

15, 24, 34, 52,

69, 76, 86, 89 Наука и общество

78 Наука вокруг нас

82 Занимательный компьютер

88 Книги

97 50 и 100 лет назад

98 Эссе

99 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

Harry Myers
PRESIDENT AND PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
Timothy M. Beardsley
John M. Benditt, Laurie Burnham
Elisabeth Corcoran
Gregory R. Greenwell
John Horgan, June Kinoshita;
Philip Morrison (book EDITOR);
Tony Rothman, Ricki L. Rusting,
Russel Ruthen, Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1989 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

С. П. Капица
ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ

М. В. Суорова,
Н. А. Вавилова
ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

С. К. Аносов
ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая
РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
В. С. Галкин

КОРРЕКТОР

Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ

М. Г. Жуков
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ

129820, Москва, ГСП, 1-й Рижский пер., 2
ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© перевод на русский язык
и оформление, «Мир», 1989

На обложке



О СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ

На обложке изображен советский космический корабль многоразового использования «Буран» в момент запуска (в ноябре прошлого года) с помощью новой мощной советской ракеты «Энергия» (см. статью Питера М. Бэнкса и Салли К. Райд «о советской космической программе», с. 6). Внешне «Буран» похож на американский шаттл; в отличие от него, он совершил полет в автоматическом режиме. Такая гибкость типична для советской космической программы, в соответствии с которой более 25 лет осуществляется запуск как пилотируемых, так и непилотируемых космических летательных аппаратов.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Hank Iken

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	Tass/Sovfoto	44	AT&T Bell Laboratories	66-67	Tom Prentiss
8-12	Ian Worpole	47	Fernando	68	Christy G. Turner (вверху); Tom Prentiss (внизу)
13	Australian Department of Defense	48-51	Patricia J. Wynne	71	Quesada/Burke
17	Bruce Coleman Inc./Nicholas deVore III	55	Lawrence A. Crum, University of Mississippi	72	Hank Iken
18-23	George V. Kelvin	56-59	Andrew Christie	73	Quesada/Burke
27	Robert Frazel, Woods Hole Oceanographic Institution	60	Dominick J. Casadonte, Frank J. Scheltens, University of Illinois at Urbana-Champaign (вверху); Stephen J. Doktycz, University of Illinois at Urbana-Champaign (внизу);	74-81	Michael Goodman, Edward Bell
28-32	George Retseck	63	Christy G. Turner	82	Walter S. Strickler (вверху слева); John Dewey Jones (вверху справа); Andrew LaMaliance (внизу слева); Philip L. Szelesian (внизу справа)
33	Robert Frazel, Woods Hole Oceanographic Institution	64	Christy G. Turner (вверху); Tom Prentiss (внизу)	83	Michael Alder (слева); R. Terry Sproat, Rick M. Cauey (справа)
36	S. Varnedoe	65	Christy G. Turner (вверху); Tom Prentiss (внизу)	84	James L. Crum
39-40	Thomas C. Moore				
41	Johnny Johnson				
42	Thomas C. Moore				
43	Thomas C. Moore (вверху); Argonne National Laboratory (внизу)				

Книги издательства "Мир"

НЕ СЧЕСТЬ У РОБОТА ПРОФЕССИЙ

Под редакцией П. Марша
Перевод с английского

История естествознания и техники богата примерами, свидетельствующими о неиссякаемом стремлении человека создать механизмы и устройства, подобные живым существам, которые могли бы служить либо забавными игрушками, либо надежными помощниками при выполнении сложной или Опасной работы. В наши дни на смену симпатичным, но довольно неуклюжим и малоэффективным автоматам прошлого пришли более простые по конструкции и очень практичные системы - роботы и манипуляторы появление которых вызвано прежде всего насущными потребностями производства.

Современные робототехнические устройства - это не просто усовершенствованные варианты их примитивных предшественников; в их основе лежит принципиально новая технология, получившая развитие лишь во второй половине нашего столетия: информатика и вычислительная техника. В наши дни роботы проникли во все области человеческой деятельности: на производство, в сферу обслуживания, в повседневный быт человека. Неоценимую помощь они оказывают при подводных работах, на атомных станциях, в космосе. Значительные перспективы открываются перед ними и в сфере образования.

Как прообраз будущего, роботы на протяжении десятилетий живут на страницах научно-фантастических произведений, их кинематографические прототипы поражают воображение людей, особенно молодежи. Но в наше стремительное время действительность нередко опережает самые смелые полеты фантазии. Именно в этом убеждает нас яркая и красочная кни-

га, написанная группой американских и английских авторов. С ее страниц читателю открывается удивительный мир, населенный роботами, которые без усталости трудятся на конвейерах предприятий, занимаются подводными исследованиями, следят за радиационной обстановкой на атомных станциях, выполняют десятки других самых невероятных работ. Особенно поражают воображение роботы, используемые в космосе. Так, в книге рассказывается о чудо-устройстве, 11-метровой руке-манипуляторе, созданной канадской фирмой "СПАР аэроспейс", с помощью которой удастся снимать с орбиты спутники, вышедшие из строя или отработавшие свой век. Наделенные зрением, осязанием, слухом, роботы становятся надежными и терпеливыми сиделками у постели больных и инвалидов, служат поводьями слепых. Поистине не счесть у робота профессий!

Прекрасные фотографии позволяют читателю буквально воочию представить себе уникальные устройства, которым в недалеком будущем суждено прочно войти в нашу жизнь.

Авторы ставят также проблемы социального и этического характера; только серьезно задумываясь над ними сейчас, мы сможем направить развитие робототехники в нужное русло, поставить роботов на службу человеку.

Книга адресована самому широкому кругу читателей: она, несомненно, заинтересует не профессионалов, немало полезного найдут в ней и специалисты. Но прежде всего она предназначена молодежи, которой предстоит жить на Земле в XX веке.

1987, 31 л., 7 р. 50 к.

Эту книгу можно купить в Московском доме книги
Адрес магазина: 121019 Москва, просп. Калинина, 26,
п/Я42, магазин № 200.



Об авторах

Peter M. Banks, Sally K. Ride "Soviets in Space" (ПИТЕР М. БЭНКС, САЛЛИ К. РАЙД «О советской космической программе») начали сотрудничать с НАСА в подготовке доклада об освоении космоса Советским Союзом с помощью космических станций вскоре после возвращения Райда в Станфордский университет в 1987 г. Бэнкс -- профессор электротехники и директор лаборатории космических исследований и дальней связи Станфордского университета. Начал проявлять интерес к советской программе освоения космоса с помощью космических станций, будучи руководителем консультативного комитета НАСА, принимавшего участие в определении области научных применений американской космической станции. Райд -- сотрудник Станфордского центра международной безопасности и контроля над вооружениями. Два раза совершила полет в космос (в 1983 и 1984 гг.) и готовилась к третьему полету, когда произошла катастрофа с «Челленджером». После этого Райд прекратила подготовку и вошла в состав президентской комиссии по расследованию причин гибели шаттла. До того как вернуться в Станфордский университет, занимала пост специального помощника руководителя НАСА по стратегическому планированию.

Jeremy Nathans "The Genes for Color Vision" (ДЖЕРЕМИ НАТАНС «Гены цветового зрения») -- ассистент кафедры молекулярной биологии и генетики, а также кафедры нейрологии Медицинского института Говарда Хьюза при Медицинской школе Университета Джона Гопкинса. Степень бакалавра получил в Массачусетском технологическом институте, степень доктора медицины и доктора философии -- в Станфордском университете. После этого год работал в компании Genentech. С 1987 г. он сотрудник Университета Джона Гопкинса.

John A. Whitehead "Giant Ocean Cataracts" (ДЖОН А. УАЙТХЕД «Гигантские водопады в океане») -- старший сотрудник отдела физической океанографии Океанографического института в Вудс-Холе. Получил степень бакалавра в Университете Тафтса, а степени магистра и доктора философии -- в Йельском университете. Член Американского физического общества, в прошлом стипендиат фонда Гуттенхайма. Научные интересы лежат в области теоретического и лабораторного моделирования гид-

родинамики океанов, атмосферы и внутренних областей Земли. Его хобби -- музыка: он играет на трубе в оркестре города Фалмаута, шт. Массачусетс; оркестром дирижует его жена, Линда.

Alan M. Wolsky, Robert F. Giese, Edward J. Daniels "The New Superconductors: Prospects for Applications" (АЛАН М. ВОЛЬСКИ, РОБЕРТ Ф. ГИЗ, ЭДВАРД ДЖ. ДАНИЕЛЬС «Новые сверхпроводники: перспективы применения») работают в группе технологической экспертизы отдела энергетики и охраны окружающей среды Аргоннской национальной лаборатории. Вольски -- старший научный сотрудник по вопросам энергетики и руководитель группы. Научную степень доктора философии в области теоретической физики получил в Пенсильванском университете в 1969 г., затем работал приглашенным доцентом в Темплском университете. Гиз -- эксперт по энергетическим системам, в Аргоннскую лабораторию пришел из Станфордского университета в 1974 г., сразу после получения степени доктора философии в области экспериментальной физики. Даниельс специализировался в Чикагском университете. В Аргоннской национальной лаборатории работает с 1985 г.

Fernando Nottebohm "From Bird Song to Neurogenesis" (ФЕРНАНДО НОТТЕ БОМ «От пения птиц к нейрогенезу») -- профессор этологии в Рокфеллеровском университете, директор Полевого исследовательского центра этологии и экологии этого университета. Родился в Аргентине, учился в США. Вначале специализировался в области сельского хозяйства, но затем его интересы изменились, и он получил степени бакалавра и доктора философии в области зоологии в Калифорнийском университете в Беркли. В 1967 г. стал сотрудником Рокфеллеровского университета, заняв должность ассистента, с 1976 г. он профессор.

Kenneth S. Suslick "The Chemical Effects of Ultrasound" (КЕННЕТ С. СУСЛИК «Химические эффекты ультразвука») -- профессор химии Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн. Степень бакалавра получил в Калифорнийском технологическом институте в 1974 г., а степень доктора философии -- в Станфордском университете в 1978 г. Суслику присуждена специальная премия

за развитие науки Национальных институтов здоровья, он -- стипендиат Исследовательского фонда Слоана. В 1986 г. вел научную работу в Оксфордском университете. Помимо звукохимии занимается исследованиями роли металлов в биологических системах.

Christy G Turner "Teeth and Prehistory in Asia" (КРИСТИ Г. ТЕРНЕР «Реконструкция процесса заселения Азии первобытным человеком: одонтологический подход») -- профессор в Университете шт. Аризона, специалист в области одонтологической антропологии. В 1967 г. защитил докторскую диссертацию, посвященную особенностям строения зубов коренных жителей Аляски и Северной Канады. Был сотрудником центра экологических исследований. В сборе данных (по 16 странам) ему оказали содействие многие организации, включая Национальное географическое общество, Национальный научный фонд, Национальную академию наук США, Академию наук СССР и др.

Keith S. Reid-Green "The History of Census Tabulation" (КИТ С. РИД-ГРИН «История переписи населения в США и обработки ее данных») возглавляет отделение современной технологии Экспериментального образовательного центра в Принстоне (шт. Нью-Джерси). До пятнадцатилетнего возраста жил в Англии, затем переехал в США, где получил степень бакалавра в Колорадском университете, а потом степень магистра по вычислительной технике и информации в Университете Ратгерса. В 1984 г. издательство Digital Press выпустило его книгу «Games Computers Play» («Игры, в которые играют компьютеры»). Рид-Грин выражает признательность Ф. Боме из Бюро переписи населения США за помощь, оказанную при написании настоящей статьи.

ЭССЕ: William T. Golden (Уильям Т. Голден) -- редактор недавно изданной книги «Научно-техническая консультативная система для президента, конгресса и судебных органов». Голден играл главную роль в организации первого научно-технического консультативного комитета и назначении советника по науке при президенте Трумэне. В настоящее время является президентом Нью-Йоркской академии наук, а также заведует финансовым отделом Американской ассоциации содействия развитию науки.

О советской космической программе *

С 1971 г. космонавты провели в общей сложности более 5600 суток на борту советских орбитальных космических станций. Вместе с тем пилотируемые полеты составляют лишь небольшую часть обширной программы космических исследований, осуществляемой Советским Союзом

ПИТЕР М. БЭН КС, САЛЛ И К. РАЙД

В НОЯБРЕ прошлого года Советский Союз произвел запуск космического корабля многоцелевого использования «Буран» с космодрома Байконур, расположенного близ Тюратама. «Буран», выведенный на орбиту спомощью самой большой в мире ракеты-носителя «Энергия», два раза облетел Землю, затем строго по намеченной программе вошел в нижние слои атмосферы и совершил автоматическую посадку на взлетно-посадочной полосе в одном из районов Средней Азии. На корабле не было ни экипажа, ни спутников и на нем не проводились какие-либо эксперименты, однако его первый кратковременный полет явился блестящим техническим достижением Советского Союза.

«Энергия» была 77-ой по счету советской ракетой, стартовавшей в космос в 1988 г. Первоначально запуск «Бурана» намечался на 29 октября прошлого года, однако на стартовой площадке отсчет времени был остановлен на 51-й секунде до пуска, когда устройство системы наведения не отошло от корпуса «Энергию». В течение последующих трех недель, пока шла подготовка «Бурана» ко второй попытке запуска, Советский Союз продолжал осуществлять свою космическую Программу. За это время советская орбитальная космическая станция «Мир» облетела землю 330 раз, два космонавта на ее борту побили прежний рекорд продолжительности пребывания человека в космосе, составлявший 326 дней, а советский аппарат «Фобос» продолжал приближаться к Марсу.

«Буран» и его огромная ракета-но-

В статье американских авторов содержится ряд неточностей, касающихся числа пусков советских ракет, численности состава Экипажей космонавтов, целей некоторых программ пилотируемых полетов и др. *Прим. ред.*

ситель - это новая страница обширной космической программы Советского Союза, в соответствии с которой с 1971 г. было успешно запущено восемь орбитальных космических станций и поддерживалось регулярное, если не постоянное пребывание человека в космосе на протяжении последних 12 лет. И все это составляет лишь небольшую часть указанной программы.

За последние три десятилетия Советский Союз, используя существующую технологию и «эволюционный» подход, создал инфраструктуру и средства, обеспечивающие активное присутствие человека в космосе. Масштабы этой программы лишь только сейчас начинают по достоинству оцениваться на Западе.

ДО 1985 г. многое из того, что становилось известным о советской космической программе, было результатом скрупулезного сбора информации небольшой группы специальных наблюдателей в Европе и США. Из официальных советских источников поступало очень мало сведений, поэтому правительство США не раскрывало того, что становилось ему известно по своим каналам. В результате многие оставались в неведении относительно важных достижений Советского Союза в деле освоения космоса.

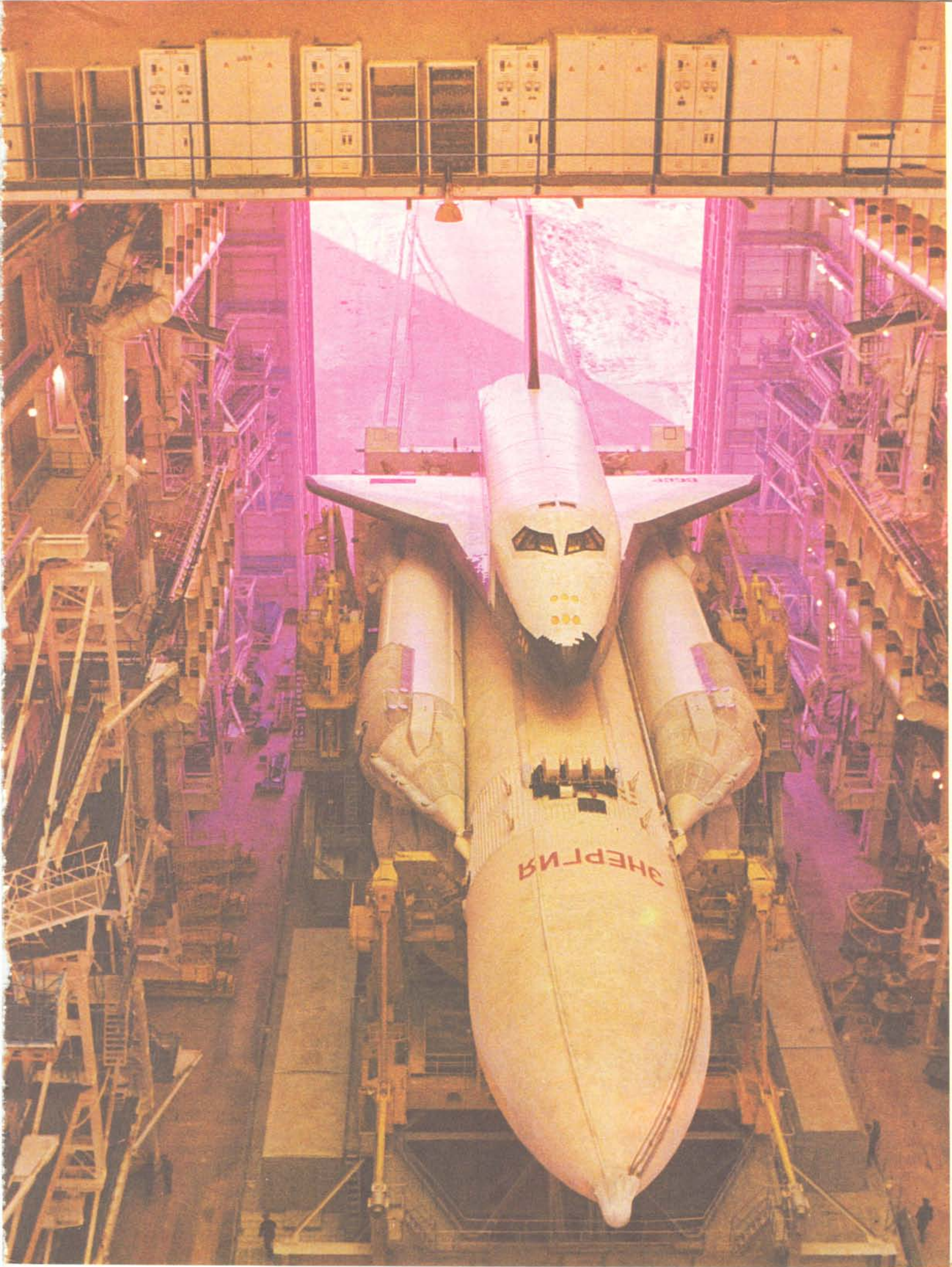
Ныне ситуация совершенно иная, по крайней мере в области невоенных космических исследований. В последние три года Советский Союз раскрыл многие стороны своей космической деятельности. Стали известны обстоятельства гибели космонавта Юрия Гагарина в авиационной катастрофе в 1968 г. и важные технические характеристики первой советской ракеты-носителя «Протон», предназначенной исключительно для космической программы. Был от-

крыт доступ западным посетителям в Центр подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина в Звездном городке, заранее сообщалось о готовившихся запусках нескольких космических аппаратов, включая «Буран», по советскому телевидению передавались даже прямые репортажи об этих запусках. Осенью прошлого года, когда два советских космонавта оказались в критической ситуации при возвращении на землю, Советский Союз решал эту проблему на глазах у всего мира.

То, что стало известно о советских космических исследованиях благодаря политике гласности, предстает как хорошо финансируемая национальная программа, масштабы которой поражают воображение. В 1987 г. в Советском Союзе было произведено 86070 пусков ракет в космос (по отношению к США во всем мире). В тот год США произвели пусков всего 8 ракет одноразового использования, а СССР - 95. И этот год не был исключением. С середины 70-х годов Советский Союз производил пусков в среднем двух ракет в неделю.

Несмотря на то что США и СССР запускают в космос разное количество ракет в год, эти страны имеют примерно одинаковое число действующих спутников, которые выполняют по существу одни и те же задачи. По оценкам западных специалистов, 80% всех пусков ракет в космос, про-

СОВЕТСКИЙ КОРАБЛЬ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «БУРАН» вместе с ракетой-носителем «Энергия» в монтажно-испытательном корпусе, перед тем как совершить свой первый полет в ноябре прошлого года. Внешне корабль похож на американский шаттл. «Буран» совершил полет в автоматическом режиме. У Советского Союза есть по крайней мере еще один корабль многоцелевого использования, находящийся в стадии производства.



изводимых Советским Союзом, связаны в той или иной степени с программами обеспечения национальной безопасности страны: эти пуски производятся для вывода на орбиту разведывательных спутников, спутников связи, навигационных спутников и спутников для дальнего обнаружения ракет. Примерно 10% пусков связаны с доставкой космонавтов и грузов на орбитальную космическую станцию. Остальное приходится на запуск автоматических научно-исследовательских спутников, гражданских спутников связи и навигационных спутников.

Одной из наиболее сильных сторон советской космической программы является разнообразие и надежность используемых ракет. Помимо новой ракеты-носителя «Энергия» у Советского Союза сейчас имеется 9 типов ракет. Шесть из них - это прямые «потомки советских баллистических ракет: они используются уже в течение нескольких десятилетий. Все типы ракет, кроме «Энергии», оснащены обычными жидкостными двигателями, в «Энергии» же используется наиболее эффективное на сегодняшний день топливо: смесь жидкого водорода и кислорода. Советский Союз редко отказывается от ракет, зарекомендовавших себя как надежные, поэтому у него накоплен значительный опыт использования ракет старшего поколения.

Ракета СЛ-4 используется в космической программе вот уже почти 25 лет. С 1964 г. было произведено более 900 пусков ракет этого типа, включая 43 в 1987 г.; сейчас, как и прежде,

лишь они доставляют космонавтов на орбиту. Ракеты серии «Протон», СЛ-12 и СЛ-13 были впервые испытаны в 1965 г., с тех пор произведено более 115 пусков этих ракет. Они способны выводить на околоземную орбиту больший груз, чем любая из нынешних ракет США одноразового применения. Как СЛ-4, так и серия «Протон» являются составной частью программы освоения космоса с помощью космических станций: СЛ-4 служит для доставки на станцию космонавтов, а ракеты серии «Протон» - модулей на орбиту для стыковки с космической станцией и расширения ее возможностей.

Хотя на долю ракет, созданных в 60-х годах, приходится основная часть космических перевозок, разработка в Советском Союзе новых ракет не прекращается. В 1985 г. была создана ракета СЛ-16, а в 1987 г. впервые испытана ракета «Энергия» - способная выводить на околоземную орбиту груз массой 100 тыс. кг. Ее конструкция отличается значительной гибкостью и она может нести либо корабль многоразового использования, либо большой грузовой контейнер.

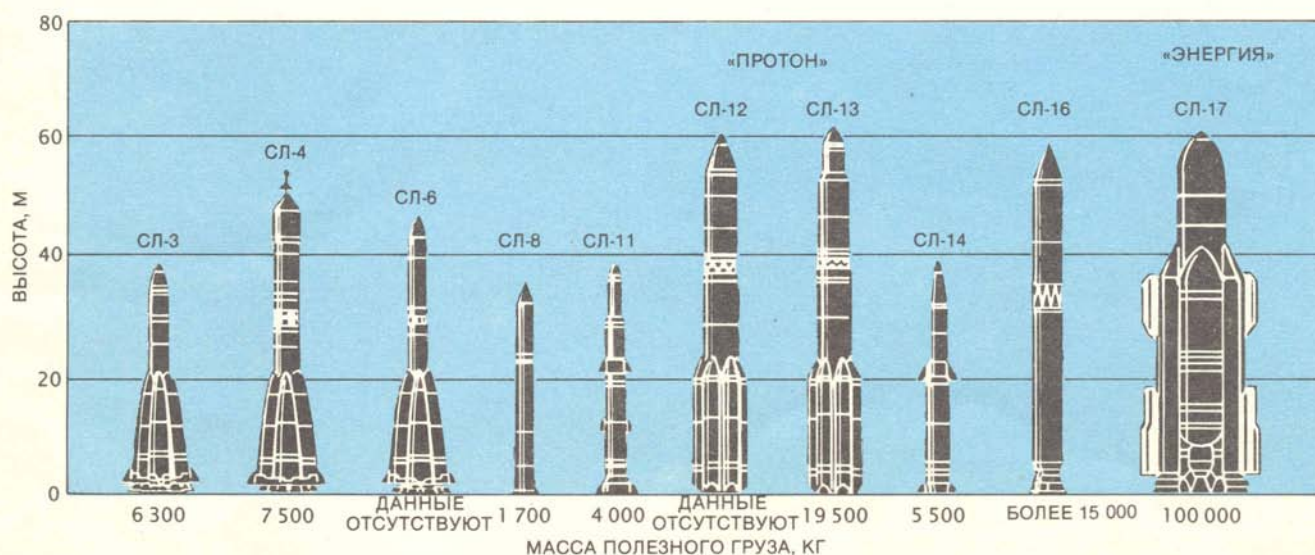
«Энергия» многое заимствовала от СЛ-16, например четыре двигателя первой ступени СЛ-16 использованы на боковых блоках. Это характерно для стратегии конструкторских разработок в советской космической программе: системы более мощные и сложные обычно рождаются из сравнительно небольших систем, зарекомендовавших себя как надежные.

В Советском Союзе два главных

космодрома: Байконур в Средней Азии и Плесецк, расположенный примерно в 800 км от Москвы, близ Белого моря. В 1987 г. с Байконура и Плесецка стартовали по 47 ракет. Запуск ракет с космонавтами и всего, что связано с космическими станциями, осуществляется только с Байконура; в 1987 г. пуск этих ракет составил лишь четвертую часть всех пусков, произведенных в тот год с Байконура.

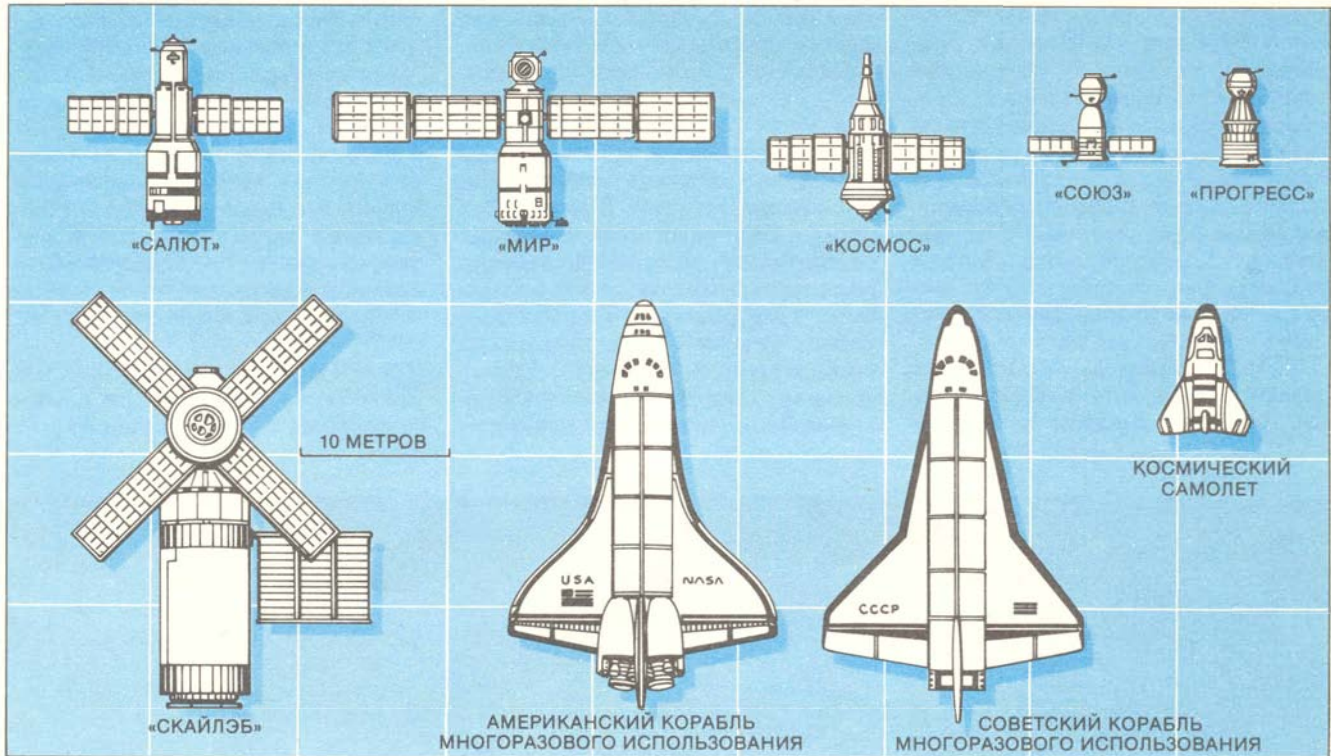
Для осуществления своей программы освоения космоса с помощью космических станций (далее для краткости эта программа будет называться «космическая станция. - *Ред.*) Советский Союз обладает широкой сетью базисных средств, обеспечивающих разработку и производство ракет и спутников, создание оборудования для проведения исследований в космосе, подготовку космонавтов, пуск ракет и управление полетами. Эта сеть включает в себя многочисленные организации, где работают опытные специалисты. Хотя по американским стандартам технология в СССР развивается медленными темпами, после 30 лет целенаправленных усилий в этой стране была создана надежная система космических сообщений, способная легко обслуживать станцию «Мир», что является одной из многих задач этой системы.

ЭРА ОСВОЕНИЯ космоса началась в 1957 г. с запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Земли. Хотя американские и советские специалисты еще задолго до этого оценили стратегические преимуще-



РАКЕТЫ-НОСИТЕЛИ, которые Советский Союз использует (или использовал) в своей космической программе. Самая новая и мощная ракета-носитель - это СЛ-17 (с американской аббревиатуры - SL-17. - *Ред.*) «Энергия». Для осу-

ществления программы «космическая станция» применяются ракеты СЛ-4 и «Протон», созданные в начале 60-х годов. С того времени пуск ракет СЛ-4 производился более 900 раз, а ракет «Протон» - более 100 раз.



СОВЕТСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ, которые сыграли (или сыграют) важную роль в осуществлении программы «космическая станция», изображены

вместе с американской космической станцией «Скайлэб» и шаттлом. Советский Союз пока не признает, что у него имеется космический самолет (справа внизу).

шества ракет и орбитальных спутников, именно запуск первого спутника заставил осознать, насколько важным является доступ в космос. После этого события возникло представление о Советском Союзе как о технически развитой сверхдержаве. И хотя это было далеко от действительности, такое представление усилило тревогу американцев, отразил ось на политических решениях США и привело к соревнованию между двумя странами в области исследования космоса.

Первые космические программы как США, так и СССР были нацелены в основном на укрепление национальной безопасности и престижа страны. Средства массовой информации сообщали о полетах советских космонавтов и американских астронавтов и эти полеты вскоре стали мерилом технической мощи каждой из этих стран. Начало 60-х годов отмечено крупными достижениями Советского Союза в освоении космоса, которые можно охарактеризовать словом «~первый» первый человек в космосе (Юрий Гагарин), первая женщина-космонавт (Валентина Терешкова), первый выход человека в открытый космос.

Президент Джон Кеннеди активизировал осуществление американской космической программы и поразил воображение всего мира, заявив, что до окончания 60-х годов американцы

высадятся на Луну. Патриотический призыв Кеннеди и деятельность администрации Линдона Джонсона стимулировали научно-технические разработки в области освоения космоса, а также осуществление программы «Меркурий» и разработку программы «Джемини» и «Аполлон»

Для полета на Луну требовались новые средства доставки и тщательная подготовка астронавтов. Пока астронавты отрабатывали процессы, сближения и стыковки, а медики изучали воздействие невесомости на человека, конструкторы создавали и испытывали тяжелую ракету-носитель «Сатурн», а ученые исследовали лунную поверхность с помощью космических летательных аппаратов.

В тот же самый период Советский Союз также предпринимал усилия, конечной целью которых была высадка космонавтов на Луну, хотя официально об этом нигде не сообщалось. То, что СССР был заинтересован в осуществлении этого проекта, стало очевидным уже в 1959 г., когда к Луне были запущены три советские автоматические межпланетные станции (АМС): «Луна-1», «Луна-2» и «Луна-3», причем с борта последней была сфотографирована обратная сторона Луны. Всего же для исследования Луны было запущено более 20 АМС «Луна».

К середине 60-х годов в СССР был создан космический корабль «Союз» - советский эквивалент «Аполлона». С помощью этого универсального космического аппарата советские космонавты отрабатывали процессы управления, сближения и стыковки. Однако в то время у Советского Союза не было мощных ракет-носителей, подобных американскому «Сатурну-5», способному выводить на околоземную орбиту груз массой около 140 тыс. кг. Запуск «Аполлона-11» и высадка американских астронавтов на Луну в 1969 г. развеяли надежду СССР первыми посетить естественный спутник Земли.

Хотя Советский Союз продолжал исследование Луны с помощью автоматических аппаратов до 1976 г., он отказался от попыток запуска туда космонавтов. Тем временем советские космонавты продолжали работать на околоземных орбитах. В 1969 г. было запущено пять космических кораблей «Союз», а в 1970 г. два советских космонавта провели на орбите 18 суток, побив рекорд продолжительности пребывания в космосе, установленный американскими астронавтами на корабле «Джемини».

Между тем США и СССР продолжали создание технологии и инфраструктуры для осуществления своих

космических программ, продиктованных интересами национальной безопасности. Различия в технологических возможностях привели к тому, что эти страны пошли разными путями в освоении космоса. США создавали все более надежные спутники, которые обладали большими функциональными возможностями и не требовали столь частой замены, как старые спутники, поэтому в конце 60-х годов число пусков американских ракет в космос стало снижаться.

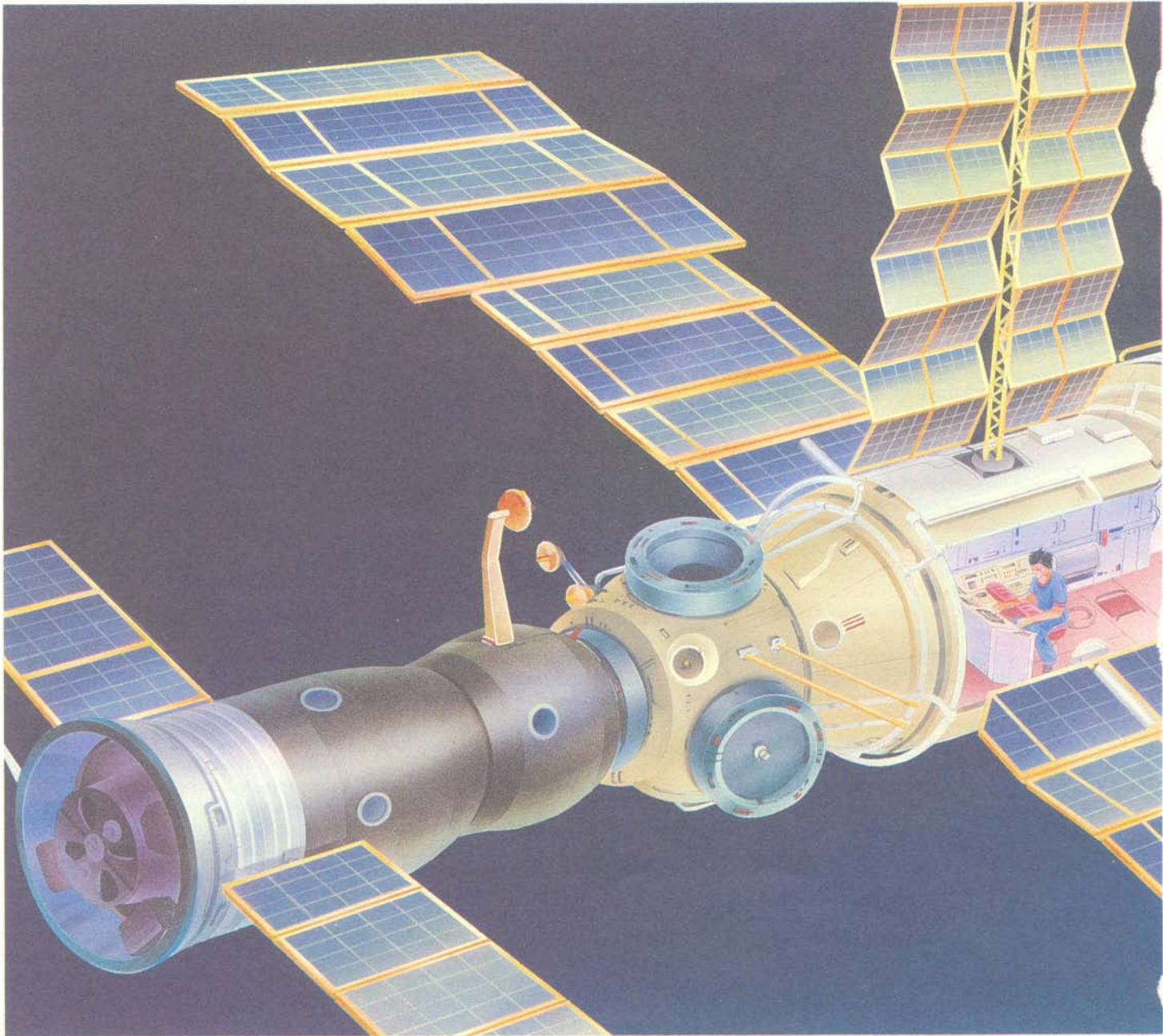
В СССР спутниковые средства развивались более медленными темпами. Советские спутники были менее

надежными и обладали меньшими функциональными возможностями. Поэтому СССР был вынужден запускать их чаще. Именно в то время в Советском Союзе началась разработка долговременной и динамичной программы создания орбитальных космических станций. В начале 70-х годов в США полным ходом велось осуществление успешной программы «Аполлон», и необходимость в разработке гражданских и военных программ запуска ракет постепенно уменьшалась. В Советском Союзе, наоборот, продолжалось создание широкой инфраструктуры для освое-

ния космоса, в первую очередь для нужд национальной безопасности.

Кроме того, Советский Союз продолжал осуществлять программу пилотируемых космических полетов. Космические корабли «Союз» и ракета «Протон», предназначенные для запуска космонавтов на Луну, стали составной частью программы, ставившей своей целью обеспечение безопасной и эффективной деятельности человека на околоземной орбите.

В АПРЕЛЕ 1971 г. Советский Союз произвел запуск первой в мире космической станции «Салют-1» с по-



ОРБИТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС «МИР» имеет конфигурацию универсальной космической станции. Корабль «Союз», доставивший космонав-

тов на станцию, «пришвартовался» к «причалу», имеющему пять стыковочных узлов. Четыре из них еще остаются свободными (слева). Модуль «Квант» стыковался со станцией

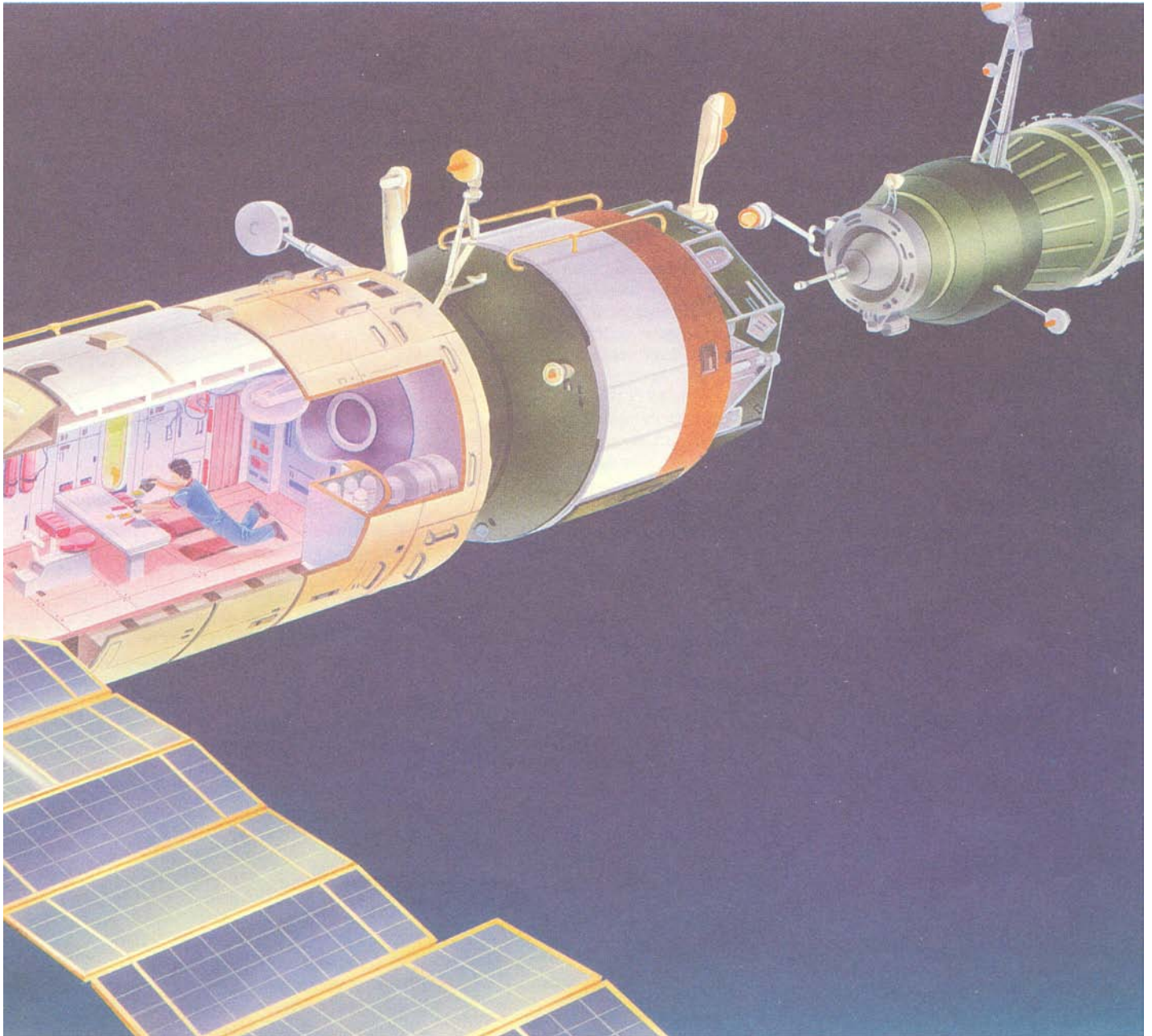
мощью ракеты «Протон». Через 4 дня ракета СЛ-4 вывела на околоземную орбиту корабль «Союз-1» с двумя космонавтами на борту. Программа предусматривала стыковку «Союза» с космической станцией, переход в нее космонавтов вместе с небольшим грузом, затем расстыковку и возвращение космонавтов на Землю. Прimitивная, по американским стандартам, станция «Салют-1» была тем не менее крупным достижением на пути к созданию систем, обеспечивающих длительное пребывание человека в космосе.

К сожалению, первая попытка ос-

воить станцию «Салют-1» была неудачной: после стыковки с ней корабля «Союз-10» космонавты не смогли открыть люк станции и были вынуждены вернуться на Землю. Спустя шесть недель стартовал корабль «Союз-11» с тремя космонавтами на борту, который произвел стыковку со станцией. Поначалу выполнение программы шло успешно - после стыковки космонавты перешли в станцию и провели на ней 23 дня, установив тем самым новый рекорд продолжительности пребывания человека в космосе. Однако полет «Союза-11» закончился трагически: при возвращении на зем-

лю произошла разгерметизация корабля и космонавты погибли. После этой катастрофы СССР на 27 месяцев прервал запуски кораблей «Союз»: за это время были внесены значительные изменения в его конструкцию и было принято решение, чтобы во время старта и возвращения на землю космонавты были одеты в скафандр, что соблюдается и поныне.

Во время указанного 27-месячного перерыва станция «Салют-1» была удалена с орбиты. Две попытки ее замены, предпринятые Советским Союзом через 2 года, оказались неудачными. Станцию «Салют-2», выведен-



с противоположной стороны. Автоматический грузовой корабль «Прогресс» приближается к «Кванту», чтобы совершить стыковку с ним (справа). На станции «Мир» созда-

ны условия для работы постоянного экипажа из двух человек, кроме того, на ней может находиться экипаж посещения, состоящий самое большее из четырех человек.

ную на орбиту в апреле 1973 г., не удалось стабилизировать, и она в конце концов распалась на орбите. После запуска другой станции в мае того же года, вероятно, возникли проблемы, связанные с контролем высоты, в результате станция израсходовала все свое топливо.

С июня 1974 г. по июнь 1976 г. были выведены на орбиту три станции «Салют». Программы запуска и эксплуатации этих станций были более успешными. Хотя и с этими станциями возникли существенные проблемы, на каждой из них побывал по крайней мере один экипаж космонавтов. Станции функционировали в пилотируемом режиме лишь 10-15% времени нахождения на орбите. На их борту космонавты проводили различные эксперименты и наблюдения, многие из которых, как полагают западные специалисты, выполнялись по заказу военных.

Четыре станции «Салют», кроме того, были запущены между 1971 и 1976 гг. и на борту которых работали космонавты, могут рассматриваться как первое поколение советских космических станций. Их размер был невелик: жилое пространство составляло примерно 100 м³, а масса вместе с «Союзом» - 26 тыс. кг. На станции приходилось экономить электроэнергию, а условия для космонавтов были спартанскими. Кроме того, станции имели только один стыковочный узел, а поскольку он был занят «Союзом», пока космонавты были на борту станции, возможность доставки дополнительных грузов и топлива отсутствовала. Каждый раз «Союз» должен был брать с собой достаточное количество топлива, пищи и воды для экипажа космонавтов из 2-3 че-

ловек, которые должны были работать на борту станции.

Даже при таких условиях Советский Союз накопил значительный опыт работы на низкоорбитальных станциях. Тем временем США также проводили эксперименты с космическими станциями. В 1973 г. американская ракета «Сатурн-5» вывела околоземную орбиту космическую станцию «Скайлэб», созданную для осуществления программы «Аполлон».

По сравнению с «Скайлэб» была гораздо удобнее: ее жилое пространство превышало 350 м³, а масса вместе с «Аполлоном» составляла 90 тыс. кг. На «Скайлэбе» побывали три экипажа космонавтов из трех человек, и их полет длился 28, 59 и 84 дня. Астронавты выполнили ряд экспериментов по космической медицине и биологии, а также связанных с изучением свойств различных материалов, кроме того, они проводили астрономические наблюдения, включая наблюдения за Солнцем. Хотя «Скайлэб» имел два стыковочных узла, попыток доставить на станцию дополнительный груз не предпринималось. В 1974 г. «Скайлэб» был законсервирован, а спустя пять лет, вследствие усилившегося аэродинамического торможения, он потерял высоту, вошел в плотные слои атмосферы и сгорел над Австралией.

В сентябре 1977 г. Советский Союз вывел на орбиту станцию второго поколения - «Салют-6». Новая станция во многом походила на предыдущие, однако имела ряд конструктивных усовершенствований, самое важное из которых состояло в добавлении второго осевого «причала для стыковки». Благодаря этому к станции

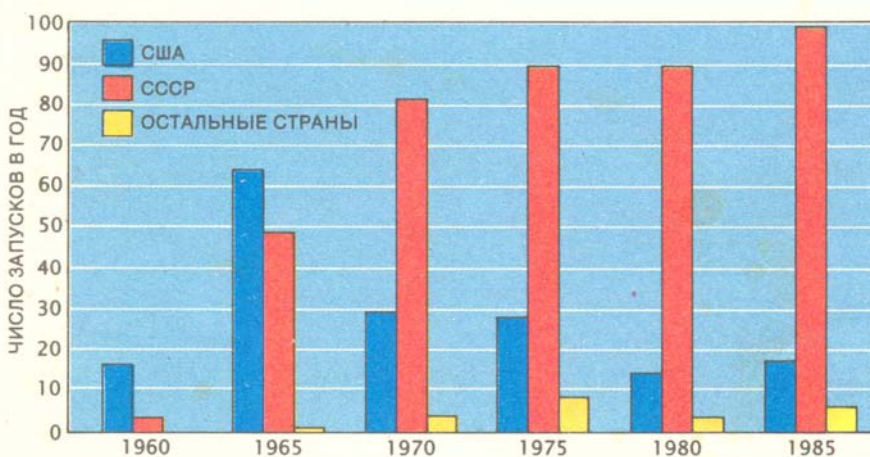
могли причаливать два корабля одновременно и доставлять груз и топливо, когда на ней уже находится экипаж.

В 1978 г. в Советском Союзе был произведен запуск грузового космического корабля «Прогресс», который произвел стыковку со станцией «Салют-6». «Прогресс» представлял собой модификацию «Союза» и был выведен на орбиту также с помощью ракеты СЛ-4. Управление его полетом осуществлялось с Земли. После стыковки перекачка топлива и других полезных материалов с «Прогресса» на станцию «Салют» производилась автоматически. «Прогресс» и поныне остается основным средством доставки грузов и топлива на советские космические станции.

Автоматическая доставка топлива и оборудования на «Салют» с помощью кораблей «Прогресс» позволила увеличить время пребывания космонавтов на станции. Первый экипаж, посетивший станцию «Салют-6» провёл на орбите 96 суток, побив как предыдущий советский, так и американский рекорды продолжительности пребывания человека в космосе, составившие 63 и 84 дня соответственно. В 1982 г. «Салют-6» был заменен «Салютом-7», и время пребывания в космосе советских космонавтов продолжало увеличиваться (96, 140, 175, 185, 75, 211, 150 и, наконец, 237 суток). В общей сложности полет станций «Салют-6» и «Салют-7» в пилотируемом режиме составил около 45% их общего времени полета, на них побывали 11 экипажей длительного и 15 кратковременного пребывания в космосе, включая 10 иностранных космонавтов.

Корабли «Союз» и «Прогресс» совершили стыковку с «Салютом-7» 52 раза. Операции автоматического сближения, стыковки и дозаправки на орбите стали обычным делом. Советский Союз создал в тот период корабль многоцелевого назначения «Союз-Т», совершивший четыре полета. Этот корабль мог использоваться для транспортировки грузов, расширения возможностей космических станций, а также в качестве космического буксира. «Салют-7» был оборудован усовершенствованным стыковочным устройством и дополнительными панелями солнечных батарей. Очевидно, что опыт помог СССР продвигаться вперед.

КОСМИЧЕСКАЯ станция «Мир», выведенная на орбиту в феврале 1986 г., представляет собой третье поколение советских космических станций. «Генеалогия» станции «Мир» очевидна - она во многом напоминает «Салют», однако благодаря своей гораздо более совершенной конструкции «Мир» качественно от-



ЧИСЛО ЗАПУСКОВ В КОСМОС летательных аппаратов, осуществляемых ежегодно США и СССР, значительно изменилось с 1960 г. В настоящее время Советский Союз производит более 85% запусков (по отношению к запускам во всем мире). Поскольку срок службы советских спутников меньше, чем американских, обе стороны имеют сравнимое число действующих спутников. Китай, Япония и Европейское космическое агентство запускают несколько спутников в год.

личается от своих предшественников. На станции используется современная система управления на базе восьми компьютеров. Работа большинства систем, обеспечивающих необходимые условия на станции и требуемую ориентацию в пространстве, контролируется автоматически. «Мир» лучше энергообеспечен за счет применения более эффективных фотоэлектрических панелей. Связь космонавтов с Центром управления полетом, расположенным недалеко от Москвы, может осуществляться через советский спутник связи или обычным способом - через суда, следящие за полетом, и наземные станции, расположенные на территории СССР.

Наиболее значительное усовершенствование состояло в добавлении пяти стыковочных узлов с одной стороны станции. Это существенно увеличило гибкость базовой конструкции «Салюта» и расширило возможности программы «космическая станция». Имея пять стыковочных узлов в своей передней части и одно - в задней, станция «Мир» может одновременно принимать до 6 космических кораблей. Последняя из разновидностей «Союза» - «Союз-ТМ», грузозаправленные корабли «Прогресс», а также многоцелевые корабли «Космос» - все они могут совершать стыковку с «Миром».

Советский Союз начал проводить эксперименты по расширению потенциальных возможностей «Мира» в апреле 1987 г., когда к этой станции был добавлен астрофизический модуль «Квант» массой 11 тыс. кг. Модуль был выведен на околоземную орбиту ракетой-носителем «Протон». Стыковка «Кванта» с «Миром» производилась, однако, с отклонением от заданной программы: во время первой попытки сблизиться со станцией «Квант» прошел от нее в 10 метрах.

После второй попытки было осуществлено сцепление «Кванта» со станцией, однако жесткой стыковки двух аппаратов не произошло. Наконец, была принята крайняя мера: космонавты, находившиеся на станции «Мир», надев скафандры, вышли открытый космос и осмотрели стыковочные механизмы. Они обнаружили, что жесткой стыковке мешал полиэтиленовый мешок, попавший в стыковочное устройство. Космонавты доложили об этом в Центр управления полетом, затем вынули мешок, после чего на их глазах по команде с Земли произошло полное соединение модуля со станцией.

ЗАПУСК и успешное функционирование «Кванта» имело большое значение. Впервые советская программа

«космическая станция», в данном случае научные эксперименты на «Кванте», привлекла значительный интерес западных специалистов. Главной частью научной аппаратуры, установленной на «Кванте», является астрофизическая система «Рентген», которая была создана на основе сотрудничества специалистов из СССР и Западной Европы.

Четыре из пяти телескопов системы «Рентген» были предоставлены известными астрофизическими группами из Великобритании, ФРГ, Нидерландов и Швейцарии. Высококачественные приборы, которые первоначально предполагалось использовать на спутниках НАСА и Европейского космического агентства, значительно увеличивают научную ценность «Кванта» и станции «Мир». Действительно, вскоре после того, как приборы «Рентгена» стали работать на «Кванте», они позволили получить ценные научные данные, в частности впервые были сделаны наблюдения в рентгеновском диапазоне сверхновой SN 1987A.

Однако «Квант» - это не только астрофизический модуль. На нем установлены гироскопы, помогающие станции «Мир» маневрировать или сохранять необходимую ориентацию в пространстве. Раньше советские станции использовали для этой цели маневровые ракетные двигатели, расходующие топливо. Гироскопы позволяют экономить топливо, однако потребляют много электроэнергии. Мощность электроэнергетической системы станции «Мир» равна в среднем 12 кВт, это больше чем на предыдущих советских станциях, однако составляет лишь половину электроэнергии, вырабатываемой тремя топливными агрегатами на американском шаттле.

В этом году к станции «Мир» будут добавлены новые крупные модули. В апреле планируется стыковка с ней 12,5-метрового модуля обслуживания массой 20 000 кг, который будет оснащен новыми панелями солнечных батарей и люком диаметром 1 м для стыковки с небольшим пилотируемым кораблем, предназначенным для выполнения работ вне станции. Затем будут добавлены модули для проведения технологических исследований и наблюдений земной поверхности.

Советский Союз рассматривает как одну из важнейших задач увеличение времени, в течение которого космонавты могут выдерживать невесомость. В настоящее время советские специалисты, вероятно, накапливают данные о воздействии невесомости на организм человека.

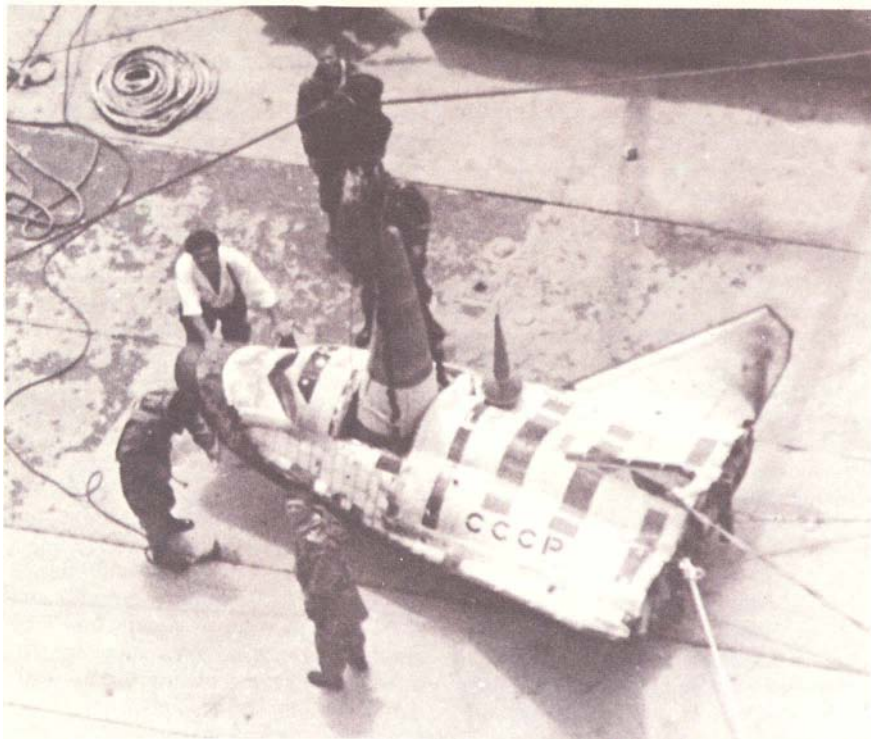
Учитывая, что физиологические и социальные факторы могут влиять на

слышно и работоспособность космонавтов, конструкторы создали «Мир» более удобным по сравнению с его предшественниками. В его жилом пространстве меньше громоздкой аппаратуры, и для каждого из двух космонавтов, постоянно живущих на станции, предусмотрена небольшая кабина с иллюминатором, где имеется спальный мешок. Космонавтам регулярно пересылают видео- и звукозаписи, кроме того, во время частых сеансов связи с Землей они могут беседовать со своими коллегами, врачами, членами семьи и друзьями.

Рабочий день у космонавтов весьма насыщенный, и их со всех сторон окружает аппаратура. Владимир Шаталов, руководитель Центра подготовки космонавтов в Звездном городке, сам в прошлом космонавт, заметил однажды, что «условия жизни на борту станции намного более суровые, чем, скажем, на подводной лодке». Можно по достоинству оценить личные качества Владимира Титова и Мусы Манарова, двух космонавтов, которые вернулись на Землю в декабре прошлого года, проведя год на борту станции «Мир».

КАК СЛЕДУЕТ из вышесказанного, Советский Союз активно осуществляет хорошо организованную программу «космическая станция», используя технологию, которая по западным меркам не является самой передовой. В соответствии с этой программой поддерживается практически постоянное присутствие человека в космосе, и в настоящее время СССР располагает хорошо налаженной системой материально-технического обеспечения космической станции, позволяющей выполнять в космосе сложные задачи. Впечатляет транспортный поток кораблей с экипажами космонавтов и грузами на борту, устремляющихся к станции «Мир» и обратно на Землю. Компоненты советской программы «космическая станция» образуют прочную систему: они надежны, существуют в необходимом количестве и выполняют роль «опорных элементов» в осуществлении все более широкомасштабных проектов.

Вместе с тем названная программа не представляет чрезмерную нагрузку для советских наземных систем и ракетных средств. Из примерно 50 ракет СЛ-4 и «Протон», ежегодно запускаемых Советским Союзом, на программу «Космическая станция» требуется лишь 8-12 ракет в год. В противоположность этому в период сборки значительно более крупной американской космической станции «Фридом» в середине 90-х годов потребуются произвести примерно 20 запусков



МОДЕЛЬ КОСМИЧЕСКОГО САМОЛЕТА, выполненная в меньшем масштабе, была сфотографирована с самолета австралийских ВВС, когда он пролетал над советским судном, находившимся в Индийском океане. Люди на палубе судна достали модель из воды, после того как она приводнилась, совершив испытательный полет. Действительный космический самолет, вероятно, в 2-3 раза больше, чем эта модель.

усилия имели небольшой успех. Однако их нельзя недооценивать. Коммерческая сторона советской космической программы становится все более привлекательной для многих ученых, фирм и стран, которые обычно полагались на американскую космическую программу.

ЧТО МОЖНО предположить в отношении будущего советской программы «космическая станция»? Во-первых, очевидно, что Советский Союз будет продолжать совершенствовать свою систему доставки в космос космонавтов и грузов. Пример этому - корабль многоразового использования «Буран». Хотя создание «Бурана» на первом взгляд может показаться отступлением Советского Союза от своего «эволюционного» подхода, этот корабль будет использоваться для укрепления существующей транспортной системы, а не для ее замены. Например, «Буран» сможет доставлять крупные грузы из космоса на Землю, что прежде для СССР было невозможно. Вообще этот корабль будет одним из элементов советской космической программы, а не ее центральным звеном.

Еще одним добавлением к советскому комплексу космических средств является небольшой космический самолет многоразового использования. Советские официальные лица еще не признали тот факт, что у СССР есть такой самолет. Однако его существование было обнаружено несколько лет назад, когда с самолета австралийских ВВС, пролетавшего над Индийским океаном, был сделан снимок модели космического самолета, выполненной в уменьшенном масштабе. На снимке модель видна на палубе советского судна после совершения ею испытательного полета!

Западные специалисты полагают, что для запуска космического самолета на околоземную орбиту может использоваться ракета СЛ-16; на борту самолета может находиться экипаж из 2-3 человек и совсем небольшой груз; самолет, вероятно, способен производить посадку на стандартной взлетно-посадочной полосе. Он может также использоваться для доставки людей с одного космического объекта на другой, для осмотра спутников и в качестве оперативного спасательного средства.

Недавно Франция убедила Европейское космическое агентство разработать подобный аппарат; самолет, ко-

* На самом деле это была одна из экспериментальных моделей «Бурана» (см. статью: К. Васильченко, Г. Ложино-Лозинский, Г. Свищев. Путь к «Бурану», «Правда», 24 ноября 1988г. - *Прим. ред.*

шаттла. Поскольку автоматическая доставка грузов и топлива на станцию «Фридом» не планируется, то после завершения ее строительства необходимо будет посылать к ней 5-7 шаттлов в год. Такое число полетов составляет значительную часть из 12-14 ежегодно планируемых полетов шаттлов.

Транспортная система, связывающая космическую станцию «Мир» с землей и включающая корабли «Союз» для доставки космонавтов на станцию и автоматической транспортировки грузов, обеспечивает возможность гибкого планирования полетов и работ на станции. Кроме того, эта система позволяет отдельно контролировать обеспечение безопасности людей. Такая гибкость отсутствует в планах американской программы освоения космоса с помощью космической станции.

Научный потенциал программы «космическая станция» ограничен в СССР не возможностями ракет, а отсутствием в нужном количестве высококачественной научной аппаратуры. Если Советский Союз продолжит привлекать западных специалистов для участия в своей программе, как и в случае «Кванта», то «Мир» и последующие станции могут играть очень важную роль в проведении научных

исследований. В действительности советская космическая программа уже сейчас является средством укрепления научных, экономических и политических связей с западными странами. В течение ряда лет Советский Союз осуществляет программу запуска космонавтов для укрепления связей с различными странами, главным образом социалистическими. По этой программе в космос побывали космонавты из всех стран Восточной Европы, а также с Кубы, Вьетнама, Монголии, Индии, Франции, Сирии и Афганистана.

В настоящее время СССР предоставляет еще большую возможность для участия других стран в своей космической программе и развертывает весьма активную рыночную кампанию. Советские ракеты-носители и услуги по запуску в космос оборудования доступны по более низким ценам, чем на Западе. У Советского Союза можно легко приобрести спутниковые изображения земной поверхности с высоким разрешением (за исключением снимков территории СССР и социалистических стран в Восточной Европе). Советский Союз также предлагает услуги спутниковой связи и даже стала возможной аренда аппаратуры, установленной на борту станции «Мир».

До сих пор советские рыночные

торый будет называться «Гермес», планируется создать в конце 90-х годов. ВВС США исследовали возможность создания космического самолета в начале 60-х годов в соответствии с проектом «Дайна-Сор». Проект был закрыт в 1965 г. из-за его высокой стоимости и в силу того, что не были определены возможности применения самолета в военной космической программе. В настоящее время США не планируют создание летательного аппарата такого типа.

Как сообщают, Советский Союз намерен создать новое поколение космических станций. Если судить по станции «Салют», то эксплуатация «Мира» будет продолжаться, возможно, еще 4 года, после чего ее заменят. «Энергия», несомненно, будет играть одну из главных ролей в советской программе «космическая станция». Возможно, с помощью на орбиту будет выведена основная часть станции нового поколения. Кроме того, Советский Союз дал понять, что «Энергия» сама по себе может быть одной из ступеней еще более крупной ракеты.

Возможно, что советская космическая программа предусматривает дальнейшее увеличение пребывания космонавтов на орбите. Однако, работая на борту крупной станции, находящейся на околоземной орбите, космонавты вовсе не обязательно должны проводить в космосе столько же времени, что Титов и Манаров. По результатам наблюдений советских медиков и биологов, человек наиболее продуктивно работает на борту космической станции, когда продолжительность полета составляет 4-6 месяцев.

Означает ли вышесказанное, что Советский Союз намерен осуществить программу запуска к Марсу космического корабля с космонавтами на борту? Возможно это и так, тем более, что советские специалисты в области освоения космоса все чаще говорят об этой планете. Однако этого определенно не произойдет в ближайшем будущем. Несомненно, что создание такой ракеты, как «Энергия», и изучение влияния невесомости на организм человека необходимы для осуществления этой программы, но не следует забывать, что она гораздо сложнее, чем программа «Аполлон». Для того чтобы вывести на околоземную орбиту подлежащие сборке компоненты корабля, который должен будет стартовать к Марсу, потребуется произвести 15-20 пусков «Энергии», кроме того, необходима будет космическая станция нового поколения, в которой могли бы разместиться рабочие и где можно было бы производить сборку, содержать и испы-

тывать корабль и его системы. Для выполнения этих задач потребуются усилия целого поколения.

ДО НЕДАВНЕГО времени Советский Союз успешно осуществлял свою программу освоения космоса, используя довольно скромные в технологическом отношении средства. Теперь у СССР появились новые средства - ракета «Энергия», ракета многоразового использования и предполагаемый космический самолет, - которые в следующем десятилетии будут выполнять в космосе еще более грандиозные задачи. Успех советской космической программы выглядит еще более внушительным на фоне недавних проблем, с которыми столкнулась американская космическая программа. Вопросы, касающиеся американской национальной космической политики, планов и даже возможностей, обрели еще большую остроту после гибели «Челленджера». Советская космическая

станция уже три года находится на орбите, тогда как цели для американской станции остаются неопределенными, а планы по ее созданию и вводу в действие могут быть реализованы самое раннее через 7 лет. Пока американцы продолжают дискутировать относительно своей программы «космическая станция, в космосе функционирует скромный в технологическом отношении, но в то же время эффективный советский орбитальный комплекс, на котором работают космонавты, и СССР планирует запуск более совершенных аппаратов.

Смогут ли США создать свою собственную, более эффективную космическую технологию, которая позволила бы осуществлять столь же успешную космическую программу? Определенно да и не без тех элементов, которые характерны для советской космической программы: политических и финансовых решений с «дальним прицелом, необходимых для достижения больших целей.

Наука и общество

Все дело в Луне

ФОРМАЦИЯ Элатина, обнажающаяся в виде бежевого песчаника в Южной Австралии, образована осадочными породами, отложившимися в докембрийское время, примерно 700 млн. лет назад. Мощность слоев последовательно то увеличивается, то уменьшается, причем каждый цикл - эти примерно двенадцать слоев. В течение какого интервала времени откладывались эти осадки и чем объясняется периодическое изменение их мощности?

В 1983 г. Дж. Уильямс из Broken Hill Proprietary Company Ltd. в Аделаиде высказывал предположение, что породы формации Элатина отлагались со скоростью один слой в год на дне озера, которое питалось тающими ледниками. Изменения мощности слоев, как считал Уильямс, соответствуют вариациям солнечного излучения на протяжении солнечного цикла длительностью 10-14 лет, во время которого число солнечных пятен то увеличивается, то уменьшается (см. статью: Дж. Уильямс. Солнечный цикл в докембрии, «В мире науки», 1986, № 10).

Впоследствии Уильямс отверг свою гипотезу. Проанализировав докембрийские осадочные образования из другого района Южной Австралии, он сделал вывод, что и на них, и на породы формации Элатина во время их образования оказывала влияние Лу-

на, а не Солнце. Ч. Соннет, С. Финни и К. Уильямс из Аризонского университета, которые также изучали осадочные породы формации Элатина, поддержали новую теорию.

В статье в журнале «Nature» ученые их Аризонского университета пишут, что рассматриваемые осадки отлагались не в озере, а в лагуне или заливе и что каждый слой образовывался не в течение года, а во время одного прилива. Периодичность в двенадцать слоев, очевидно, соответствует не многолетнему солнечному циклу, а полумесячному лунному циклу, в ходе которого высота приливов возрастала и убывала.

Это открытие может служить предостережением для тех, кто пытается установить зависимость между периодическими колебаниями солнечной активности и изменениями климата Земли. Оно показывает также, насколько докембрийская эра отличается от современной эпохи. Основываясь на детальном анализе новых данных, Соннет и его коллеги пришли к выводу, что в ту пору Луна была примерно на 13 000 км ближе к Земле, чем сейчас (в настоящее время среднее расстояние до Луны составляет 384400 километров), и обращалась вокруг Земли быстрее (делая 14, а не 12 оборотов в год). Земля, по-видимому, также вращалась быстрее вокруг оси, так что в земной год укладывалось не 365, а 400 суток.

Гены цветового зрения

Обнаружены гены, которые кодируют белки, обеспечивающие различие цветов в глазу человека. Это дает ключ к пониманию нормального цветового зрения и генетических основ цветовой слепоты

ДЖЕРЕМИ НАТАНС

ЦВЕТА - это улыбки природы, - сказал в XIX в. поэт Ли Хант. Как же наблюдатель отличает одну улыбку от другой? Это обеспечивается наличием в сетчатке глаза трех классов цветоочувствительных Фоторецепторных клеток, называемых колбочками. Клетки разных классов по-разному отвечают на свет, отражаемый цветными объектами, что зависит от того, какой пигмент содержится в клетке - красный, зеленый или синий. Пигменты - это белки, избирательно поглощающие свет в определенном диапазоне видимого спектра: длинноволновом (красном), средневолновом (зеленом) или коротковолновом (синем). В соответствии с относительным количеством поглощенного света в колбочках каждого класса ВОЗНИКАЮТ электрические сигналы, которые передаются из сетчатки в мозг, где в соответствии с общей картиной возбуждения возникает ощущение тех или иных цветовых оттенков.

Роль пигментов в различении цветов известна уже многие десятилетия, однако структура их выяснилась лишь недавно. Я и мои коллеги идентифицировали гены, кодирующие зрительные пигменты, расшифровали их структуру и по ней установили аминокислотные последовательности кодируемых ими белков. Эта работа, выполненная в Медицинской школе Станфордского университета, позволяет в скором времени выделить сами пигменты и выяснить детальный механизм их функционирования. Наши исследования дают также ключ к пониманию эволюции нормального цветового восприятия и того вида цветового зрения, который часто называют цветовой слепотой. (В действительности последний термин неточен, так как совсем не различают цвета лишь очень немногие люди.)

Новые данные проясняют некоторые детали в общей картине цветового зрения, сложившейся за последние несколько столетий. Первый крупный вклад был сделан около 300 лет назад Исааком Ньютоном, открывшим цветовой спектр. Он обнаружил, что

солнечный, или белый свет, проходя через стеклянную призму, раскладывается на непрерывную последовательность цветов - спектр. Ньютон установил также, что каждому углу преломления светового луча отвечает определенный цвет: красный, соответствующий наименьшему преломлению лучей, сменяется оранжевым, желтым, зеленым, голубым и фиолетовым по мере увеличения угла преломления. Каждому углу преломления и, следовательно, каждому чистому цвету соответствует, как теперь известно, определенная длина световой волны.

Ньютон показал, что глаз человека часто не может различить цвета, образованные совершенно разными световыми комбинациями. Он обнаружил, например, что определенные пары преломленного под разными углами света, такие как красный и зеленый, можно смешать таким образом, что получаемое ощущение цвета не отличается от ощущения, производимого чистым третьим цветом (в данном случае желтым), угол преломления которого занимает промежуточное положение по отношению к двум исходным.

Работы Ньютона были продолжены другими исследователями, и в результате к концу XVIII в. обнаружилась трихроматичность цветового зрения. Это означает, что большинство цветов можно получить путем смешивания трех первичных цветов. Первичными могут быть различные монохроматические (чистые) цвета, однако все возможные комбинации первичных цветов состоят из одного длинноволнового, одного средневолнового и одного коротковолнового; когда три первичных цвета смешиваются в одинаковых количествах, они вызывают ощущение белого цвета. Сейчас первичными принято считать красный, зеленый и синий цвета.

Английский врач и Физик Томас Юнг в 1802 г. предположил, что трихроматичность обусловлена особенностями самой физиологии человека. Он полагал, что то, каким воспринимается цвет, определяется соотношением степени возбуждения трех типов

приемников. «Поскольку почти невозможно допустить, что все чувствительные точки сетчатки содержат неограниченное множество частиц, каждая из которых способна вибрировать в унисон с любой возможной световой волной, - отмечал он, - следует предположить, что количество цветов ограничено, например, тремя первичными цветами». Со временем правота Юнга была доказана. Сейчас известно, что существуют приемники - колбочки - трех типов с перекрывающейся, но различной чувствительностью к свету. Например, и красный, и зеленый рецепторы воспринимают оранжевый цвет, однако красный рецептор делает это гораздо эффективнее.

НЕЗАДОЛГО до того, как Юнг выдвинул свою гипотезу, его современник Джон Даль тон привлек внимание исследователей к изучению нарушений цветового зрения. Работа в этом направлении дополняла и обогащала исследования нормального цветового зрения. В своей первой статье, направленной в Манчестерское литературно-философское общество и опубликованной в 1794 г., Дальтон сообщил, что он видит цвета не так, как остальные люди. «Часть изображения, которую остальные называют красной, мне представляется всего лишь чем-то, почти не отличающимся от тени или неравномерности освещения, - говорил он, - Оранжевый, желтый и зеленый я бы назвал различными оттенками желтого». В наше время нарушения способности различать цвета в красно-зеленой области спектра (отличать красный от зеленого), встречающиеся у 8% мужчин и 1% женщин белой расы, часто называют дальтонизмом. Описаны также нарушения способности различать цвета в синей части спектра, однако эта аномалия довольно редкая, поэтому здесь я не буду рассматривать ее подробно.

В середине XIX в. шотландский физик Джеймс Максвелл идентифицировал два типа дальтонизма, предъявляя своим пациентам различные цве-

та и систематически определяя, какие цвета они не могут различать (см. статью: Rushton W. Visual Pigments and Color Blindness, "Scientific American", March, 1975). Следуя гипотезе трех рецепторов Юнга, Максвелл оценивал световую чувствительность трех рецепторов и разделял своих пациентов в соответствии с тем, путали ли они цвета, которые одинаково возбуждали красные и синие или зеленые и синие рецепторы; люди с нормальным цветовым зрением различают такие цвета, по-видимому, благодаря различной степени возбуждения их зеленых и красных рецепторов соответственно. Максвелл справедливо предположил, что у одной группы пациентов отсутствовали зеленые рецепторы, а у другой - красные. Я, как и другие, буду называть эти груп-

пы минус-зелеными (зеленые-) или минус-красными (красные-) дихроматами.

В конце XIX в. английский математик и физик Джон Стретт, более известный под именем Рэлей, ввел в употребление аномалоскоп - приспособление, которому даже в наши дни принадлежит основная роль при проверке цветового зрения. Аномалоскоп проецирует на экран три различных монохроматических пучка света. При определении способности различать цвета в красно-зеленой части спектра на одну половину экрана проецируют смесь дальнего красного и зеленого света, а на другую половину - только желтый свет. Испытуемые подбирают соотношение интенсивности красного и зеленого, а также желтого цвета, пока обе половины

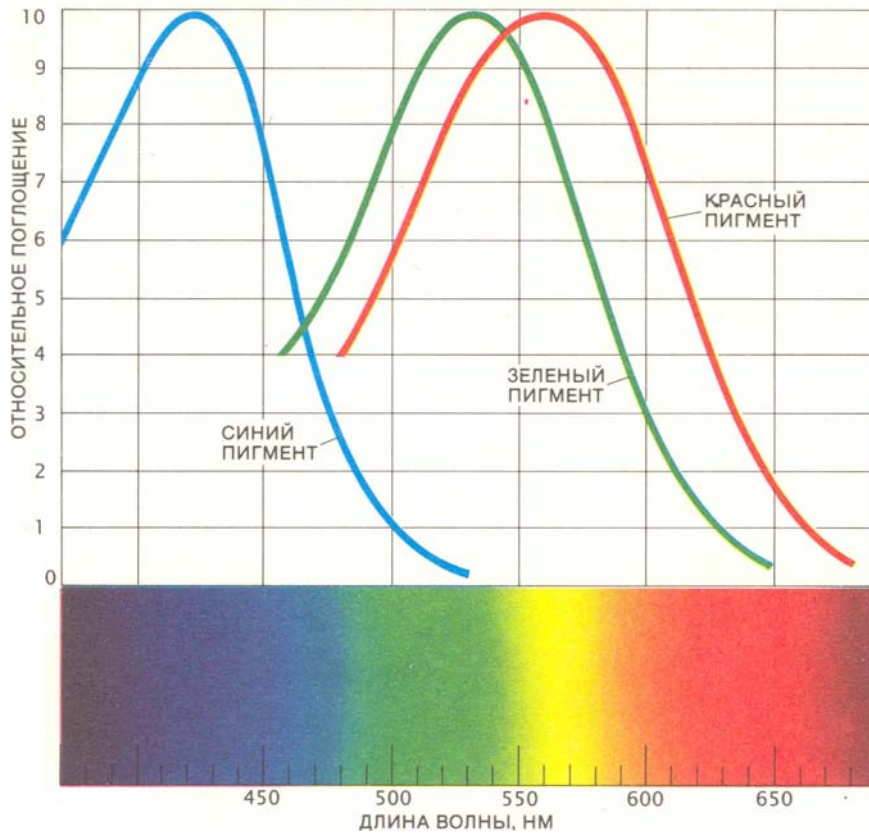
экрана не оказываются подравненными, т. е. воспринимаются как одинаковые по цвету.

Такое устройство аномалоскопа связано с тем, что люди с нормальным цветовым зрением обладают двумя классами приемников света (красным и зеленым), действующих в красно-зеленой области светового спектра. (На синие приемники этот свет не действует.) Люди с нормальным цветовым зрением воспринимают смеси подравненными, когда и красные, и зеленые приемники поглощают одинаковое количество света (которое сейчас определяют как одинаковое число фотонов в секунду) с обеих половин экрана. Подравненной с желтым они считают смесь красного и зеленого в соотношении, которое хорошо воспроизводится у



РАДУГА наблюдается, когда солнечный свет, проходя через капли воды, преломляется и распадается на составляющие его цвета. С анализа этого и подобных явлений Исааком Ньютоном 300 лет назад начались исследования цветового зрения. Теперь известно, что восприятие цвета человека определяется относительным возбуждением трех

классов зрительных пигментов, представляющих собой светопоглощающие белки. Эти белки находятся в сетчатке глаза в колбочках - фоторецепторных клетках, преобразующих поглощаемый свет в электрические сигналы, которые передаются в мозг для интерпретации.



КРИВЫЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ трех зрительных пигментов человека построены по данным, полученным Дж. Баумейкером из Лондонского университета и Х. Дартналлом из Университета в Сассексе. Максимум поглощения синего пигмента лежит в коротковолновой области спектра; зеленый и красный пигменты наиболее чувствительны к средним и длинным волнам. Сами пигменты пока еще не выделены и об их чувствительности судили по поглощению света отдельными колбочками, взятыми из трупного материала.

разных испытуемых (см. рисунок на с. 19). В противоположность этому красные и зеленые дихроматы могут подравнивать желтый цвет с красным и с зеленым цветом по отдельности; они способны также подравнивать смесь красного с зеленым в любом соотношении с желтым цветом. Это возможно, потому что все три цвета детектируются рецепторами одного класса; подбирая интенсивность одного пучка света, дихромат может уравнивать количество фотонов, получаемых с двух половин экрана.

Такие различия между нормальными людьми, с одной стороны, и красными и зелеными дихроматами с другой позволили Рэлею легко выявлять дихроматов с помощью предложенного им устройства. Подвергая тесту своих друзей и родственников, он обнаружил еще две группы цветовых аномалий. Подобно нормальным (и в отличие от дихроматов), люди с такими аномалиями для подравнивания желтого нуждаются в некоторой смеси красного и зеленого цвета, но

соотношения цветов они выбирают необычные. Одна группа нуждается в большем количестве зеленого и меньшем красного; другая группа — наоборот. Рэлей пришел к выводу, что у таких людей — трихроматов, аномальных по зеленому или, соответственно, по красному цвету, — зеленые и красные рецепторы имеют атипичную спектральную чувствительность.

К середине XX в. гипотеза Юнга о трех типах рецепторов получила убедительное подтверждение в таких психофизических исследованиях, основанных на суждениях самих испытуемых. В результате ряда других исследований было высказано предположение, что рецепторами служат колбочки сетчатки. Однако прямо доказать это не удалось. Одно из наибольших препятствий заключалось в том, что трудно получить отдельные колбочки. Они распределены в сетчатке среди более многочисленных палочек — Фоторецепторных клеток, обеспечивающих черно-белое зрение при сумеречном освещении.

И ВСЕ-ТАКИ изобретательность победила. В 1960-х годах П. Бран и Дж. Уолд из Гарвардского университета, а также Э. Макникол, У. До Белл и У. Маркс из Университета Джонса Гопкинса сконструировали микроспектрофотометр, способный определять поглощение отдельной Фоторецепторной клетки. Устройство пропускает свет, длину волны которого изменяют, проходя весь спектр длин волн, через ту часть колбочки, которая детектирует свет, и идентичный луч — через другую область клетки. Разница в интенсивности двух выходящих лучей при определенных длинах волн служит показателем поглощения в детектирующей цвет области колбочки при данной длине волны. С помощью этого устройства у колбочек, полученных из человеческих трупов, действительно были обнаружены три различных спектра поглощения. Наблюдавшиеся спектры хорошо соответствуют чувствительности, предсказанной на основании результатов психофизических исследований.

Если построить график зависимости относительного числа фотонов, поглощенных за секунду колбочками каждого класса, от длины волны в видимой части спектра, получается три колоколообразных кривых. «Синие» колбочки поглощают свет с длиной волны от 370 до 530 нм; наиболее чувствительны они около 420 нм. «Зеленые» и «красные» колбочки активны в пределах большей части спектра, но особенно чувствительны между 450 и 620 нм. «Зеленые» колбочки наиболее эффективны при 535 нм, «красные» — при 565 нм.

Начиная с 1970-х годов стали появляться новые данные об отсутствии у дихроматов того или иного класса рецепторов. У. Раштон из Кембриджского университета направлял в глаз свет с переменной длиной волны и регистрировал свет, отражаемый (и, следовательно, не поглощаемый) от сетчатки. В результате он показал, что определенные длины волн у дихроматов обычно не поглощаются. Позже Дж. Баумейкер из Лондонского университета, Дж. Моллон из Кембриджского университета и Г. Дартналл из Университета в Сассексе, используя микроспектрофотометр, подтвердили, что у зеленых дихроматов нет класса зеленых колбочек.

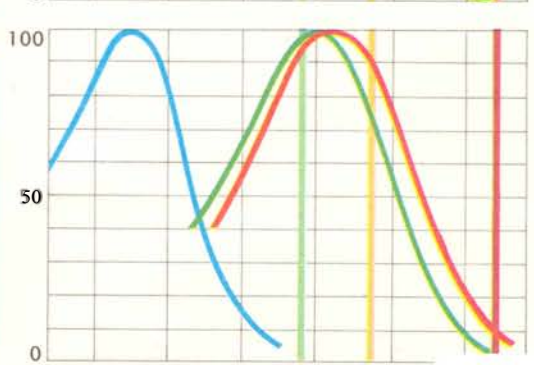
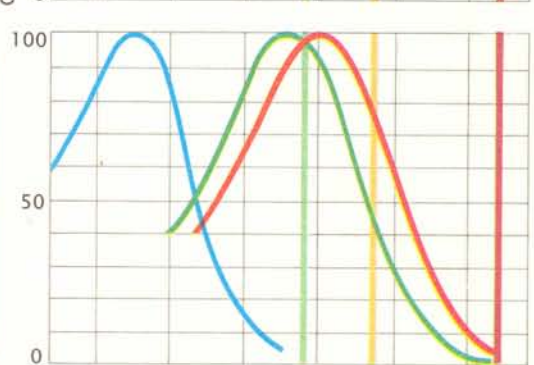
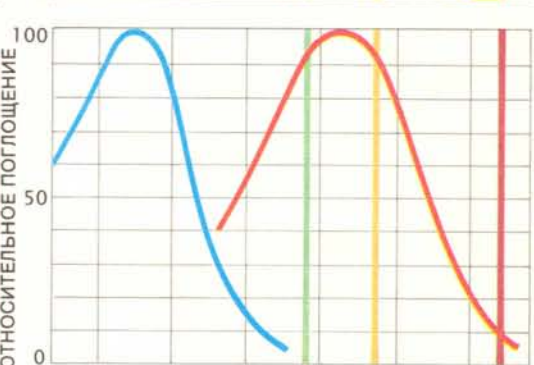
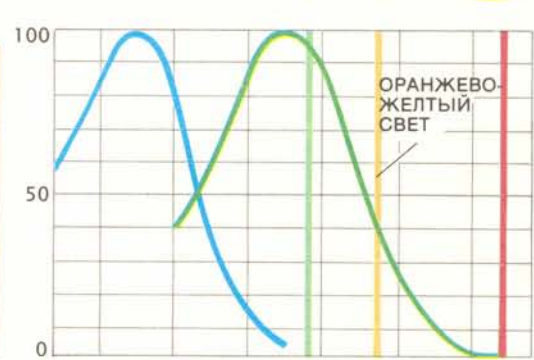
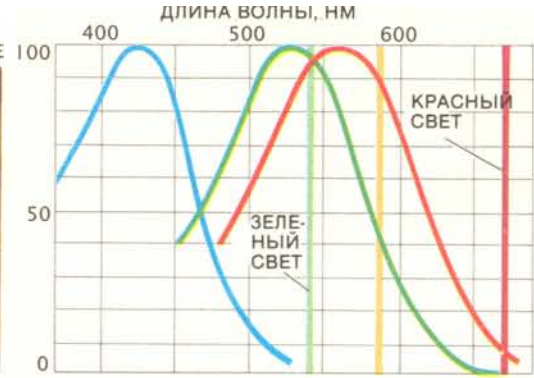
Новые данные проясняют также природу аномальной трихроматии. С помощью психофизических методов Раштон, а также независимо от него Т. Пнантанида и Х. Сперлинг, работавшие в Техасском университете, показали, что кривые спектральной чувствительности аномальных крас-

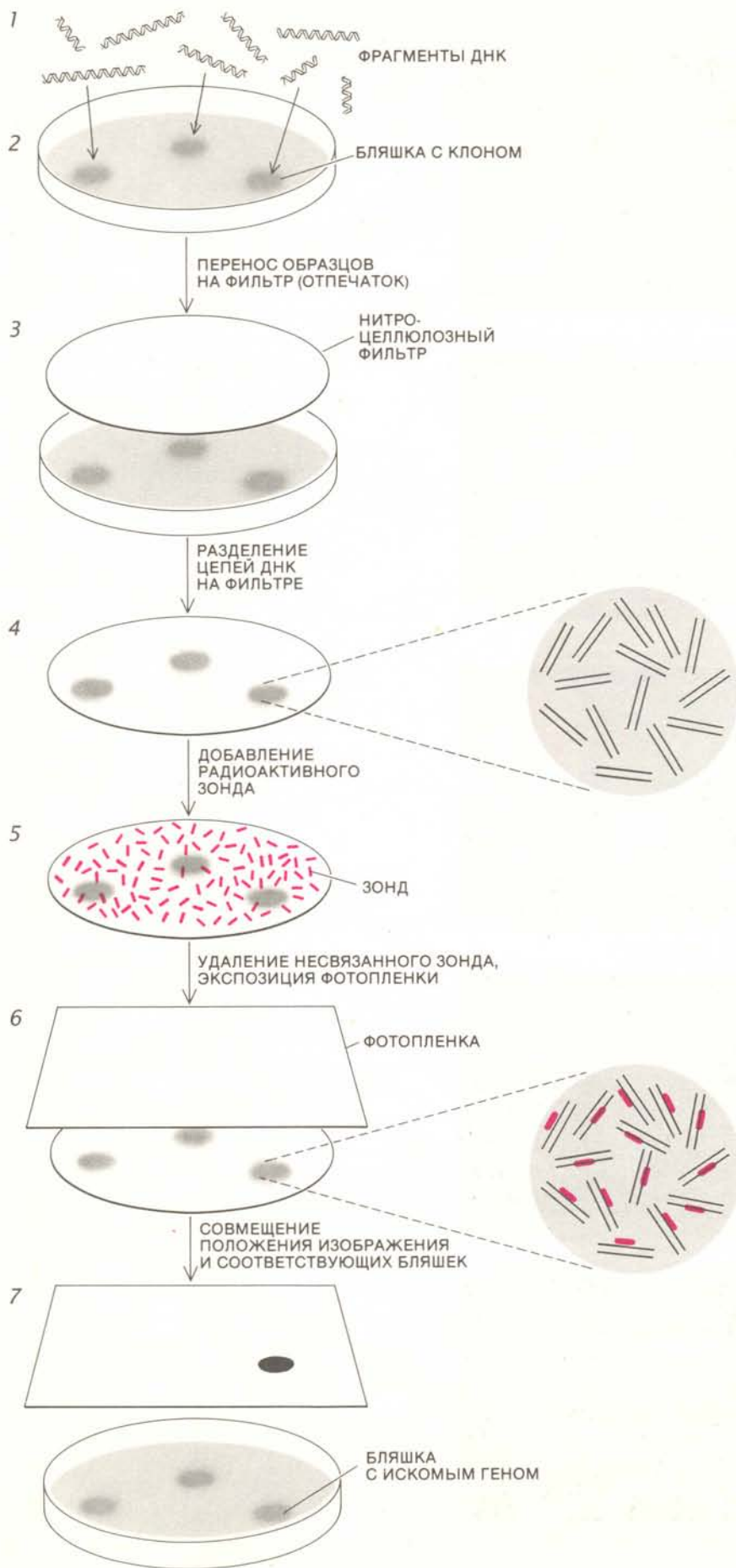
ных и зеленых фоторецепторов расположены между кривыми нормальных красных и зеленых фоторецепторов.

Открытие трех различных классов колбочек привлекло мое внимание к генетическим основам нормального и аномального цветового зрения. В начале 1980-х годов мой коллега Д. Хогнесс и я пытались выделить пигментные белки и надеялись дополнить классические генетические работы, в которых изучалось наследование аномалий цветового зрения.

Давно было замечено, что нарушение способности различать красный и зеленый цвета у мужчин встречается чаще, чем у женщин. Анализ таких данных указывал на то, что аномалия обусловлена генами, входящими в состав X-хромосомы (определяющей пол). у мужчин неспособность различать красный и зеленый цвета проявляется при наличии в их единственной X-хромосоме, которая наследуется от матери, дефектного гена. У женщин эта аномалия проявляется только в том случае, если они получили дефектную X-хромосому от обоих ро-

ПОДРАВНИВАНИЕ ЦВЕТОВ производится при проверке способности различать красный и зеленый цвета с помощью аномалоскопа Рэля. Этот аппарат подает красный и зеленый свет на одну половину белого экрана и оранжево-желтый свет - на другую (слева). Испытуемый подбирает соотношение зеленого и красного света и интенсивность желтого так, чтобы обе половины экрана воспринимались им одинаково. Это достигается, когда количества света, поглощаемые приемниками каждого типа от одной и от другой половины экрана, сравняются. Числа под изображениями слева показывают относительную интенсивность. Справа приведены кривые спектральной чувствительности испытуемых. Нормальному человеку (1) для «уравновешивания» желтого света требуются и красный и зеленый свет, причем красный - с большой интенсивностью, а зеленый - с малой. (И красный, и зеленый пигменты поглощают красный свет менее эффективно, а зеленый свет - более эффективно, чем желтый). Если у испытуемого отсутствует красный (2) или зеленый (3) пигменты, это отражается в его способности подравнивать желтый свет одним красным или одним зеленым (показано подравнивание только зеленым светом). При аномальной спектральной чувствительности красного (4) или зеленого (5) пигментов для подравнивания желтого нужны и красный, и зеленый свет, однако по сравнению с нормой красный или же зеленый свет требуются соответственно в избыточных количествах.





дителей. Проведенные исследования показали также, что вариации чувствительности к синему цвету зависят от какого-то гена вне хромосомы, определяющей пол. Мы решили проверить предположение о том, что наследственные нарушения цветowego зрения обусловлены изменениями в генах, кодирующих пигменты колбочек. Мутации в таких генах должны приводить к потере функционального пигмента или к синтезу пигмента с аномальным спектром поглощения.

МЫ ВЫДЕЛЯЛИ гены, кодирующие цветные пигменты, и сравнивали их структуру у людей с нормальным и аномальным цветовым зрением. Чтобы выделить какой-либо ген, часто определяют аминокислотную последовательность кодируемого им белка, и по ней устанавливают структуру гена. Но поскольку, когда мы начинали работу, практически ничего не было известно о структуре белков цветковых пигментов, пришлось избрать другой подход.

Мы исходили из предположения,

ГИБРИДИЗАЦИЯ ДНК позволила автору и его коллегам идентифицировать гены человеческого зрительного пигмента родопсина, ответственного за зрение (не цветное) при сумеречном освещении, и родственных ему колбочковых пигментов. Двуспиральную ДНК разрезают на фрагменты (1), разделяют их по размеру и клонируют: каждый фрагмент по отдельности вводят в бактериофаг и этими фагами заражают культуру бактерий. В тех местах, где фаг размножается, бактериальные клетки разрушаются и появляются так называемые бляшки (2). Каждая бляшка содержит клон - потомство исходной фаговой частицы, несущее, как и она, один определенный фрагмент человеческой ДНК. На чашку с бактериальной культурой накладывают нитроцеллюлозный фильтр, чтобы на нем отпечаталась каждая бляшка (3). ДНК на фильтре обрабатывают таким образом, что двойная спираль разделяется на одиночные цепи (4), и инкубируют с радиоактивным зондом (красный) - одноцепочечной ДНК, являющейся участком гена бычьего родопсина (5). Если последний обладает структурным сходством с генами зрительных пигментов человека, то зонд должен связываться с каким-то из фрагментов человеческой ДНК, образуя гибридные двуспиральные молекулы. Чтобы выявить связывание зонда, фильтры покрывают фотоэмульсией (6). В местах гибридизации появляются темные пятна (7). Сопоставляя пятна на пленке с соответствующими бляшками, идентифицируют клоны, содержащие обнаруженные гены.

что пигменты колбочек и пигмент палочек родопсин произошли от общего зрительного пигмента-предшественника, и, следовательно, у современных генов, вероятно, есть некоторые сходные последовательности ДНК. Если бы была известна структура гена родопсина, рассуждали мы, можно было бы узнать что-то и о структуре генов пигментов колбочек. К тому времени еще не были выделены ни человеческий родопсин, ни его ген, но удалось получить бычий родопсин из сетчатки крупного рогатого скота. Более того, Ю.А. Овчинников с коллегами из Института биоорганической химии им. Шемякина в Москве и Р. Харгрэив с сотрудниками из Университета Южного Иллинойса расшифровали его аминокислотную последовательность. Эта информация и легла в основу наших работ по идентификации генов, кодирующих пигменты колбочек.

Мы намеревались выделить ген бычьего родопсина и затем при помощи метода гибридизации ДНК, используя полученный ген в качестве зонда, идентифицировать человеческие гены родопсина и пигментов колбочек. Этот метод основан на способности одиночной цепи ДНК образовывать стабильную двойную спираль со второй цепью, если их последовательности нуклеотидов комплементарны (аденин парен тимину, а гуанин - цитозину). Исследуемую двуспиральную ДНК разрезают на фрагменты и каждый фрагмент клонируют, чтобы получить множество его копий. Образец ДНК из каждого клона разделяют на одиночные цепи и добавляют радиоактивный зонд - другой фрагмент одноцепочечной ДНК, комплементарный идентифицируемому гену. Зонд должен стабильно связаться с комплементарным участком, выявляя, таким образом, искомым ген (см. рисунок на с. 20).

При типичном для такого рода исследований ходе работы мы должны были бы начать с получения зонда, с помощью которого можно выполнить первую задачу - идентифицировать ген бычьего родопсина, конструируя для этого все ВОЗМОЖНЫЕ последовательности оснований, способные обеспечить синтез белка, аминокислотная последовательность которого соответствовала бы установленной аминокислотной последовательности родопсина. После этого пришлось бы проверить множество созданных зондов. К счастью, мы сэкономили много времени на трудоемких процедурах, поскольку имели зонд для идентификации гена бычьего родопсина. Дело в том, что Х. Корана, Д. Оприан и А. Саттеруэйт из Массачусетского технологического института, а также М. Апплбери и У. Баер из Университета Пардю уже идентифицировали последовательность ДНК, эффективно связывающуюся с мРНК бычьего родопсина. (мРНК, т. е. матричная, или информационная РНК, - это одноцепочечная молекула РНК, комплементарная тому или иному гену, которая служит матрицей при синтезе белка, кодируемого этим геном). Основываясь на последовательности ДНК, установленной Кораной и Апплбери с коллегами, мы синтезировали ЗОНД, который и использовали для идентификации гена бычьего родопсина.

НАВТОРОМ этапе нашей работы одна из цепей идентифицированного гена бычьего родопсина использовалась в качестве зонда для гибридизации при поисках человеческих генов родопсина и цветовых пигментов. Этот зонд прочно СВЯЗЫВАЛСЯ с одним фрагментом человеческой ДНК, который в последующих тестах был идентифицирован как ген, кодирующий родопсин. Наблюдалось также связывание, хотя и не такое прочное, еще с тремя другими фрагментами ДНК. Когда мы определили их нуклеотидную последовательность, обнаружили участки, гомологичные участкам генов человеческого и бычьего родопсина. Анализ кодируемых этими ДНК белков показал, что их аминокислотные последовательности сходны: около 40% каждой белковой цепи были идентичны последовательности родопсина.

Можно было сделать вывод, что фрагменты ДНК, связавшиеся с нашим зондом, - это три гена пигментов колбочек, однако следовало получить тому подтверждение, в частности, обнаружить мРНК, соответствующую связывающейся с зондом последовательности, в сетчатке глаза - единственном месте, где синтезируются зрительные пигменты. И действительно, в сетчатке удалось найти РНК, соответствующие связывавшимся с зондом ДНК.

Чтобы оценить, согласуются ли наши данные с данными классических генетических исследований, которые должны представить больше доказательств того, что найденные гены цветных пигментов, мы определяли хромосомную локализацию фрагментов ДНК, гибридизовавшихся с зондом. В сотрудничестве с Т. Шоусом и Р. Эдди из Института им. Розуэллы Парка в Буффало мы установили, что два из трех слабо гибридизующихся генов располагаются точно в том же месте Х-хромосомы, где классический анализ обнаруживает источник

вариабельности в способности различать красный и зеленый цвета. Это позволяло думать, что данные гены кодируют красный и зеленый пигменты. Дальнейшие исследования, осуществленные нами совместно с Пиантонида, подтвердили это предположение. Третий ген, кодирующий синий пигмент, оказался локализован в хромосоме 7 - факт, согласующийся с данными о том, что вариабельность восприятия синего цвета зависит от хромосомы, не имеющей отношения к определению пола.

Значительная степень гомологии между геном родопсина и тремя генами цветовых пигментов свидетельствует, что все четыре гена действительно произошли от общего предка. Имеющиеся данные подтверждают предположение, что когда-то, на ранней стадии эволюции некий исходный ген дал начало трем остальным: гену родопсина, гену синего пигмента и третьему гену, кодирующему пигмент, чувствительный к свету в красно-зеленой области видимой части спектра.

По-видимому, этот третий ген сравнительно недавно удвоился, в результате чего появились гены красного и зеленого пигментов. В пользу такого происхождения генов красного и зеленого пигментов говорит поразительно высокая степень гомологии: 98% их ДНК идентичны - вероятно, потому, что прошло слишком мало времени, чтобы возникли существенные различия. О том, что это произошло недавно (во всяком случае в масштабах эволюции), свидетельствуют наблюдения Дж. Якоба из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, работавшего с Баумейкером и Моллоном. Они показали, что у обезьян Нового Света (южно-американских) в Х-хромосоме находится только один ген зрительного пигмента. В противоположность этому у обезьян Старого Света (африканских), более близких к человеку, в этой хромосоме имеются два гена зрительных пигментов. Второй ген в Х-хромосоме появился, по-видимому, после разделения Южной Америки и Африки, а следовательно, и после разделения генофонда обезьян Старого и Нового Света примерно 40 млн. лет назад.

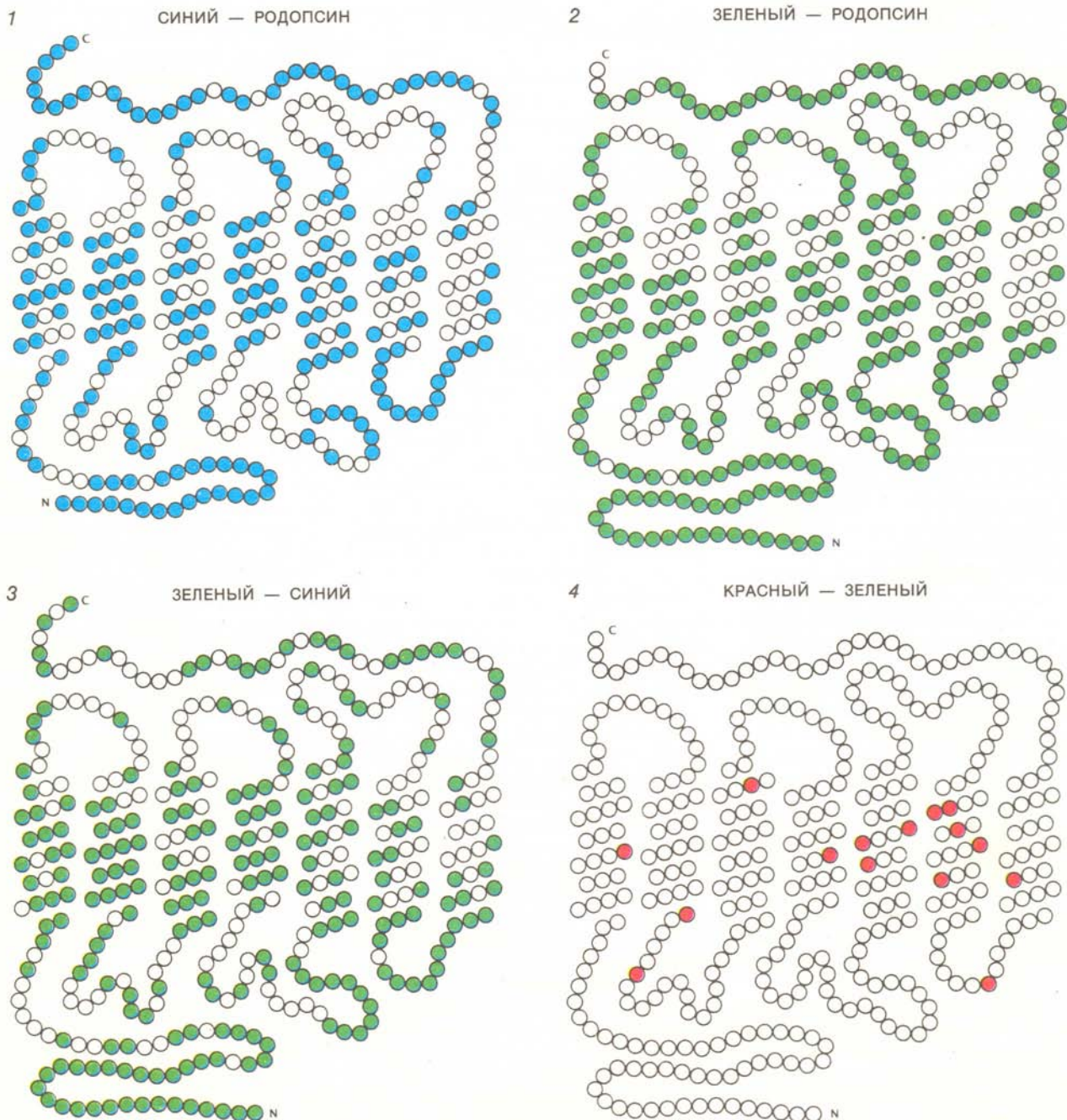
ОПИСАННЫЕ выше факты были не столь уж неожиданными - в отличие от ряда других открытий. Так, например, изучая гены зрительных пигментов в Х-хромосоме у 17 наших коллег-мужчин с нормальным цветовым зрением, мы обнаружили, что ген красного пигмента всегда представлен одной копией, тогда как

ген, кодирующий зеленый пигмент, представлен одной, двумя или тремя копиями. Существование множественных копий вызвало удивление, поскольку для нормального цветового зрения достаточно одного гена зеленого пигмента.

Из проведенных в последнее время экспериментов следует, что гены зрительных пигментов расположены в X-хромосоме тандемно «голова к хвосту» и что такая тандемная орга-

низация обуславливает варибельность числа генов. Тандемно расположенные гены имеют тенденцию к изменению числа копий в ходе мейоза (процесса клеточного деления, ведущему к образованию половых клеток - сперматозоидов и яйцеклеток). В каждой соматической (неполовой) клетке содержится двойной набор хромосом; при мейозе парные хромосомы (которые, хотя и содержат одни и те же гены, несколько различаются)

рекомбинируют, т. е. обмениваются участками. Обычно обмен бывает равным и ни одна хромосома не приобретает и не теряет генов. Однако иногда два участка, будучи в высокой степени гомологичными, могут рекомбинировать ошибочно: происходит так называемая неравная гомологичная рекомбинация. При этом какая-то из парных хромосом может получить еще одну (или более) копию уже имеющегося в ней гена за счет



СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРЫ четырех зрительных пигментов по нуклеотидным последовательностям кодирующих их генов показывает, что родопсин и цветовые пигменты имеют сходные аминокислотные последовательности. Крас-

ный и зеленый пигменты почти идентичны (4). (Цветом выделены различающиеся аминокислоты. В тех случаях, когда у сравниваемых молекул различная длина, изображена более длинная молекула и ее «излишек» закрашен.)

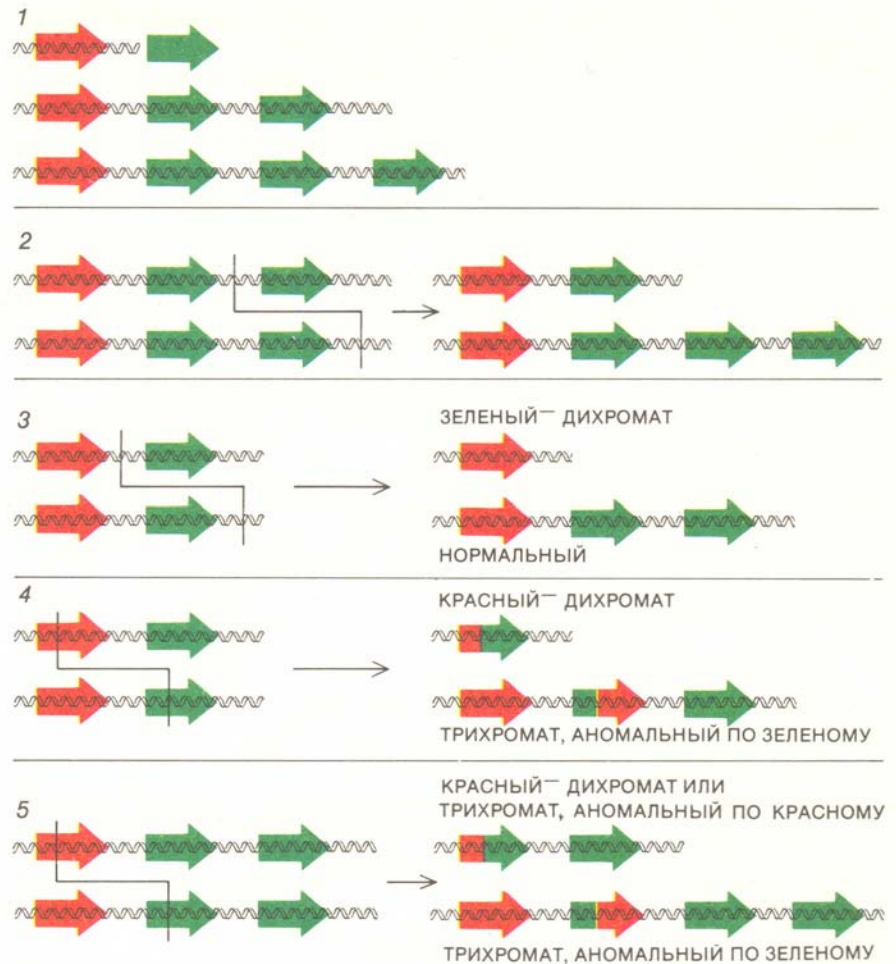
другой хромосомы, или же происходит обмен родственными, но различными генами. Обновившиеся хромосомы затем по отдельности попадают в половые клетки.

Нетрудно представить, каким образом неравная гомологичная рекомбинация может привести к появлению различных вариантов генов зеленого пигмента у людей с нормальным цветовым зрением. Рассмотрим две гомологичные хромосомы, каждая из которых несет один ген красного пигмента, расположенный рядом с двумя генами зеленого пигмента. Если ген зеленого пигмента одной из хромосом попадет в процессе мейоза в другую хромосому, то в одной дочерней клетке будет хромосома с одним геном красного пигмента и одним зеленым, а в другой - хромосома с одним геном красного пигмента и тремя зелеными, т. е. в итоге получится как раз тот вариант, который наблюдался у наших испытуемых с нормальным цветовым зрением.

Ген красного пигмента во всех случаях имеется лишь в одном экземпляре, поскольку он расположен на самом краю участка генов цветовых пигментов. Для гена такой локализации крайне мала вероятность дубликации (или выпадения) при гомологичной рекомбинации.

Неравная гомологичная рекомбинация, по-видимому, ответственна не только за дубликацию генов зеленого пигмента у людей с нормальным цветовым зрением, но и за подавляющее большинство случаев неспособности различать красный и зеленый цвета. В сотрудничестве с Пиантонида мы исследовали ДНК 25 мужчин, у которых по тесту на аномалоскопе Рэлея была нарушена способность нормально различать красный и зеленый цвета. У всех испытуемых, кроме одного, структура генов красного и зеленого пигментов оказалась аномальной, что было следствием неравной гомологичной рекомбинации.

Какие изменения генов приводят к появлению красных или зеленых-дихроматов и какие вызывают аномальную трихромазию? Мы обнаружили, что у большинства зеленых-дихроматов (тех, у кого явно отсутствуют зеленые рецепторы) просто утрачены все гены зеленого пигмента. У некоторых зеленых-дихроматов, однако, вместо генов зеленого пигмента имеется гибридный ген: последовательность ДНК вблизи от начала гена происходит от гена зеленого пигмента, а остальная часть последовательности - от гена красного пигмента. Очевидно, хромосома с гибридным геном является результатом рекомбинации, при которой



РЕКОМБИНАЦИЯ, т. е. обмен участками между парными хромосомами, может привести к аномалиям в различении цветов. У нормальных людей в X-хромосоме имеются один нормальный ген красного пигмента и один, два или три гена зеленого пигмента (1; эти гены изображены цветными стрелками). Такие варианты получаются в результате неравной рекомбинации, когда одна хромосома приобретает лишний ген зеленого пигмента за счет другой (2). Дихроматизация и аномальная трихроматизация возникают в результате рекомбинации с потерей гена пигмента (3) или появлением гибридного гена, состоящего из частей генов красного и зеленого пигментов (4, 5). Спектральная чувствительность гибридного пигмента зависит от соотношения частей исходных генов.

часть нормального гена зеленого пигмента поменялась местами с частью гена красного пигмента.

Почему наличие в клетке гибридного гена не обеспечивает ее функционирования в качестве рецептора зеленого цвета? Вполне вероятно, что последовательность ДНК в начале гена - как нормального, так и гибридного - определяет тип клетки, в которой ген будет работать, а другая последовательность, расположенная дальше от начала гена, определяет тип синтезируемого пигмента. Тогда в клетке, которая в норме была бы зеленой колбочкой, синтезируется красный пигмент, что позволяет ей функционировать только как красному рецептору. у подавляющего большинства мужчин, у которых при анализе на анома-

лоскопе Рэлея не обнаруживаются красные рецепторы (красные-дихроматы), последовательности гена красного пигмента отсутствуют не полностью: вместо единственного гена красного пигмента у них имеется гибридный, в котором только начальная последовательность ДНК происходит от гена красного пигмента. Мы думаем, что этот гибридный ген синтезирует зеленый пигмент в клетках, которые в норме должны были быть красными колбочками, тем и объясняется, что у его носителей имеются только зеленые колбочки и нет красных.

у всех испытуемых с аномальной трихроматизацией имелся по крайней мере один гибридный ген помимо некоторых или всех нормальных генов

зрительных пигментов. Мы предполагаем, что у этих людей гибридные гены кодируют белки с аномальной спектральной чувствительностью. Из наших данных следует, что возможно множество аномальных пигментов и что особенности спектральной чувствительности этих пигментов определяются местоположением той точки в гибридном гене, в которой произошел разрыв хромосомы при рекомбинации. Чем больший фрагмент перешел от гена зеленого пигмента, тем больше белок, кодируемый гибридным геном, будет походить на зеленый пигмент. Аналогично если большая часть ДНК гибридного гена происходит от гена красного пигмента, кодируемый им белок окажется более похож на красный пигмент. Если это верно, то наши данные хорошо объясняют психофизические наблюдения, согласно которым аномальные рецеп-

торы наиболее эффективно поглощают в интервале длин волн между областями наибольшего поглощения нормальных красных и зеленых колбочек.

В ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ о роли колбочек и пигментов в цветовом зрении еще много неясного. Почему у зрительных пигментов различные спектры поглощения? Каким образом Фоторецептор «знает», какой пигмент синтезировать? Как в процессе развития формируются связи между Фоторецепторными клетками и нейронами более высокого порядка? Для тех, кто ищет ответы на эти и подобные вопросы, наследственные вариации цветового зрения - подарок судьбы, открывающий уникальное окно в глубинные механизмы работы глаза.

Наука и общество

Рухнул 100-метровый телескоп

Т Дорога № 28, повернув на север по долине Дир-Крик (шт. Западная Виргиния), бежит вдоль небольших поселков, мимо заброшенных ферм, мимо дорожных знаков, изрешеченных пулями. Леса, реки, деревья. А затем неожиданно, когда дорога поворачивает к югу от Грин-Бэнк, прямо перед вами внизу в долине воз-

никает огромная тарелка 100-метрового радиотелескопа. Это - одно из самых необычных сооружений в мире, т. е. оно было таковым до 19 ч 45 мин 15 ноября прошлого года, когда телескоп рухнул.

Водители из Касса и Данмора, когда они на следующее утро проезжали этот поворот, были потрясены, обнаружив, что это монументальное сооружение, украшавшее ландшафт на протяжении 26 лет, просто исче-

зло. Можно представить их мысли: а все потому, что когда Национальная радиоастрономическая обсерватория (НРАО) переехала в Грин-Бэнк, жители жаловались, что телескопы «испортили» качество телевизионного приема («Телескоп поглощает сигнал») и зиму («Стало выпадать больше снега»).

Возможно. Но в то же время НРАО привлекла туристов, студентов и создала новые рабочие места. Когда я работал помощником исследователя в Грин-Бэнк летом 1974 и 1976 гг., мой руководитель рассказывал, что 100-метровый телескоп был «построен наспех», поскольку строительство 43-метрового телескопа - гораздо более сложного инструмента - задерживалось. 100-метровый телескоп был закончен в 1962 г. и его сооружение стоило около 850 тыс. долл. по сравнению с 14 млн. долл., выделенными для 43-метрового телескопа.

Стоимость строительства 100-метрового телескопа была сокращена прежде всего за счет того, что он был сделан полуповоротным, а космические радиостанции проходили сквозь луч телескопа (диаграмму направленности) благодаря вращению Земли. Кроме того, его поверхность была не сплошной, а представляла собой сетку, в результате чего он работал в более низкочастотном диапазоне по сравнению с другими телескопами.

Конструкторы часто шутили, что он может рухнуть через 5 лет. Тем не менее этот «построенный наспех» инструмент пережил все отведенные ему сроки. При еженедельных проверках он просуществовал 26 лет, обзревая небо в поисках новых радиостанций, а также принимая участие в поисках внеземных цивилизаций.

Наиболее значительное достижение - открытие в 1967 г. пульсара в Крабовидной туманности. Вообще пульсары были открыты за несколько месяцев до этого, однако природа этих источников оставалась неясной. Только когда был открыт пульсар в Крабовидной туманности, вращающийся со скоростью 30 оборотов в секунду, теоретики поняли, что пульсары представляют собой быстро вращающиеся нейтронные звезды, а не белые карлики или какие-то другие объекты.

у 100-метрового радиотелескопа были свои проблемы. Вызывало опасение то, что на антенне будет скапливаться снег, в результате чего телескоп может разрушиться, поэтому на антенне установили реактивный двигатель для сдувания снега. К счастью, его никогда не использовали. Другую проблему представляли птицы: им нравилось гнездиться на облучателях,



С ПОМОЩЬЮ 100-МЕТРОВОЙ антенны Национальной радиоастрономической обсерватории в Грин-Бэнк (шт. Западная Виргиния) было установлено, что пульсары представляют собой быстро вращающиеся нейтронные звезды.

высоко над антенной. Чтобы каждый раз не подниматься в фокус антенны для удаления их гнезд, было установлено электронное «пугало» - генератор, издававший писк и завывания, слышные далеко вокруг. Обычно мы говорили туристам, что эти звуки представляют собой сигналы, получаемые из космоса - «музыка планет», - и посетители уходили вполне удовлетворенными.

Примерно в течение последних пяти лет военно-морское ведомство США эксплуатировало здесь для неастрономических целей интерферометр, состоящий из трех 26 метровых антенн. Так что, когда в ноябре 1988 г. 100-метровый телескоп рухнул, будущее радиоастрономии выглядело довольно «бледно». Но сенатор Р. Бирд из Западной Виргинии твердо выступил в поддержку постройки нового телескопа, и ожидается, что соответствующий законопроект будет представлен конгрессу. Ученые НРАО считают, что на этом месте должен быть сооружен новый 100-метровый телескоп. Пусть он будет достойным преемником.

Вместе, но врозь

КАК ВОЗНИКАЮТ новые виды живых организмов? Общепринятое представление состоит в том, что новый вид образуется, когда группа особей вида-предшественника оказывается географически изолированной от остальной популяции, что препятствует свободному случайному скрещиванию между особями исходного вида, и в результате генетические различия закрепляются, по мере того как части популяции приспособляются к различным условиям внешней среды. Однако со времен Дарвина существует предположение, что видообразование может быть не только таким - аллопатрическим, но и симпатрическим, когда группа особей оказывается репродуктивно изолированной от остальной популяции без всяких физических препятствий к спариванию. И вот теперь энтомологи получили первое генетическое доказательство того, что симпатрическое видообразование действительно существует.

Такое доказательство дали исследования плодовой мушки *Rhagoletis pomonella*. Этот вид паразитирует на боярышнике. Его жизненный цикл «вращается» вокруг плодов боярышника, которые служат местом для ухаживания, спаривания, откладки яиц и питания личинок. Но лет 150 назад *R. pomonella* начала поражать также яблони и разделилась на две

расы с различными хозяевами: одна раса предпочитала яблони, а другая - боярышник.

R. pomonella, паразитирующая на яблонях, впервые была описана как отдельная раса однокашником Дарвина Б. Уолшем, который высказал предположение, что предпочтение разных хозяев особями одного вида может привести к возникновению внутри этого вида новых видов. В начале 1960-х годов студент Гарвардского университета Г. Буш опроверг идею Уолша, показав, что яблоневая и боярышниковая *R. pomonella* не являются двумя разными видами. Но по мере того, как Буш изучал *Rhagoletis*, у него появились сомнения в своей точке зрения. Вообще, две группы особей считаются отдельными видами, если они не скрещиваются (не дают плодородного потомства). Буш понял, что коль скоро растение-хозяин предоставляет мушкам место для спаривания, скрещивание между яблоневой и боярышниковой *R. pomonella* сводится к минимуму. К тому моменту, когда Буш получил степень доктора философии, он пришел к выводу, что в данном случае имеет место симпатрическое видообразование.

Генетический анализ, проведенный Бушем и Дж. Федером из Университета шт. Мичиган, свидетельствует в пользу этого вывода. Их работы, опубликованные недавно в журнале «Nature», выявили значительные генетические различия между двумя расами *R. pomonella* - такие различия были бы невозможны, если бы особи спаривались случайным образом. Это подтверждается также сообщением Б. Макферона с коллегами из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн. Д. Куртни Смит (в настоящее время работает в Университете шт. Пенсильвания) показал, что время превращения куколки в имаго, которое совпадает с временем созревания плодов растения-хозяина - яблони либо боярышника, - является nasledующим признаком.

По-видимому, яблоневая и боярышниковая популяции *R. pomonella* находятся на пути к обособлению в отдельные виды. Отмечая, что аллопатрический механизм объясняет возникновение большинства видов крупных животных, Буш высказал мнение, что значительная доля из 600 тыс. видов паразитических насекомых могла образоваться симпатрическим путем. Конечно, без исторического анализа трудно исключить альтернативный путь - аллопатрическое видообразование. Привлекательность случая *R. pomonella* в том, что история рас с различными хозяевами известна. По мнению Буша, хотя яб-



Плодовые мушки *Rhagoletis pomonella* паразитируют либо на яблонях, либо на боярышнике. Это создает предпосылку для разделения вида на два.

лоневая и боярышниковая мушки, скорее всего, в какой-то степени еще скрещиваются, мало вероятно, что эти две популяции снова сольются воедино. Но сколько времени пройдет, прежде чем яблоневую мушку можно будет назвать самостоятельным видом? «Трудно сказать, - заметил Федер, - вернемся к этому вопросу через пару тысяч лет».

Вниманию
интеллектуалов!

А. Баблюяц
**МОЛЕКУЛЫ,
ДИНАМИКА И ЖИЗНЬ**

Перевод с английского

В книге рассматриваются концепции неравновесной термодинамики применительно к процессам самоорганизации материи — от явлений молекулярного уровня до биологических процессов, включая проблему возникновения и эволюции жизни. Автору — ученице и сотруднице лауреата Нобелевской премии И. Пригожина — удалось при высоком научном уровне добиться четкости и доступности изложения теории и ее практических применений.

1990, 25 л. Цена 3 р. 60 к.



Гигантские водопады в океане

Подводные водопады, куда более грандиозные, чем водопады на суше, играют важнейшую роль в химическом балансе и «климате» океанских глубин

ДЖАН А. УАЙТХЕД

ЛЮБИТЕЛИ статистики знают, что водопад Анхель в Венесуэле - самый высокий в мире - 1054 м, а водопад Сети-Кедас на границе Бразилии и Парагвая - самый многоводный: его средний расход равен 13000 м³/с. Но мало кто знает, что делается в глубине Датского пролива. Между тем здесь в потоке, низвергающемся в глубину на 3,5 км, в этом гигантском океанском водопаде, переносится в секунду 5 млн. кубометров воды. Этот водопад выше, чем Анхель, и более многоводный, чем Сети-Кедас. Перед водопадом Датского пролива бледнеет даже величественная Амазонка, которая выносит в Атлантический океан 200 тыс. кубометров воды в секунду. И еще одно важное обстоятельство: если крупнейшие водопады на суше не оказывают хоть сколько-нибудь заметного влияния на земной климат, то гигантские океанские водопады играют ключевую роль в балансе тепла и соли в глубоких слоях океана.

Океанские водопады стали предметом серьезного изучения лишь 20 лет назад. Они являются результатом конвекции - переноса тепла или соли с потоком воды. Океан можно представить в виде очень мелкого блюда, у которого одна половина (тропики) находится на солнце, а другая (высокие широты) - в тени (см. рис. на с. 28). Холодная вода у полюса имеет наибольшую плотность и поэтому в результате конвекции движется вниз, ко дну. Отсюда она распространяется в умеренные широты, вытесняя вышележащую теплую воду, которая начинает медленно подниматься. (В океане этот процесс, по-видимому, происходит повсеместно.) Поскольку вышележащая теплая вода препятствует движению вверх холодной глубинной воды (подобно тому как температурная инверсия над Лос-Анджелесом удерживает холодный воздух под теплым), подъем вод, называемый апвеллингом, - процесс весьма длительный. В то же время происходит нагревание холодной воды

вследствие ее контакта с вышележащей теплой водой.

Океан находится в тепловом равновесии, поэтому поток тепла вверх должен быть равен потоку тепла вниз. Однако, благодаря тому, что конвекция является исключительно эффективным механизмом переноса тепла, обеспечивать баланс тепла и компенсацию повсеместного нагревания глубоких слоев могут достаточно узкие нисходящие конвективные потоки. Так и обстоит дело в действительности: узкие потоки погружающейся холодной воды превращаются в конце концов в океанские водопады.

Временной масштаб апвеллинга легко оценить. Если океанское «блюдо» имеет объем около 3 x 10¹⁷ м³ и питается потоком холодной воды со скоростью 5 млн. кубометров в секунду, то для его заполнения холодной водой требуется около 2000 лет. Если глубину блюда принять равной 5 км и предположить, что перенос тепла от верхних теплых слоев к глубинной холодной воде отсутствует, то мы получим, что граница холодной воды должна подниматься со скоростью от 2 до 3 м/год. Хотя эта оценка весьма груба, она близка к величинам скорости апвеллинга, которые, по-видимому, характерны для реального океана.

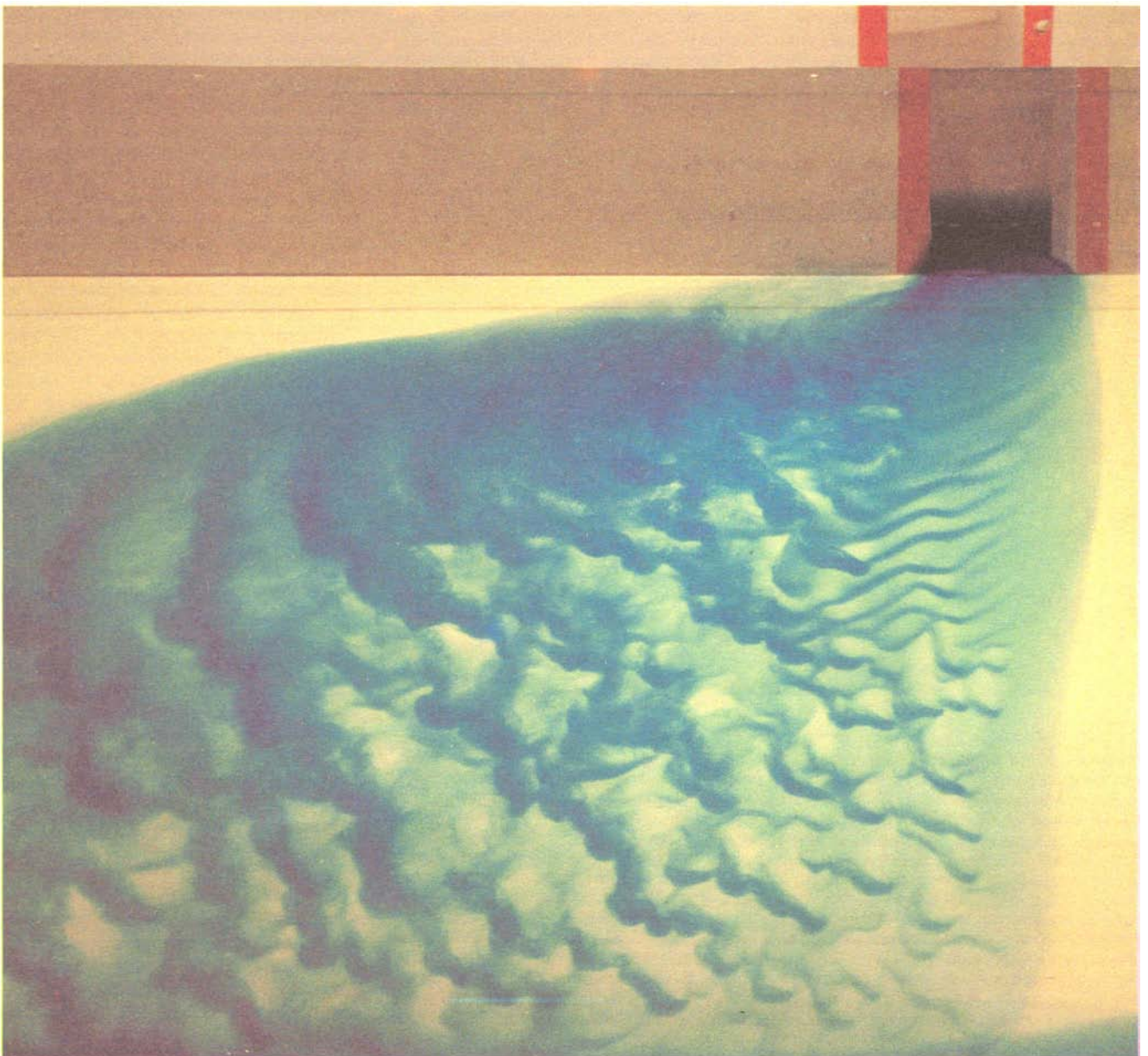
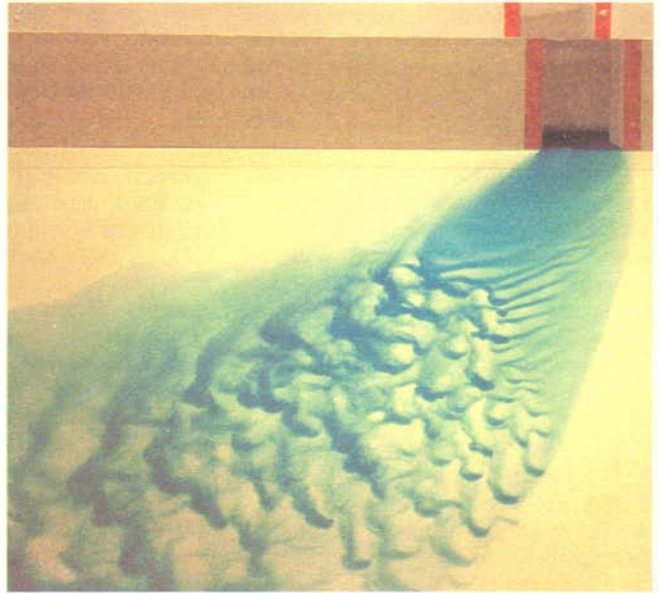
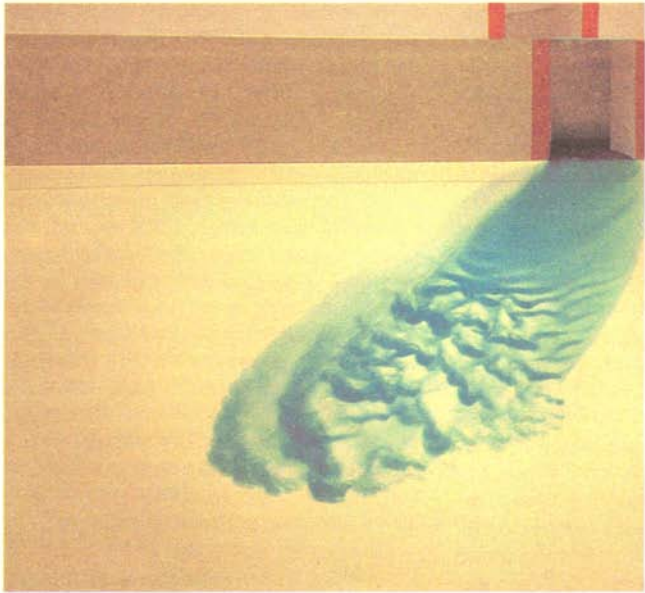
РАЗУМЕЕТСЯ, реальный океан - это не блюдо с водой, имеющее простую форму. Опираясь на особенности рельефа дна, в океане можно выделить ряд крупных котловин. Рассмотрим для начала гипотетический океан, в котором имеются полярная и экваториальная котловины, разделенные подводной возвышенностью (порогом). В таком океане холодная вода, погружающаяся на полюсе, вначале может попасть только в полярную котловину. Чтобы оказаться в низких широтах, она должна перетечь через порог. Условие для этого создает медленный апвеллинг, о котором речь шла выше. В ходе этого процесса глубинная вода нагревается за счет вышележащих теплых слоев, но в си-

лу того, что теплопроводность воды незначительна, перенос тепла и соответственно изменения температуры невелики.

Таким образом, на уровне порога в полярной котловине температура воды меньше, чем на той же глубине в экваториальной котловине. Как следствие, полярная вода здесь имеет большую плотность, чем экваториальная, поэтому она переливается через порог, оттесняя теплую воду. Этот поток воды через порог мы и будем называть океанским водопадом. Перетекая из полярной котловины в экваториальную, холодная вода увлечет за собой теплую воду, находящуюся на уровне порога или выше, и сносит ее вниз, ко дну второй котловины. Кроме того, падающая холодная вода частично перемешивается благодаря турбулентности с окружающей водой. Следствием этого «увлечения» и перемешивания является то, что температура воды у дна экваториальной котловины по меньшей мере равна температуре воды на уровне порога в полярной котловине.

При изучении реальных океанских водопадов нужно исходить из того, что Мировой океан делится на целый ряд котловин. Необходимо учитывать и дополнительные факторы, такие как сила Кориолиса и трение, о которых будет идти речь ниже; из-за влияния этих факторов некоторые водопады вытянуты в ином направле-

ПОДВОДНЫЙ ВОДОПАД в лаборатории создают, впуская струю соленой воды во вращающийся бак с пресной водой. Более соленая вода (*зеленоватая*) начинает погружаться. По мере движения вдоль наклонного дна бака в ней образуются волны; кроме того, она перемешивается с окружающей водой. Сила Кориолиса, возникающая вследствие вращения бака, заставляет водопад заворачивать вправо. Различие в солёности вод служит причиной существования водопада, который берет начало в Гибралтарском проливе и проникает в Северную Атлантику



нии, чем направление север - юг, и обрываются не на экваторе. Тем не менее в рамках изложенной простой модели укладывается большая часть наблюдений, которые сводятся к тому, что водопады представляют собой потоки холодной плотной воды из полярной области в средние широты. На протяжении всего пути, по которому движется вода, происходит ее нагревание благодаря упомянутым процессам «увлечения» и перемешивания. Этим объясняется тот факт, что температура воды у дна возрастает в направлении к экватору.

ИЗ-ЗА ЭТОГО что движение воды в гигантских океанских водопадах происходит существенно ниже поверхности и ограничено небольшой площадью, изучать эти водопады трудно. Хотя океанографы узнали о их существовании в 70-х годах прошлого века, до 60-х годов нашего столетия интенсивные исследования этих явлений были невозможны. Перелом произошел тогда, когда на смену вакуумным электронным лампам при-

шли транзисторы, позволившие создавать такую аппаратуру, которая может надежно работать под водой.

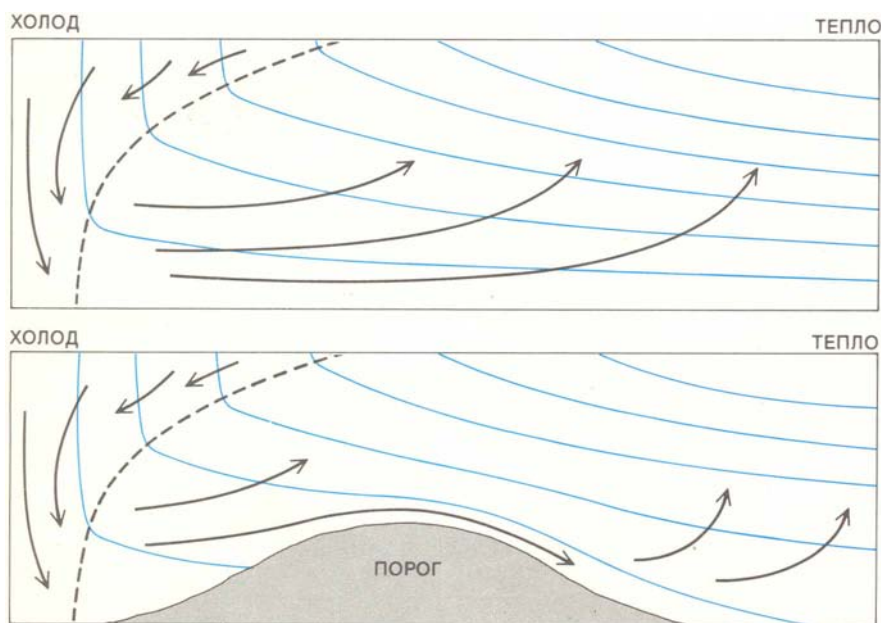
Один из способов, позволяющих обнаружить гигантский океанский водопад, состоит в том, чтобы изучить меридиональный разрез океана, проходящий через возможный источник холодной воды, т. е. место, где холодная вода погружается в глубину (см. рис. на с. 30 и 31). Прежде всего следует обратить внимание на поведение на разрезе изотерм (линий постоянной температуры). В водопаде вода течет вниз через порог, поэтому при наличии водопада изотерма, «касающаяся» порога, должна идти приблизительно горизонтально перед порогом (выше по потоку) и резко заглубляться после порога (ниже по потоку). Холодная вода, лежащая ниже порога, не будет перетекать через него; следовательно, соответствующие изотермы будут присутствовать перед порогом, но их не будет за порогом.

Примером может служить водопад Риу-Гранди, который берет начало примерно на 200 Ю.ш. в Атлантиче-

ском океане и переносит воду на север. Порогом для этого водопада является возвышенность Риу-Гранди, которая лежит на глубине около 4000 м. Изолиния потенциальной температуры 00 С находится несколько глубже (потенциальная температура - это температура, исправленная с учетом давления). Следовательно, порог препятствует движению воды, берущей начало в Антарктиде, не давая ей влиться в расположенную севернее Бразильскую котловину. Несколько более теплая вода (с температурой 0,20 С) лежит выше порога и имеет большую плотность, чем вода, расположенная к северу; эта «южная» вода перетекает через порог и изотерма 0,20 С уходит на километр в глубину ко дну Бразильской котловины.

Поведение изотерм 1,0 С и 1,40 С указывает на второй водопад, расположенный дальше к северу, где абиссальная равнина Кеара отделяет Бразильскую котловину от Северо-Американской котловины. Эта равнина, находящаяся вблизи экватора, не дает воде с температурой 1,0 С попасть из Бразильской котловины в Северо-Американскую. В то же время вода с температурой 1,40 С залегает выше этого порога (находящегося на 40 с.ш.). К югу от порога изотерма 1,40 С идет относительно горизонтально, но к северу она заглубляется более чем на 2000 м и обрывается на дне в самом глубоком месте Северо-Американской котловины. Эта изотерма соответствует Антарктической придонной воде (названной так по месту ее происхождения), которая характерна для Атлантического океана. Обрыв изотермы 1,40 С отражает, по-видимому, тот факт, что при погружении холодная вода перемешивается с окружающей теплой водой, температура ее повышается и изотерма обрывается.

Если проследить за изотермой 20 С, то можно обнаружить третий водопад - в Датском проливе. Поток через Датский пролив (между Гренландией и Исландией) направлен с севера на юг навстречу потоку Антарктической придонной воды. Перетекая через Гренландско-Исландский порог, вода низвергается вниз в виде водопада шириной 200 км с верхней границей на глубине около 200 м; через 1000 км вниз по потоку вода достигает глубины 3500 м, образуя Северо-Атлантическую глубинную воду. При падении с высоты 3,5 км вода может перемешиваться с более теплой водой; ее температура при этом будет увеличиваться и может стать выше температуры Антарктической придонной воды. В любом случае Северо-Атлантическая глубинная



КОНВЕКЦИЯ - это та «сила», которая поддерживает большинство океанских водопадов. Ее влияние можно продемонстрировать в эксперименте с баком, наполненным водой, нагревая одну его половину и охлаждая другую (*вверху*). Холодная вода у «полюса» быстро погружается (*стрелки*) и движется в направлении «экватора». Там она встречается с вышележащей более теплой водой. Температурная инверсия не дает холодной воде подниматься быстро; вместо этого она постепенно нагревается благодаря контакту с теплой водой и медленно движется к поверхности (в океане эта скорость составляет около 1 м/год). Водопад возникает в этих условиях в том случае, когда на дне бака имеется возвышение, или порог (*внизу*). В «полярной котловине», перед порогом, вода холоднее и, следовательно, на высоте порога имеет большую плотность, чем вода в «экваториальной котловине»; этому соответствует подъем изотерм, или линий постоянной температуры (*голубые*), слева от порога. Видно, что «полярная» вода перетекает через порог и опускается на дно «экваториальной котловины». Такое быстрое опускание воды, сопровождаемое в некоторых случаях турбулентным перемешиванием, и есть лабораторная модель гигантского океанского водопада.

вода имеет меньшую плотность, чем Антарктическая придонная вода, и поэтому располагается над последней в виде отчетливо выраженного слоя.

ТЕРМОМЕТРЫ - это не единственное средство, с помощью которого океанографы могут обнаруживать водопады. Эффективный способ отслеживания подводных течений состоит в том, чтобы измерять содержание в морской воде радиоактивных изотопов. Так, например, тритий, изотоп водорода с периодом полураспада 12,5 лет, образовался в количествах, намного превышавших фоновые, во время ядерных испытаний в атмосфере в 50-х - начале 60-х годов. Большая часть трития образовалась и выпала в Северном полушарии. После прекращения испытаний в 1963 г. содержание трития в атмосфере резко снизилось. Таким образом, вода, которая в период испытаний находилась в поверхностном слое, оказалась «помеченной» тритием.

В 1972 г. исследователи, работавшие в рамках программы GEOSECS («Изучение геохимических разрезов океана»), измеряли содержание трития на различных глубинах на меридиональном разрезе через Атлантический океан. Измерения показали, что тритий, образовавшийся в результате ядерных испытаний в атмосфере, переносился через Датский пролив в водопаде на глубину около 3500 м, в нижние слои Северо-Атлантической глубинной воды. В то же время измерения, проведенные в рамках программы GEOSECS, не выявили трития на больших глубинах - в Антарктической придонной воде. Это означает, что тритий, выпавший в Южном полушарии, не успел достичь Северного полушария с глубинными течениями. Учитывая величину скорости циркуляции воды, приведенную в начале статьи, можно утверждать, что пройдет еще несколько сотен лет, прежде чем тритий появится в Антарктической придонной воде в Атлантическом океане.

Вообще говоря, обнаружить тритий в Южном полушарии трудно, так как ядерные испытания проводились в основном в Северном полушарии. В отличие от него хлорфторуглероды - фреоны и другие газы, которые, как считается, несут ответственность за утончение озонового слоя Земли, в больших количествах обнаруживаются в Южном полушарии. За последние десятилетия концентрации этих антропогенных соединений в атмосфере значительно выросли. Они растворяются в поверхностной океанской воде и благодаря перемешиванию медленно переносятся в глубину.



ОСНОВНЫЕ ОКЕАНСКИЕ ВОДОПАДЫ, показанные на карте Атлантического океана. В Датском проливе, расположенном между Гренландией и Исландией, находится, вероятно, самый большой в мире водопад с расходом около 5 млн. кубометров воды в секунду. Исландско-Фарерский водопад снабжает Северную Атлантику холодной, плотной водой. Через водопад абиссальной равнины Кеара в Северную Атлантику попадает самая холодная и плотная вода - так называемая Антарктическая придонная вода. Через разлом Дискавери поток воды с расходом 210000 кубометров в секунду идет из восточной части Экваториальной Атлантики в восточную часть Северной Атлантики. Водопад шельфового ледника Фильхнера служит источником воды большой плотности. Водопад у Южных Шетландских островов, похоже, играет важную роль в жизненном цикле кривля. В отличие от перечисленных водопадов, которые обязаны своим существованием различию в температуре вод, в водопаде Гибралтарского пролива «движущей силой» служит различие в солености. Красная линия соответствует разрезу, выполненному в 1972-1973 гг. по программе GEOSECS (он изображен на следующих двух страницах).

Дж. Баллистер из Океанографического института в Вудс-Холе обнаружил недавно один вид фреонов, а именно фреон-11, в источнике Антарктической придонной воды - водопаде шельфового ледника Фильхнера. Этот ледник расположен в море Уэдделла на юге Атлантического океана у берегов Антарктиды. Холодная, плотная вода стекает с ледника Фильхнера, попадая в море Уэдделла. Тот факт, что высокие концентрации фреона-11 были найдены на глубине 1500 м в Антарктике, является прямым указанием на то, что эти антропогенные соединения начали проникать в Антарктическую придонную воду.

САМАЯ примечательная особенность гигантских океанских водо-

падов - это, конечно же, огромные величины расхода. И здесь на первом месте водопад Датского пролива. В 1967 г. Л. Вортингтон из Вудс-Хола попытался определить расход этого водопада, опустив в районе порога на разные глубины 30 измерителей течений. Течения оказались настолько сильными, что 20 приборов унесло. Те, что удалось поднять, зарегистрировали скорости до 1,4 м/с - намного больше типичных скоростей поверхностных течений: от 0,1 до 0,5 м/с. Именно на основании этих данных и была получена оценка расхода водопада Датского пролива, которую я уже приводил: 5 млн. кубометров в секунду.

К сожалению, после этого измерений расхода было выполнено очень

немного. В 1973 г. сотрудники Бед-Фордского океанографического института в Дартмуте, пров. Новая Шотландия, оценили расход этого водопада в 2,5 млн. кубометров в секунду. Опасность потерять измерители течений в стремительных глубинных течениях Датского пролива остается препятствием для дальнейших работ в этом районе.

В 1978 г. Вортингтон и я попытались измерить расход водопада Кеара, через который Антарктическая придонная вода поступает в Северо-Американскую котловину. Данные приборов, измерявших скорости течений над порогом на 40 С.ш., позволили оценить расход этого водопада в 1-2 млн. кубометров в секунду, что в 5-10 раз превышает расход Амазонки. К моменту проведения этих работ техника постановки буйковых станций была усовершенствована, так что мы могли вести измерения на протя-

жении целого года и не потеряли ни одного прибора. Благодаря этому мы смогли узнать, как распределен по глубине перенос в слое между изотермами 1,0 и 1,90 С.

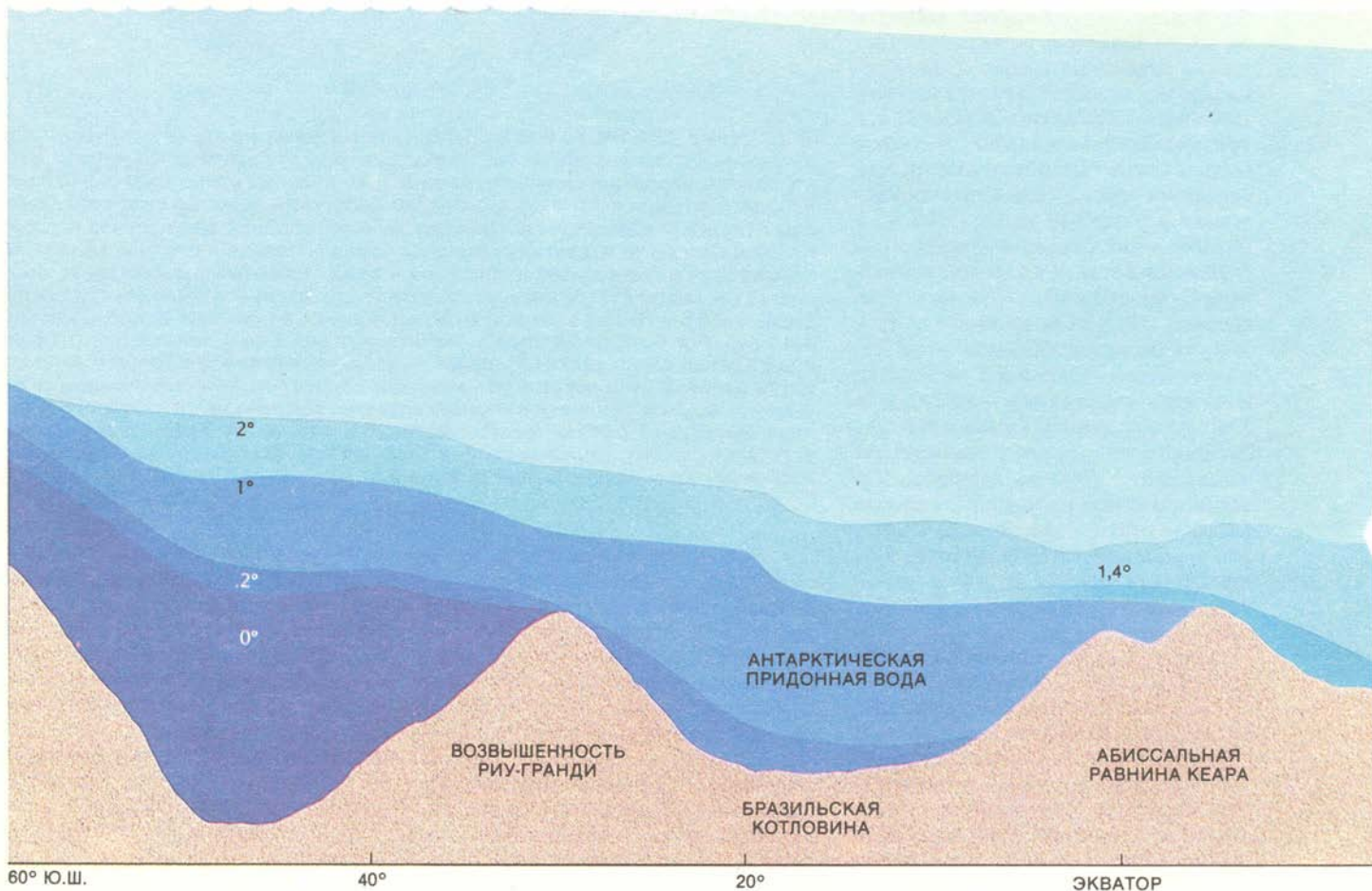
Приблизительно в это же время Н. Хоп и У. Шмиц из Вудс-Хола совместно с У. Гарднером и П. Бискаем из Геологической обсерватории в Ламонт-Доэрти измерили расход водопада Риу-Гранди. На основании результатов двухлетних измерений они получили величину 4 млн. кубометров в секунду; т.е. расход водопада Риу-Гранди оказался примерно равным расходу водопада Датского пролива.

В БОЛЬШИНСТВЕ случаев эти мощные потоки являются результатом различия в температуре воды в соседних котловинах; однако это не всегда так. Например, в Средиземном море вода благодаря испарению намного солонее, а значит, имеет боль-

шую плотность (несмотря на Большую температуру), чем самая глубокая вода в Атлантике. Поэтому, вытекая из Средиземного моря через Гибралтарский пролив, она должна погружаться в глубины Атлантического океана, образуя водопад.

По мере погружения соленая средиземноморская вода перемешивается с атлантической водой. В результате перемешивания плотность средиземноморской воды уменьшается, так что на глубине около 1000 м она оказывается равной плотности окружающей атлантической воды. На этой глубине средиземноморская вода перестает погружаться и начинает растекаться в виде шлейфа по обширной площади в северо-восточной части Атлантического океана; на графиках вертикального распределения солёности этот шлейф проявляется в виде максимума.

Турбулентное перемешивание сре-



НА МЕРИДИОНАЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ Атлантического океана от Гренландии до Антарктиды можно увидеть несколько водопадов. Возвышенность Риу-Гранди на широте 30° Южном полушарии служит преградой для направленного на север потока Антарктической придонной воды с температурой ниже 0 С. Но вода с температурой 0,20 С перете-

кает через возвышенность в Бразильскую котловину, образуя водопад Риу-Гранди. Абиссальная равнина Кеара, лежащая вблизи экватора, не дает воде с температурой менее 1° С распространиться на север. Однако вода с температурой 1,40 С перетекает через это препятствие, проникая в Северо-Американскую котловину в виде водопада

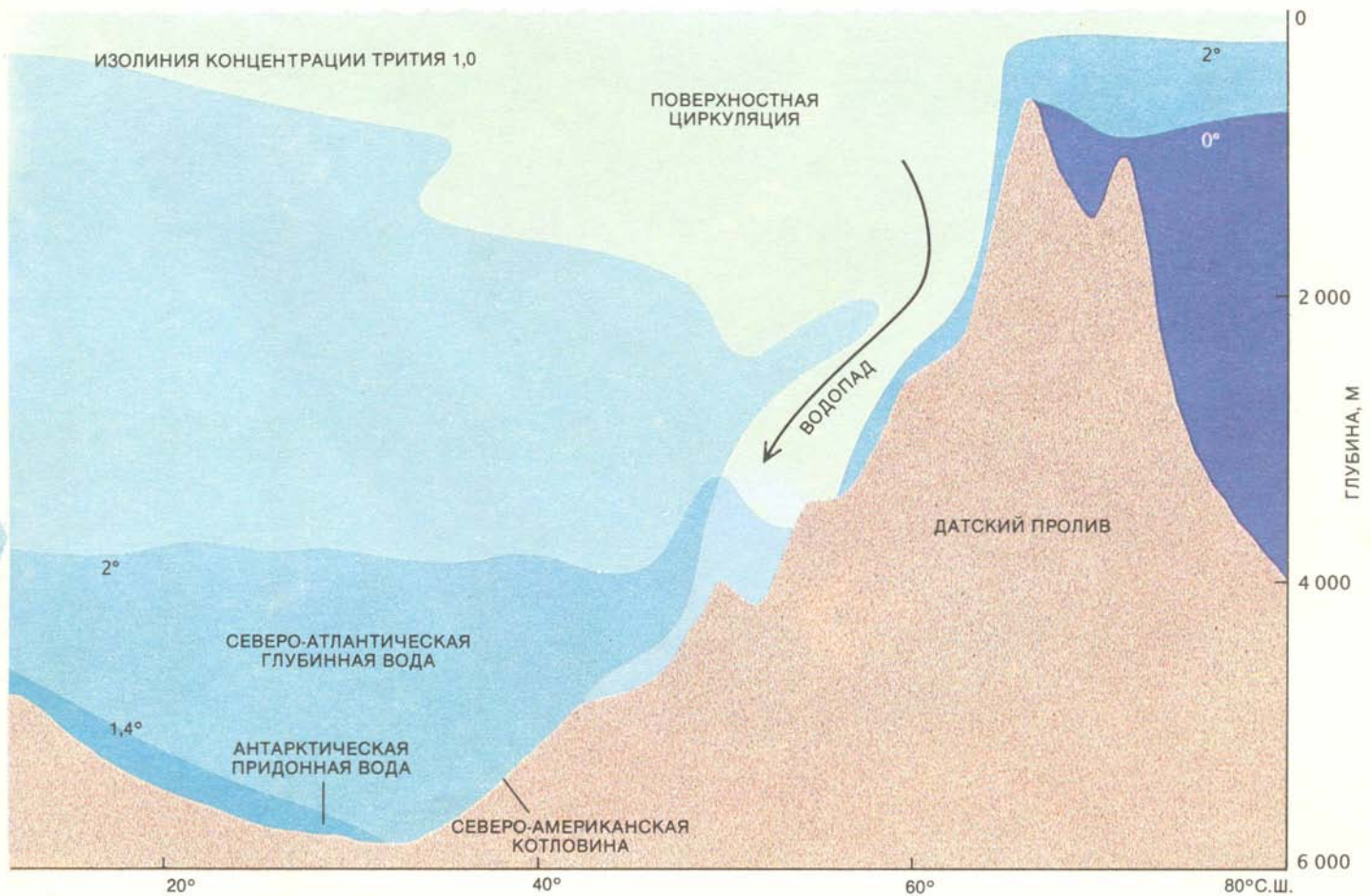
диземноморской воды с атлантической в Гибралтарском водопаде объясняет, почему шлейф залегает именно на этой глубине, но сама природа шлейфа не ясна. До сих пор никто не может сказать, почему в Гибралтарском проливе перемешивание идет более интенсивно, чем в водопаде Датского пролива. Представляется, что определенную роль могут играть следующие факторы: 1) большая крутизна континентального склона у побережья Испании, 2) более неоднородный, чем в Датском проливе, рельеф дна, 3) тот факт, что в Гибралтарском водопаде «движущей силой» служит различие в солёности, а в водопаде Датского пролива различие в температуре, 4) значительные колебания потока в Гибралтарском проливе из-за приливов и штормов. Чтобы выяснить, какие из этих (или каких-то других) факторов существенны, нужны новые фундаментальные исследо-

вания в области геофизической гидродинамики в сочетании с многочисленными наблюдениями.

Хотя процессы, влияющие на интенсивность перемешивания воды, остаются неясными, исследователи соглашаются в том, что перемешивание играет исключительно важную роль в тепловом балансе между водопадами и окружающими их водными массами. Водопад Кеара, вторгавшийся в Северную Атлантику, представляет собой язык холодной воды. На протяжении многих лет, как показывают наблюдения, этот язык сохраняет неизменную форму. Отсюда следует, что вода, движущаяся на север, должна нагреваться и, следовательно, подниматься поперек изотерм. Это возможно лишь в том случае, если более теплая вышележащая вода проникает в водопад благодаря перемешиванию и нагревает воду в нем.

Наличие у водопадов резких границ делает их весьма привлекательными для океанографов, изучающих турбулентное перемешивание в океане. Интенсивность перемешивания, а значит и тепловой баланс (перенос тепла в водопад и из него), измерить довольно легко. Исследования теплового баланса водопадов, проведенные Хоггом, Шмицем, Гарднером и Бискаем, затем Вортингтоном и мною и наконец П. Сондерсом из Института океанографических наук в Великобритании, показывают, что турбулентное перемешивание обеспечивает приблизительно в 1000 раз более эффективный обмен теплом, чем обычная молекулярная теплопроводность. В конечном счете мы надеемся определить тепловые балансы всех водопадов и океана в целом.

Поскольку водопады можно рассматривать как системы, в определенной мере изолированные от остально-



Кеара и снабжая Северную Атлантику Антарктической придонной водой. В водопаде Датского пролива вода с температурой 20 С переносится из Норвежского моря к югу, погружаясь на глубину около 3500 м; это Северо-Атлантическая глубинная вода, которая залегает непосредственно над Антарктической придонной водой. Под-

ходящей характеристикой, которая позволяет «отслеживать» водопады, наряду с температурой является содержание в морской воде трития - радиоактивного изотопа водорода, образовавшегося при ядерных испытаниях в атмосфере, проводимых главным образом в Северном полушарии в 50-60-х годах.

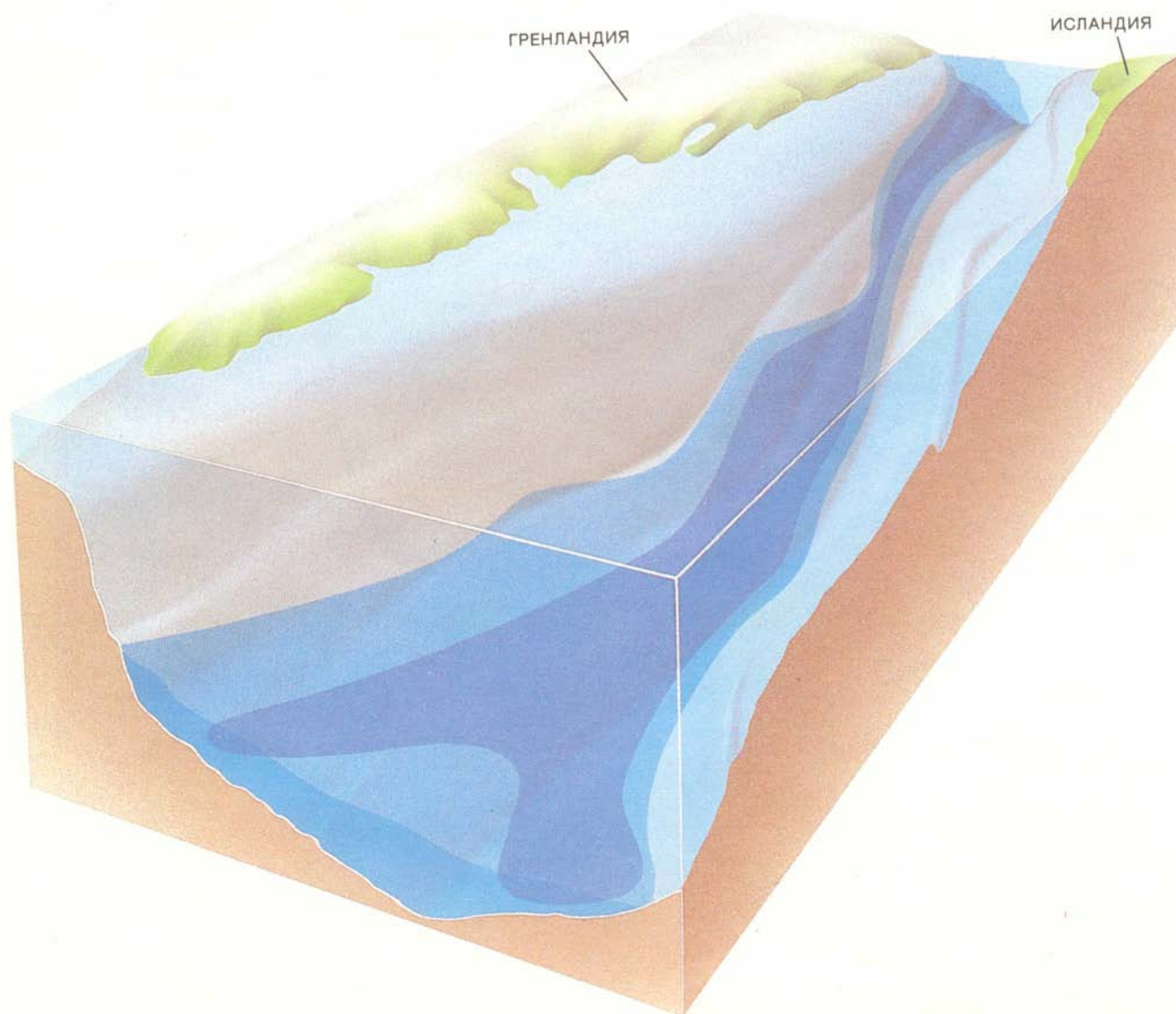
го океана, их можно моделировать в лабораторных условиях. В 1959 г. Т. Эллисон и С. Тэрнер, работавшие в Манчестерском университете, поставили простой эксперимент: в бак с наклонным дном, наполненный пресной водой, в «мелководную» его часть впускалась соленая вода. Изменялись скорость этой более плотной погружающейся воды, а также концентрация соли как функция угла наклона дна и скорости потока.

Наклон дна и скорость потока определяют число Фруда, которое выражает отношение сил инерции к силам плавучести (или отношение действительной скорости потока к скорости,

которую он приобрел бы, если бы на него действовала только сила тяжести). Эллисон и Тэрнер обнаружили, что, когда число Фруда такого лабораторного водопада было немного больше 1, поток становился турбулентным; возникавшее перемешивание приводило к тому, что число Фруда быстро стремилось к единице. Отсюда следует, что для водопада, по всей видимости, характерен баланс сил инерции и сил плавучести.

Эксперимент Эллисона и Тэрнера - это грубая модель реального океанского водопада, не учитывающая целый ряд дополнительных факторов, которые должны быть вклю-

чены в более реалистичную модель. Основные из этих факторов - сила Кориолиса и трение. Сила Кориолиса возникает вследствие вращения Земли; она действует на движущийся объект в направлении, перпендикулярном его скорости. Если объект движется вдоль меридиана, сила Кориолиса отклоняет его вправо в Северном полушарии и влево в Южном. В водопаде Датского пролива сила Кориолиса заставляет воду прижиматься к правой стенке канала и подниматься там, так что ее уровень у правой стенки примерно на километр выше, чем у левой. Точно так же под действием силы Кориолиса соленый средиземно-



ВОДОПАД ДАТСКОГО ПРОЛИВА (ВИД в пространстве). Порогом для этого водопада служит Исландско-Гренландский порог, который лежит на глубине 650 м. Через него течет вода из Норвежского моря, причем, по оценкам, расход этого водопада в 25 раз превышает расход Амазонки. Влияние силы Кориолиса приводит к тому, что у правой стенки канала (если смотреть вниз по течению) вода под-

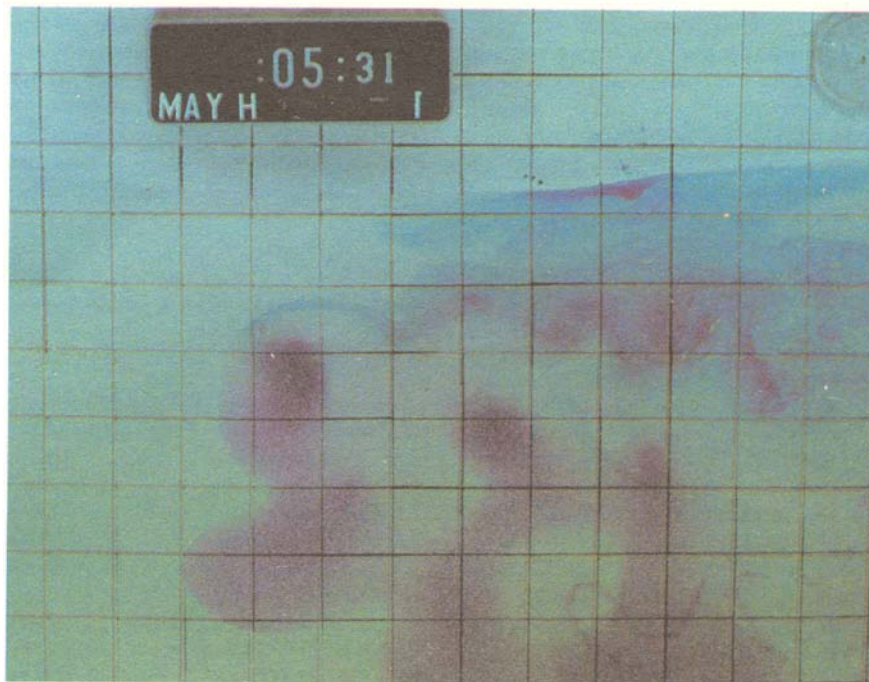
нимается примерно на километр по сравнению с левой стенкой. Темно-синим цветом обозначена вода с температурой 1,0 С, поток которой разветвляется у оконечности Гренландии. Выше лежит вода с температурой 1,80 С, которая проникает в Северную Атлантику на юг вплоть до Ньюфаундленда в виде длинного языка.

морский поток заворачивает вправо после того, как покидает Гибралтарский пролив; водопад, который при этом образуется, оказывается вытянутым вдоль побережья Испании.

НЕКОТОРЫЕ дополнительные факторы при анализе океанских водопадов попытался учесть П. Смит из Массачусетского технологического института. В 1973 г. он поставил эксперимент, в котором сила Кориолиса возникала благодаря вращению лабораторного стола; в модели учитывалось и придонное трение (между потоком и дном бака). Впоследствии, уже в теоретической модели, он ввел трение между потоком в водопаде и вышележащими слоями воды; трение учитывалось как «вовлечение» - перемешивание между различными слоями жидкости. Как свидетельствует теоретическая модель, величина скорости перемешивания, измеренная в Датском проливе, согласуется с предположением, что в динамике водопада придонное трение играет более важную роль, чем трение между соседними слоями воды. Смит пришел также к выводу, что придонное трение доминирует в начале водопада, тогда как вовлечение становится существенным ниже по потоку.

За последние несколько лет Дж. Прайс и М. О' Нил из Вудс-Хола усовершенствовали модель Смита: использованная ими формула для вовлечения была выведена на основании детального изучения перемешивания в верхнем слое океана. Работая в сотрудничестве с Т. Санфордом из Вашингтонского университета и Р. Луэком из Университета Джона Гопкинса, они измеряли скорости течений, температуру и соленость в Гибралтарском водопаде. Сравнение наблюдений с моделью показывает, что рассчитанное по модели распределение плотности воды в океанском водопаде близко к реальному. Из этих данных можно также сделать вывод (согласующийся с выводом Смита), что основную роль в торможении воды играет придонное трение, по крайней мере, при условии, что скорость не превышает некоторого критического значения (в противном случае происходит интенсивное перемешивание водопада с окружающей водой). Однако, в отличие от Смита, эти исследователи пришли к выводу, что в начале водопада важную роль играет вовлечение, тогда как придонное трение «вступает в игру» ниже по потоку.

Остается неясным, в какой мере результаты теоретических моделей и лабораторных экспериментов, в которых вращающиеся столы имеют ограниченные размеры, можно отне-



ВИХРИ в лаборатории можно получить, если в пресную воду во вращающемся баке впустить соленую воду (в эксперименте соленая вода была подкрашена красной краской, а часть пресной синей). Более плотная соленая вода погружается, перемешиваясь благодаря турбулентности с окружающей водой и увлекая за собой менее плотную вышележащую воду. Сила Кориолиса превращает направленное вниз движение в циркуляционное, в результате чего возникает вихрь. На фотографии видны три таких вихря. Тот же процесс, начинающийся вследствие погружения воды в океанском водопаде, может приводить к образованию вихрей, достигающих в поперечнике нескольких километров.

сти к реальному океану, где турбулентность, похоже, более интенсивна и где рельеф дна вносит неизвестный нам вклад в процессы придонного трения и перемешивания. Непосредственные измерения величины трения и интенсивности перемешивания у дна начинают выполняться только сейчас. Таким образом, пока остается неясным, насколько величина трения, использованная при расчетах, соответствует реальному океану; нужны новые данные, лишь они позволят решить, можно ли считать приемлемыми предположения, использованные в моделях, или их следует пересмотреть.

Несмотря на то что надежных данных измерений в океане имеется немного, исследователи продолжают усложнять свои модели. Проведенные в последнее время лабораторные эксперименты проливают свет на некоторые эффекты силы Кориолиса. Так например, опыты на вращающемся столе, выполненные Р. Гриффитсом из Австралийского национального университета независимо от него М. Стерном из Университета шт. Флорида, Г. Флиерлом и В. Клингером из Массачусетского технологического института и автором статьи, показали, что сила Кориолиса ответственна за генерацию изо-

лированных вихрей (небольших океанских водоворотов) над водопадами.

Были предложены два существенно различных механизма генерации таких вихрей. Гриффитс считает, что водопад генерирует «инерционные» волны - такие вихревые волны, в которых вода вращается в горизонтальной плоскости попеременно то в одну, то в другую сторону, как в стиральных машинах. Волны распространяются вверх и, согласно Гриффитсу, в конце концов разрушаются, создавая над водопадом интенсивные завихрения. Подобный процесс действительно наблюдался в экспериментах, когда во вращающейся жидкости с помощью решетки создавали инерционные волны.

Стерн, Клингер, Флиерл и я предложили другой механизм генерации вихрей. Мы считаем, что они являются прямым следствием вертикального перемешивания, обусловленного мелкомасштабной турбулентностью во вращающейся жидкости, когда под менее плотной водой лежит более плотная. В соответствии с нашей моделью турбулентность приводит к перемешиванию более плотной вышележащей воды с менее плотной вышележащей. Плотность последней возрастает и она погружается, засасывая во-

ду, которая находится непосредственно над ней. Сила Кориолиса изменяет ориентацию потока, переводя его в горизонтальную плоскость, в результате чего между водопадом и поверхностью океана возникает вихрь. Такие вихри могут входить как составные элементы в большие океанские вихри, достигающие сотен километров в поперечнике и существующие несколько лет (см. P.H. Wiebe. Rings of the Gulf Stream, "Scientific American", March 1982), однако вне стен лаборатории вихри меньшего масштаба пока не обнаружены.

ВДОПОЛНЕНИЕ к эффектам, которые они оказывают на температуру и соленость вод глубокого океана, водопады могут, вероятно, существенно влиять на биологические процессы. Один такой пример дает водопад у Южных Шетландских островов. Покинув море Уэдделла, которое находится в южной части Атлантического океана, вода здесь постепенно заглубляется, двигаясь в западном направлении - к морю Скотия в южной части Тихого океана. У. Наулин из Техасского университета сельского хозяйства и техники и У. Ценк из Института морских наук при Кильском университете в ФРГ выдвинули предположение, что этот глубинный водопад влияет на жизненный цикл криля в море Скотия.

Известно, что взрослые особи криля откладывают икру вблизи Южных Шетландских островов, образуя там огромные скопления, которые служат пищей китам. Эти скопления криля располагаются вблизи мощного Циркумполярного течения - потока восточного направления. Криль откладывает икру на глубине около 50 м, но потом икринки опускаются на 1000-метровую глубину, где вылупляются личинки.

Интересно, что скопления молодых особей криля обнаруживаются в сотнях километров к западу, хотя Циркумполярное течение направлено на восток. Наулин и Ценк выдвинули предположение, что на запад криль «путешествует» в водопаде. Если это предположение верно, то личинки поднимаются и постепенно сносятся на восток Циркумполярным течением в места скопления взрослых особей. Таким образом, океанские водопады могут играть роль того механизма, который «закрывает» траекторию перемещения криля, т. е. связывает места, где откладывается икра, где выводятся личинки и где образуются скопления взрослых особей.

Хотя в последние 20 лет было получено много данных о протяженности океанских водопадов и их расходах,

профилях температуры и химическом составе воды, нужно провести еще очень много измерений, чтобы определить скорости перемешивания воды в водопаде с окружающей водой и величину трения у дна. В результате

должно проясниться наше представление о величайших водопадах на нашей планете, которые, оказывая влияние на соленость, температуру и биологию океана, влияют на климат и экологию всей Земли.

Наука и общество

Вездесущий регулятор

РОЛЬ гомеобокса, к которому в биологии развития относились как к свяшенному Граалю, теперь представляется еще более мудреной. Гомеобокс - это короткая последовательность нуклеотидов ДНК, присутствующая в генах, которые, по-видимому, управляют ключевыми событиями эмбрионального развития; такая последовательность обнаружена у самых разных видов. Предполагается, что белки, кодируемые «гомеобоксовыми» генами, связываются с ДНК и таким образом регулируют генную экспрессию. Однако веских доказательств этому не было.

И вот несколько групп исследователей сообщили об окончательном доказательстве того, что белки, кодируемые генами с гомеобоксом, связываются с ДНК и регулируют транскрипцию (синтез РНК-копий ДНК), т. е. первый этап генной экспрессии. Однако новые факты были обнаружены в неожиданной ситуации: не в дифференцирующихся эмбриональных клетках, а в зрелых тканях у млекопитающих неСКОЛЬКИХ ЖИВОВ. По всей видимости, некоторые «гомеобоксовые» белки определяют судьбу зрелых клеток, а не эмбриональных. Тем самым механизм действия гомеобокса обрел БОльшую глубину и в целом его роль предстает более сложной.

Гомеобокс был впервые идентифицирован в 1983 г. как одинаковый участок в нескольких генах, управляющих сегментацией эмбриона плодовой мушки *Drosophila* и определяющих судьбу сегментов (например, формируются ли в данном сегменте конечности или крылья). (См. статью: В. Геринг. Молекулярная биология развития. «В мире науки», 1985, № 12). С тех пор были обнаружены и другие гены *Drosophila*, содержащие гомеобокс, и выяснилось, что сходные последовательности ДНК играют роль в эмбриональном развитии иных животных, в частности червей, лягушек и мышей. Во всех этих случаях гены с гомеобоксом, по-видимому, служат руководящими генетическими элементами, взаимодействуя с каскадом других генов и направляя разви-

тие клетки по какому-либо специфическому пути.

Недавно у млекопитающих открыты три гена, содержащих гомеобокс, которые действуют не так. Все они кодируют факторы транскрипции, т. е. белки, которые, связываясь с определенной последовательностью ДНК, влияют на интенсивность транскрипции соответствующих генов. Эти белки обозначены ОСТ-1, ОСТ-2 и Pit-1; каждый из них действует только в определенных тканях. По крайней мере от ОСТ-2 и Pit-1 зависит конечная специфика ряда зрелых тканей.

ОСТ-2 образуется в клетках иммунной системы, называемых В-лимфоцитами, в которых в процессе их созревания (они превращаются в плазматические клетки, ПРОИЗВОДЯЩИЕ большое количество определенных антител) он стимулирует синтез антител. Этот фактор транскрипции влияет на активность генов иммуноглобулинов, кодирующих компоненты антител. Известно, что ОСТ-2 действует путем связывания с ДНК. Группе исследователей, возглавляемой Р. Редером из Рокфеллеровского университета, удалось, как сообщают в журнале «Nature», клонировать ген ОСТ-2 и показать, что он содержит гомеобокс. Этот результат, по словам авторов, «удивителен и в то же время значителен».

Pit-1 проявляет себя в гипофизе, где он в двух родственных популяциях клеток стимулирует синтез собственных гормонов, а именно гормона роста и пролактина. В журнале «Cell» опубликованы сообщения двух исследовательских групп из Медицинской школы Калифорнийского университета в Сан-Диего (одной руководит М. Карин, другой М. Розенфельд) о том, что клонирован ген Pit-1 и что он включает в себя гомеобокс.

То, что гомеобокс функционирует в зрелых клетках, - это еще не самое удивительное. Обнаружено, что во всех этих трех генах вплотную к гомеобоксу с обеих сторон располагаются одинаковые последовательности ДНК. Гомеобокс состоит из 180 нуклеотидов, кодирующих 60 аминокислот. Соседняя с ним последова-

тельность несколько длиннее - она кодирует 75 аминокислот. Эта последовательность получила название ROU (произносится «пау»), так как впервые ее нашли в генах Pit и OCT, а также в гене *unc-86* у круглого червя *Caenorhabditis elegans*.

Сочетание ROU и гомеобокса мало понятно. Что общего имеет действие участка гена с гомеобоксом в эмбриональном развитии и в конечной дифференцировке зрелых тканей? Каковы эволюционные взаимосвязи между двумя различными аспектами его функционирования?

Весьма актуален также вопрос о том, как работает сочетание ROU и гомеобокса на молекулярном уровне. Простой ответ заключается в предположении, что каждый «гомеобоксовый» белок связывается со «своей» специфической последовательностью ДНК и таким образом приводит в действие какой-то определенный ген или комбинацию генов. Но это предположение оказалось неверным. В отличие от OCT-2 и Pit-1 белок, кодируемый OCT-1, не обладает тканеспецифичностью, т. е. присутствует в клетках многих различных типов. Его действие состоит в том, что он вызывает выход из клетки синтезируемых в ней белков. Оказывается, что тканеспецифичный OCT-2 и «вездесущий» OCT-1 связываются с одной и той же последовательностью ДНК. Значит, гипотеза, согласно которой специфика клетки есть результат уникального соответствия между «гомеобоксовым» белком и определенной последовательностью ДНК, не отражает истины.

Ограниченные системы ПРО: "за" и "против"

НАИБОЛЕЕ горячие сторонники СОИ, включая бывшего министра обороны Каспара Уайнбергера, директора организации по осуществлению СОИ (ОСОИ) Джеймса А. Абрахамсона и, разумеется, Рональда Рейгана, ушли в отставку. Сейчас СОИ определенно испытывает финансовые затруднения: четыре года назад ОСОИ планировала, что ее годовой бюджет достигнет 8 млрд. долл. в 1989 г., однако осенью прошлого года конгресс выделил лишь 4,1 млрд. долл., что едва достаточно для покрытия темпов инфляции. К тому же все, кроме самых фанатичных сторонников СОИ, ныне признают, что намерение Рейгана сделать ядерное оружие «беспольным и устаревшим» есть чистая фантазия.

И тем не менее деятельность по осуществлению СОИ продолжается. Действительно, сейчас представляет-

ся наиболее вероятным, что система стратегической обороны внеполном виде будет развернута в этом столетии. «Сообщения о «смерти» СОИ», - говорит Джон Е. Пайк из федерации американских ученых, - сильно преувеличены».

Денежные средства, которые выделялись на осуществление СОИ (хотя их размеры не возрастали столь быстро, как надеялся Пентагон) в последние годы, позволили исследователям создать, как отмечает Пайк, ряд идеальных компонентов. В нынешнем году ОСОИ планирует провести испытания некоторых из этих компонентов, предназначенных как для обнаружения ракет противника - ИК-датчики, системы, генерирующие пучки частиц, - так и для их уничтожения - самонаводящиеся ракеты. По мнению Пайка, если испытания будут успешными, то отпадут некоторые сомнения в научной обоснованности программы СОИ.

Пентагон предпринимает также попытки снизить затраты на реализацию СОИ. Всего год назад оценки затрат на развертывание первой полосы, или фазы обороны, рассчитанной на уничтожение половины межконтинентальных баллистических ракет, стартовавших с территории СССР, много превышали 100 млрд. долл. Однако осенью прошлого года Абрахамсон сообщил, что достижения в технологии и перенос некоторых компонентов космического базирования на землю позволят снизить стоимость первой фазы обороны до 69 млрд. долл. Хотя и эта сумма представляется значительной, она сравнима со стоимостью крупных военных программ, например строительства бомбардировщиков-«невидимых» В-2.

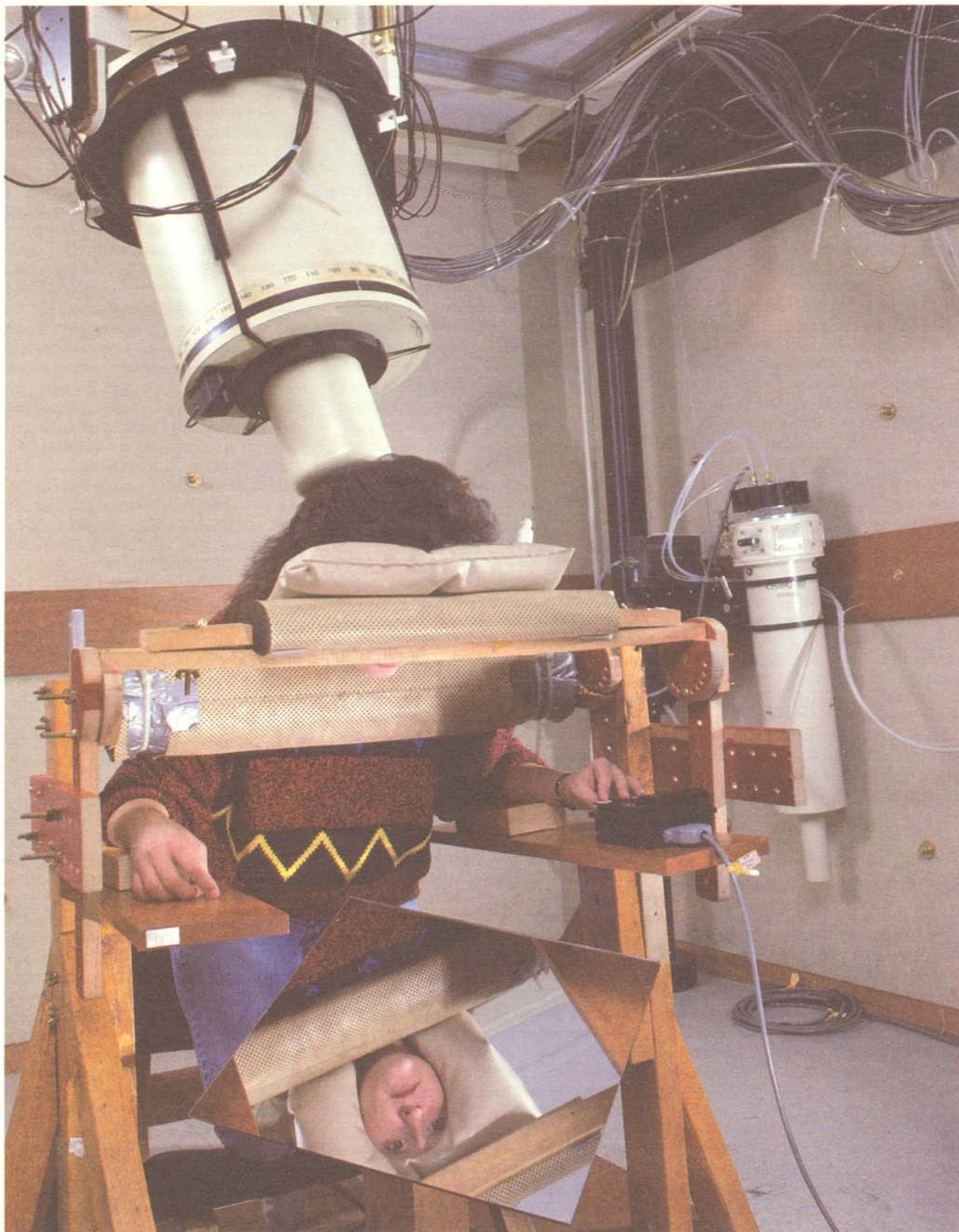
К планам создания 1 фазы противоракетной обороны скептически относятся не только члены конгресса и сторонники контроля над вооружениями, но также и некоторые члены объединенного комитета начальников штабов, которые опасаются, что значительные увеличения ассигнований на СОИ приведет к сокращению средств, выделяемых на другие военные программы, которые, по их мнению, являются еще более важными. В Вашингтоне, судя по всему, все чаще раздаются голоса за уменьшение масштабов противоракетной обороны. Во время прошлогодней президентской кампании Джордж Буш высказал мнение, что полномасштабная стратегическая система обороны может быть очень дорогой, и выразил заинтересованность лишь в ее частичном развертывании. Brent Скоукрофт, советник президента по нацио-

нальной безопасности, выражает сомнение в необходимости развертывания полномасштабной оборонительной системы для защиты всей территории США. В одной из своих статей, написанной в соавторстве с другими экспертами, он высказывает мнение, что система противоракетной обороны (ПРО) может потребоваться для защиты баз бомбардировщиков и подводных лодок от ракет, запущенных с советских подводных лодок.

Некоторые представители демократического крыла конгресса также отдают предпочтение ограниченной системе ПРО. В начале прошлого года Сэм Нанн, председатель комиссии сената по вооруженным силам, поднял вопрос о возможности развертывания «системы защиты от случайно запущенных ракет», предназначенной для уничтожения ракет, запущенных Советским Союзом по ошибке или террористами преднамеренно. Недавно Лес Аспин, председатель комиссии по вооруженным силам при палате представителей конгресса, предложил создать систему защиты наземных ракетных пусковых установок.

Роберт Макнамара, который был министром обороны с 1961 по 1968 г., а в настоящее время является директором ассоциации по контролю над вооружениями, считает все эти меры неэффективными. По его мнению, сверхдержавы могли бы избежать случайного запуска ракет гораздо дешевле и эффективнее, установив на них управляемые по радио устройства, выводящие боеголовки из строя; террористы же, отмечает Макнамара, скорее всего решат доставить атомную бомбу в США на судне или самолете, чем будут запускать ее на ракете. Что касается системы обороны, предложенной Скоукрофтом и Аспином, то, как считает Макнамара, США могут гораздо проще гарантировать себе возможность нанесения ответного удара в ответ на советский первый удар, например, держа постоянно в воздухе несколько бомбардировщиков и несколько подводных лодок в море или же на основе заключения двусторонних договоров.

По мнению бывшего министра обороны, системы ПРО являются по своей сути дестабилизирующими факторами: они скорее спровоцируют, чем предотвратят первый удар. Макнамара отмечает, что осознание этого факта привело к подписанием в 1972 г. Договора по ограничению ПРО между США и СССР и этот факт остается в силе и сейчас. Игнорируя его, США могут вызвать гонку вооружений, которая не усилит, а лишь поставит под угрозу безопасность США.



СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ квантовые интерференционные детекторы (СКВИДы) внутри белого цилиндра (над затылком женщины) регистрируют магнитные поля, которые индуцируются электрической активностью мозга, обусловленной реакцией испытуемой на собственное отражение в зеркале. Магнитные поля в отличие от электрических не

искажаются черепной коробкой. Метод диагностики, называемый магнитоэнцефалографией, возможно, окажется одной из важных областей применения низкотемпературных, а может быть, и высокотемпературных сверхпроводников. Фотография сделана в лаборатории С. Ульямсона и Л. Кауфмана в Нью-Йоркском университете.

НОВЫЕ сверхпроводники: перспективы применения

От достижений в области материаловедения сейчас зависит, будут ли реализованы надежды на практическое использование высокотемпературных сверхпроводников в различных отраслях экономики. Для этого нужна долгосрочная исследовательская программа

АЛАН М. вольеки,

РОБЕРТ Ф. ГИЗ, ЭДВАРД

ДЖ. ДАНИЕЛЬЕ

ЗА 80 ЛЕТ, прошедшие после открытия Х. Камерлинг-Оннесом сверхпроводимости, в понимании этого явления многое прояснилось, но и сейчас соображения Оннеса о практическом использовании сверхпроводимости остаются актуальными. В 1911 г. он был поражен, обнаружив, что ртуть, охлажденная до температуры жидкого гелия (4 К, 4 градуса выше абсолютного нуля), полностью теряет электрическое сопротивление. Двумя годами позже им было также установлено, что олово и свинец при 4 К тоже проявляют свойства сверхпроводимости. «Олово и свинец, - писал Оннес, - являются хорошо обрабатываемыми материалами, и поэтому теперь мы можем проводить различные электрические измерения с помощью приборов с нулевым сопротивлением ... Необычность такого [сверхпроводящего] состояния ярко проявляется на примере создания сильных магнитных полей с помощью катушек, не имеющих железных сердечников». У железных сердечников два недостатка: они тяжелы и их способность увеличивать магнитное поле вокруг катушки с током ограничена.

Однако надежда на создание сверхпроводящих магнитов без сердечников не оправдалась, так как сверхпроводящие олово и свинец не способны пропускать достаточно большие токи. Прошло 50 лет, прежде чем исследователи открыли сплавы ниобия и титана, а также ниобия-3 и олова, способные переносить требуемый ток. Но эти сплавы, подобно олову и свинцу, также требуют охлаждения до температуры 4 К с помощью дорогостоящего гелия, что сильно ограничивает их применение. Впоследствии (два года назад) несколько групп в разных странах, вдохновленные открытием специалистов Исследовательской лаборатории фирмы IBM в Цюрихе К. Мюллера и Дж. Беднор-

ца, создали материал из иттрия, бария и оксида меди, который проявляет свойства сверхпроводимости при 90 К. Вслед за этим другие исследователи обнаружили еще два различных семейства медных оксидов, один из которых содержит висмут, а другой - таллий; они становятся сверхпроводниками при температурах в диапазоне от 110 до 120 К.

Полученные высокотемпературные сверхпроводники можно охлаждать до 77 К с помощью доступного и дешевого жидкого азота. Это породило надежду, что сверхпроводники, которые долго считались не экономичными и не практичными, можно будет использовать в определенных областях. Однако многие ранее предполагаемые применения, как, например, в генераторах и моторах, накопителях энергии, в поездах на магнитной подушке, требуют решения тех же проблем, которые были предметом обсуждения еще во времена Оннеса. Так, пока еще не ясно, окажутся ли новые материалы подходящими для практического использования, и будут ли они достаточно прочными и гибкими, чтобы из них можно было делать провода и придавать им другие нужные формы. Не известно также, смогут ли провода из нового материала нести большие токи и работать в сильных магнитных полях. Вообще, насколько перспективными окажутся новые открытия зависит от того, в какой степени они смогут удовлетворить требования технологии в известных областях, а также от того, какие появятся новые, пока не известные, области их применения. Эти последние как раз и могут повлиять на их быстрое развитие. Никто же не предвидел в 1960 г., когда обнаружили способность соединения ниобия-3 и олова, а также ниобия и титана в режиме сверхпроводимости пропускать большие токи в присутствии достаточно сильного магнитного по-

ля, что сверхпроводимость найдет промышленное применение в широко известной сегодня ЯМР-томографии, используемой для медицинской диагностики. Оставив попытки предугадать неизвестное, попробуем с помощью известных технико-экономических характеристик новых сверхпроводников оценить перспективы их применения.

Основные сведения

Многие проводники могут находиться либо в обычном, либо в сверхпроводящем состояниях, подобно воде, существующей в жидком или в твердом состояниях. Известно, что существует определенная температура, выше которой вода находится в жидком состоянии, а ниже - в твердом. Так и в отношении проводимости имеется «температура перехода», выше которой материал может быть обычным проводником, а ниже - переходит в сверхпроводящее состояние. Температура перехода зависит от давления, аналогично тому, как высокое давление поднимает точку замерзания воды. В сверхпроводящем материале температуру перехода в сверхпроводящее состояние изменяет также величина электрического тока и магнитного поля, и это определяет их применимость для практического использования в различных областях.

Обычные проводники имеют электрическое сопротивление, которое образно можно представить как «трение», заставляющее электроны в направленном движении рассеивать свою энергию в виде тепла. Сверхпроводник имеет нулевое сопротивление и поэтому способен переносить постоянный ток без потери энергии и выделения тепла. (В случае переменных токов ситуация иная: они теряют небольшое количество мощности, пропорциональное частоте тока и за-

висящее от размера и формы провода, качества поверхности и величины магнитного поля.)

Механизм, приводящий к утрате сверхпроводником электрического сопротивления, обуславливает также и его поведение в магнитном поле. Если сверхпроводник поместить в слабое магнитное поле при температуре ниже точки перехода, он «вытолкнет» его, как будто в нем имеются маленькие магниты, поле которых компенсирует внешнее. В этом и заключается знаменитый эффект Мейснера, благодаря которому кусочек сверхпроводника может висеть над магнитом. Рассмотренное свойство объясняет и способность сверхпроводника экранировать магнитное поле, так же как проводник экранирует электростатическое поле.

Почему сверхпроводимость при 77 К более предпочтительна чем при 4 К? Потому что она достигается более экономичными средствами. Для того чтобы охладить сверхпроводник к нему необходимо непрерывно подавать либо жидкий гелий (4 К), либо жидкий азот (77 К), так как тепло, поступающее извне, испаряет хладагенты. За один час один ватт тепла испарит 1,4 л жидкого гелия и 0,016 л жидкого азота. Восполнение потерь хладагента ежегодно обходилось бы в 50 тыс. долл. для систем на жидком гелии (из расчета 4 долл. за 1 л), и 35 долл. - на жидком азоте (25 центов за 1 л). Для крупномасштабных применений, где ежедневная составляющая составляет лишь малую часть общих издержек, переход на жидкий азот не дал бы значительного экономического эффекта. Использование жидкого азота в конструкциях средних и малых размеров существенно сократило бы их стоимость, так как в них отношение поверхности к объему большое и, следовательно, охлаждение их гелием обошлось бы дороже. В этом случае экономия может составить существенную часть общей стоимости установки. Это очень важно, поскольку малогабаритные приборы, как правило, дешевле больших, и, таким образом, проще начать с них. Кроме того, в установках с гелиевым охлаждением инженеры часто конструируют сложную систему теплоизоляции и восстановления жидкого гелия, чтобы избежать утечки дорогостоящего хладагента. Такое оборудование само по себе недешево, и к тому же дополнительные усложнения уменьшают надежность всей системы. Использование же жидкого азота позволит упростить и удешевить термоизоляцию, отказаться от громоздких устройств для воспроизводства хладагента и заменить их на более удобные.

Сверхпроводящие магниты

Магниты - неотъемлемая часть каждого электрического генератора и мотора. В промышленности магниты поднимают и отделяют из общей массы изделия из железа и стали, удаляют магнитные примеси из глины и других веществ. Последнее достижение медицинской диагностики, ЯМР-томография, использует сверхпроводящий магнит для ориентации магнитных моментов ядер водорода, присутствующих в теле человека; радиоимпульс разупорядочивает ядра, затем они, как известная игрушка ванька-встанька, возвращаются в прежнее положение. Во время колебаний ядра излучают свой собственный радиосигнал, который можно регистрировать.

Большинство электромагнитов делают из медного провода, навитого на железный сердечник. Токи, текущие в катушке, создают магнитное поле, направленное вдоль ее оси. Сама катушка обладает небольшим полем, так как медные провода могут выдержать плотности токов до 400 А/см². (Если ток через провод увеличится, то основным ограничением станет стоимость отвода выделяемого тепла.)

Железный сердечник значительно усиливает магнитное поле катушки. Магнитные моменты электронов в сердечнике выстраиваются вдоль поля катушки, увеличивая его величину в сотни и даже тысячи раз, что позволяет создавать поля до 2 Тл, т. е. в 40 тыс. раз больше, чем поле Земли. Получить более сильные поля невозможно, так как сердечник «насыщается», поскольку имеет конечное число ориентируемых электронов. Электромагниты с железными сердечниками имеют и другой недостаток - большой вес, что значительно утяжеляет электромоторы и генераторы. Если уменьшить вес оборудования в самолете (тем самым увеличивая полезную грузоподъемность), то экономия составит около 1000 долл. на 1 кг веса за время службы самолета. Экономия может быть даже больше - около 6000 долл. на 1 кг, как, скажем, для ракет «Титан-4», выводящих полезные грузы на околоземную орбиту.

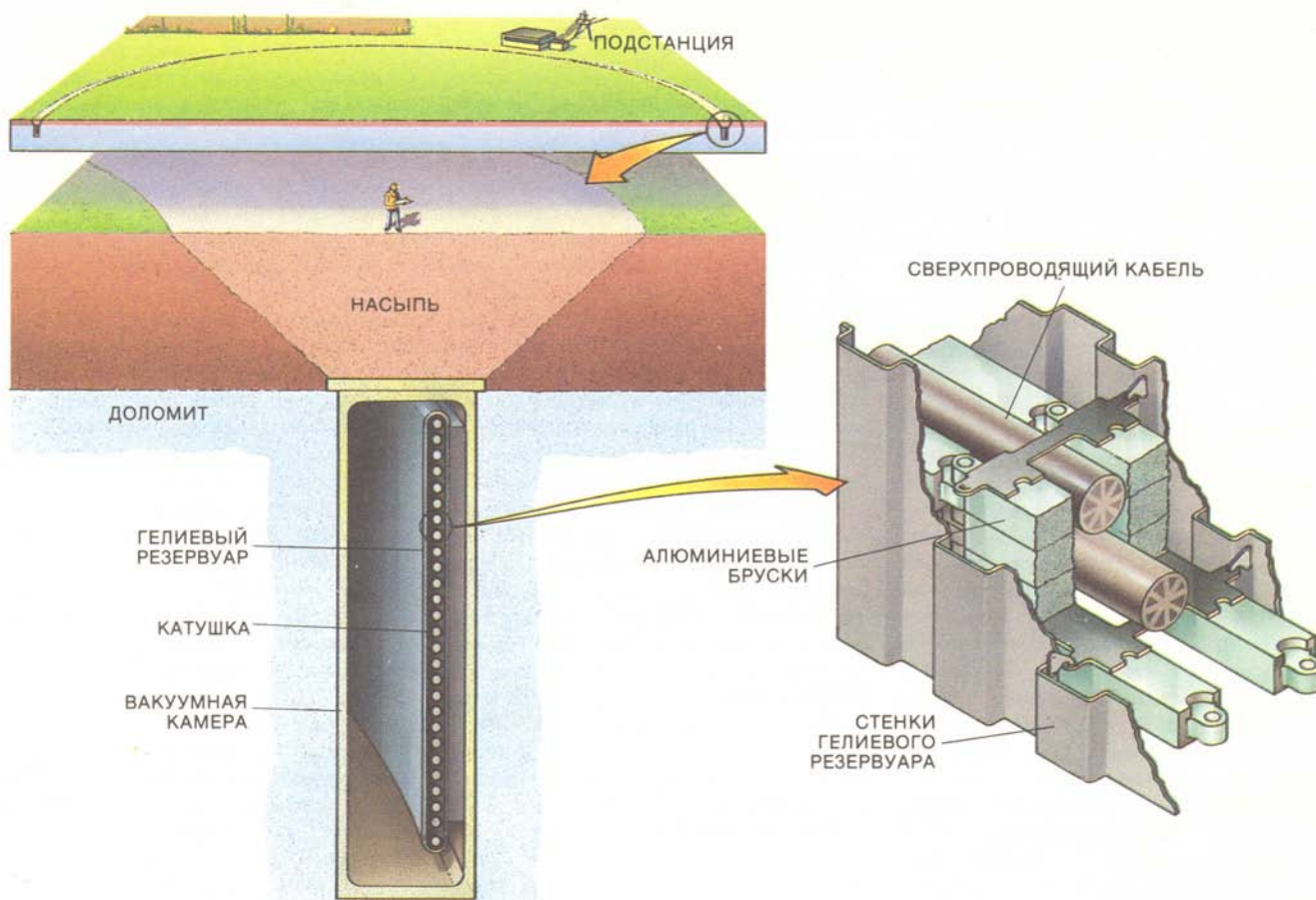
Сверхпроводники позволяют создавать более мощные и легкие магниты. Можно будет обойтись без железного сердечника, если соответственно увеличить ток через катушку. Так, если сердечник увеличивает магнитное поле медной катушки в 1000 раз, то для создания такого же поля сверхпроводниковой катушкой по ней необходимо пропустить ток в 1000 раз больше, т. е. его плотность должна быть

400 000 А/см². Сверхпроводники из сплавов ниобия-3 и олова, а также ниобия и титана обладают такой пропускной способностью только при температуре жидкого гелия (4 К). Исследователи AT & T Bell Laboratories создали объемные образцы (не проволоку) из соединения иттрий-барий - оксид меди, выдерживающие плотность тока до 4000 А/см² при температурах жидкого азота (77 К) в магнитном поле 1 Тл. В отсутствие магнитного поля плотность тока в образцах может достигать величины 17 000 А/см².

Генераторы и линии электропередачи

В электрогенераторах механическая энергия вращения магнита, приводимого в движение турбиной, возбуждает ток в обмотке. Сверхпроводящие магниты могут повысить КПД генераторов (см. Т.Н. Geballe. Superconductors in Electric-Power Technology, "Scientific American", November, 1980). В США и Японии уже сконструированы генераторы небольшой мощности, использующие низкотемпературные сверхпроводники. Оценки показывают, что КПД генераторов большой мощности на сверхпроводниках составит 99,5070, хотя и у обычных генераторов КПД уже достигает 98,6%. Ежегодная экономия топлива при использовании сверхпроводников составит 1%, что существенно в сравнении с общими ежегодными эксплуатационными затратами на электростанциях (они исчисляются несколькими миллионами долларов), но в то же время эта экономия оказывается незначительной, если учесть, что общие капиталовложения в остальное электротехническое оборудование будут в 100 раз больше.

Изучение данной проблемы открыло одно совершенно новое преимущество сверхпроводящих генераторов. Его сложно оценить в денежном выражении, но тем не менее оно является весьма важным. Потребители электроэнергии сталкиваются с серьезной проблемой неожиданно возникающего короткого замыкания, например при ударе молнии в линию электропередачи. Вследствие этого нарушается нормальный режим электроснабжения. В этом случае необходимо быстро устранить короткое замыкание и восстановить прежний режим работы генераторов, пока они не вышли из строя. Управление магнитной системой без железного сердечника при использовании сверхпроводников осуществляется проще и позволяет восстановить нормальный режим работы электростанции за более короткое время.



СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ магнитный энергонакопитель (SMES), состоящий из гигантских сверхпроводящих колец, может аккумулировать и бесконечно долго сохранять электроэнергию. Емкость SMES 5000 МВт·ч, мощность заряда-разряда 1000 МВт; накопитель должен быть размещен под землей, чтобы сохранять магнитное поле катушки. Катушка

высотой 24 м и диаметром 1568 м создает давление на стенку величиной около 1000 кг/см². Кабель обложен брусками из высокочистого алюминия. В случае неожиданного нарушения режима сверхпроводимости бруски должны поглотить выделяющиеся тепло и электроэнергию и предотвратить разрушение системы.

Уже в течение 10 лет существуют различные технологии создания сверхпроводящих турбогенераторов. Почему же ни одна из них не реализовалась практически? Ответ прост. Если хладагентом является жидкий гелий, то экономически выгодно делать только большие генераторы. Но в США потребность в новых больших генераторах отсутствовала, и поэтому не было нужды использовать непроверенную технологию. Однако существует спрос на малые генераторы (менее 100 МВт), и такие машины с применением новых сверхпроводников могут стать конкурентами обычных установок. На это есть две причины: охладительные системы будут менее дорогими, а сами генераторы более надежными и удобными в эксплуатации.

Подобные доводы приводятся и когда речь идет о применении сверхпроводников в линиях передачи и системах распределения электроэнергии. Применение алюминия и меди в этой области приводит к тому, что

5-8070 всей вырабатываемой в США электроэнергии в настоящее время теряется на линиях передачи от электростанции до потребителя. В то же время медь и алюминий могут добавляться в новые провода для придания им прочности и гибкости при натяжении между опорами. Воздух охлаждает провода и изолирует их, не требуя никаких дополнительных затрат. Сверхпроводники с температурой перехода, близкой к комнатной, которые можно было бы протягивать над землей, оказались бы чрезвычайно ценными, но пока, такого материала не существует. Для обеспечения необходимой тепловой и электрической изоляции сверхпроводящие линии передачи, охлаждаемые жидким гелием и жидким азотом, потребуют массивных и громоздких систем.

Такие системы должны размещаться на земле, а еще лучше под землей, за счет чего их стоимость будет по крайней мере в 3 раза больше, чем строительство обычных подвесных линий. Такие сверхпроводящие линии

электропередачи никогда не смогут конкурировать с обычными. Правда, подземные сверхпроводящие кабели, возможно, составят конкуренцию обычным подземным линиям. В настоящее время провода часто закапывают по эстетическим соображениям, однако, по мере того как возрастает беспокойство людей по поводу вредного влияния подвесных линий электропередачи на их здоровье, масштабы прокладки подземных магистралей, по-видимому, будут возрастать. В Брукхейвенской национальной лаборатории была создана сверхпроводящая экспериментальная наземная линия передачи на 1000 МВт длиной 115 м из сплава ниобия-3 и олова, охлаждаемая жидким гелием. Результаты лабораторных испытаний показали возможность практического использования в этих целях низкотемпературных сверхпроводников.

Экономически рентабельными такие системы могут стать только в случае передачи по ним большого количества энергии. В 1977 г., когда

фирма Philadelphia Electric Company изучила альтернативные пути подачи 10 000 МВт электроэнергии в Филадельфию, оказалось, что сверхпроводящие системы являются серьезными конкурентами обычных линий. Тем не менее эта идея не была реализована из-за отсутствия потребности в столь мощных линиях. Но даже если такая потребность и существовала бы, ни один из пользователей не рискнул бы сооружать неопробованную конструкцию. Высокотемпературные сверхпроводники, возможно, позволят осуществить строительство небольших и более надежных линий.

Не исключено, что сверхпроводники смогут найти применение в различных устройствах защиты силовых цепей от неожиданных и нежелательных колебаний напряжения. Для этого на некотором участке линии передачи кабель навивается на железный стержень. На него же наматывают сверхпроводящий провод, по которому течет небольшой постоянный ток, насыщающий сердечник. При неожиданном изменении тока в кабеле устройство предотвратит распространение тока в незащищенную часть цепи. Установка по всей цепи подобных защитных устройств на высокотемпературных сверхпроводниках будет экономически рентабельной.

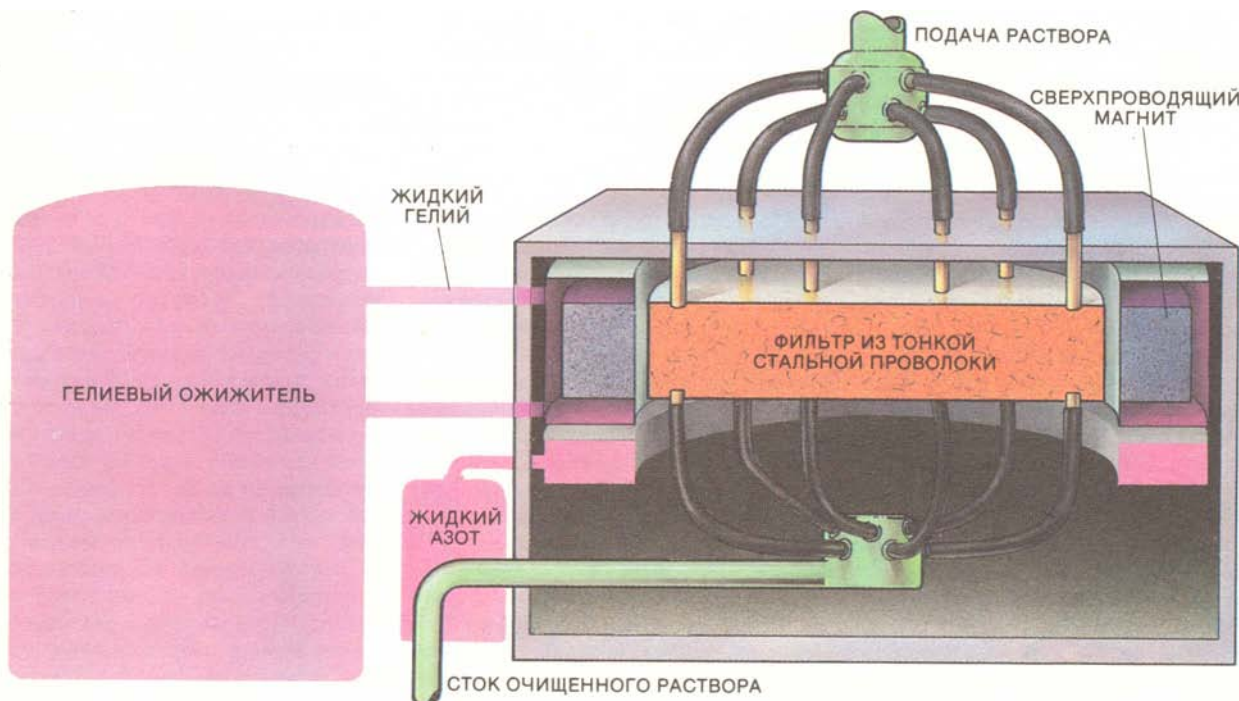
Аккумуляция электроэнергии

Неравномерная по времени потребность в электроэнергии часто приводит к ее нехватке в нужный момент. Тепловые и ядерные электростанции, наиболее эффективно работающие при одинаковой нагрузке, должны удовлетворять меняющиеся в течение дня потребности в электроэнергии. Для обеспечения такого режима целесообразно использовать системы аккумуляции электроэнергии, способные запасать ее излишки в то время, когда энергии производится больше, чем потребляется, с тем чтобы потом расходовать ее в часы максимальной нагрузки. Системы на основе сверхпроводников, работающие на постоянном токе, были бы способны запасать большие количества электроэнергии почти без потерь. Так, спроектированный большой сверхпроводящий магнитный накопитель SMES имеет емкость 5000 МВт·ч, а мощность заряда-разряда 1000 МВт. Коэффициент полезного действия SMES должен быть 90-95% (основные потери происходят в цепи преобразования переменного тока в постоянный и обратно, а также в системе охлаждения всей конструкции), а скорость переключения - доли секунды;

ни одна из существующих систем не обладает такими характеристиками. Однако сооружение такого накопителя, как показали расчеты, обойдется в 1 млрд. ДОЛЛ., но оно явилось бы крупным техническим достижением.

Сверхпроводящие магнитные накопители энергии, использующие кабель из сплава ниобия и титана и систему охлаждения на жидком гелии, должны располагаться под землей и иметь форму кольца радиусом 750 м. Для предотвращения катастрофического выделения энергии в случае разрушения сверхпроводника необходимо предусмотреть сооружение системы поглощения электричества и тепла из брусков высококачистого алюминия; стоимость такой системы обойдется в 100 млн. долл. Сверхпроводящие накопители энергии с охлаждением жидким азотом обошлись бы на 3% дешевле. (Если сами сверхпроводники окажутся дешевыми, то общие капитальные затраты уменьшатся еще на 5%.)

Если иметь в виду немассовые и не очень дорогие применения, то SMES можно приспособить и для других целей, в частности для выравнивания мощности в цепях, питающихся от неравномерно работающих источников электроэнергии, скажем ветряных генераторов. В этом случае дорогостоя-



МАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР предназначен для извлечения металлических примесей из жидких строительных растворов. Раствор прогоняется через фильтрующую сетку из тонкой стальной проволоки. Магнит создает сильное однородное поле и железные примеси «застревают» в фильтре. Сверхпроводящий электромагнит охлаждается жидким гелием; по сравнению с обычным сепаратором данная си-

стема потребляет на 95% меньше электроэнергии. При использовании высокотемпературных сверхпроводников, охлаждаемых жидким азотом, отпадает необходимость в гелиевых охладителях; капитальные затраты на сооружение такой установки стоимостью 2 млн. долл. сократятся на 200 тыс. долл., а эксплуатационные расходы уменьшатся на 10%.

щие мощные накопительные конструкции не требуются, так как роль накопителей состоит не в аккумуляровании большого количества энергии, а лишь в ее переключении. В 1983-1984 гг. Лос-Аламосская национальная лаборатория эксплуатировала небольшой экспериментальный SMES на жидком гелии в качестве буферного устройства подстанции, принадлежащей фирме Bonneville Power Administration. Правда, из-за неполадок в системе охлаждения от эксплуатации этой установки пришлось отказаться, хотя в целом она работала хорошо.

Поезда на магнитной подушке

Одно из самых широко известных перспективных применений сверхпроводимости, о котором больше всего говорят, - это скоростные поезда на магнитной подушке, удерживаемые над монорельсом магнитными силами. Эта идея, предложенная еще в 1960 г. Дж. Поуэллом и Г. Дэнди из Бруксгейвской национальной лаборатории, сейчас воплощается в жизнь. Западногерманский «Трансрэпид» построен на обычных электромагнитах и развивает скорость до 400 км/ч, но он неустойчив и требует непрерывного управления со стороны компьютерной системы. Японская национальная компания железных дорог разрабатывает более стабильную схему со сверхпроводящими магнитами. Поезд зависает над рельсом благодаря выталкивающему действию магнитного поля, создаваемого алюминиевыми катушками внутри рельса.

Использование высокотемпературных сверхпроводников возможно, приведет к более совершенному инженерному решению, но стоимость проекта существенно не снизится. Естественно, что стоимость системы охлаждения уменьшится, но это составит лишь малую часть общих капитальных затрат. Сооружение пути длиной 500 км обойдется в 1,5-4,5 млрд. долл. Стоимость же самих поездов составит не более 10% от общей суммы затрат, а системы охлаждения - всего 1/10. Привлечет ли поезд на магнитной подушке достаточное количество смельчаков-пассажиров в США, чтобы оправдались столь большие капиталовложения? Высокая скорость этого поезда может составить конкуренцию воздушному транспорту на расстояниях от 150 до 1000 км. Если поезда на магнитной подушке свяжут аэропорты между собой, то пассажирам не придется ме-

ЭКОНОМИЯ ЗА ВЕСЬ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ, %		
	ПО СРАВНЕНИЮ С НИЗКО-ТЕМПЕРАТУРНОЙ СИСТЕМОЙ	ПО СРАВНЕНИЮ С ОБЫЧНОЙ СИСТЕМОЙ
ГЕНЕРАТОР МОЩНОСТЬЮ 300 МВТ	27	63
ТРАНСФОРМАТОР НА 1000 МВ-А	36	60
ЛИНИЯ ПЕРЕДАЧИ НА 10 000 МВ-А, 230 КВ	23	43
СИСТЕМА ЭНЕРГОАКОПЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ 5000 МВТ	5-8	РАЗЛИЧНАЯ
МОТОРЫ	11	21
МАГНИТНЫЕ СЕПАРАТОРЫ	15	20

ЭКОНОМИЯ, обеспечиваемая использованием высокотемпературных сверхпроводников в различных промышленных и энергоустановках; данные приведены в процентах относительно стоимости обычных систем и систем на основе низкотемпературных сверхпроводников. Предполагается, что устройство из новых сверхпроводников имеет те же электромеханические параметры, что и на основе низкотемпературных сверхпроводящих сплавов ниобия и титана, а также ниобия-3 и олова, и имеет ту же стоимость. Использование сверхпроводников, охлаждаемых жидким азотом, сделало бы рентабельным производство и эксплуатацию многих промышленных установок даже при их немассовом выпуске.

нять своих привычек, и они помогут снять напряженность на авиалиниях и сократят число задержек вылетов, ставших обычным явлением в большинстве аэропортов. (В международном аэропорту в Чикаго, наиболее загруженном в стране, в 1986 г. задержки составили 12 млн. пассажиро-часов.) Тем не менее предприниматели должны решить, выгоднее ли разгрузить воздушное сообщение поездами на магнитной подушке или какими-либо другими альтернативными средствами, как, например, увеличением числа посадочных мест в самолетах (скажем, заменой «Боинга-727» на «Боинг-757»).

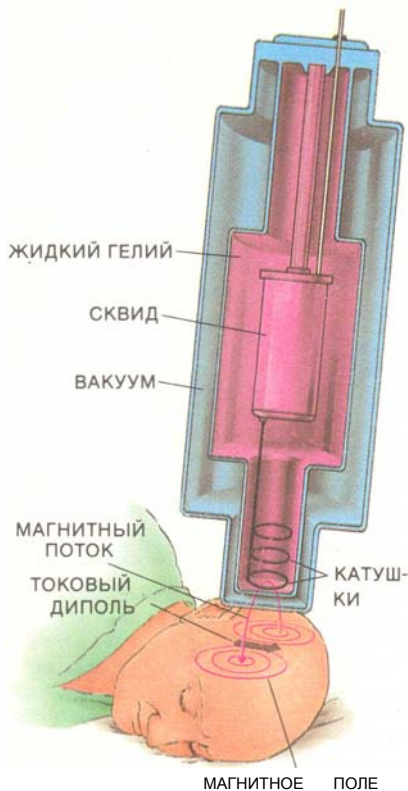
Сверхпроводники в промышленности

Примеры возможного применения сверхпроводников в крупных установках в электроэнергетике и на транспорте довольно впечатляющи. При этом мелкомасштабные применения, в частности в промышленном оборудовании и электронных приборах, могут принести большую выгоду и, что очень важно, в ближайшее время. Рынок мелкомасштабных применений шире, обладает быстрым оборотом и чутко реагирует на всякие новшества.

Мощные магниты используются для извлечения примесей из пищевой

продукции и сырьевых материалов: глинозема, кальцита и песка. Первый промышленный магнитный сепаратор на основе низкотемпературных сверхпроводников был установлен в 1986 г. в фирме I.M. Huber Corporation в комплексе технологического оборудования для переработки глины. Магнит силой в 2 Тл и охлаждаемый гелием потребляет около 60 кВт электроэнергии для работы оживителя гелия, тогда как обычный водоохлаждаемый магнит той же силы потреблял бы 300 кВт, чтобы компенсировать тепловые потери. Подобные сверхпроводящие системы будут стоить около 2 млн. долл.; для сравнения стоимость обычных систем составляет 1,6 млн. долл., но экономия электроэнергии позволит окупить дополнительные затраты в 400 тыс. долл. в течение 2-3 лет. С появлением высокотемпературных сверхпроводников от гелиевых оживителей можно будет отказаться и тем самым сэкономить 60 кВт электроэнергии и уменьшить общую стоимость на 200 тыс. долл.

Сверхпроводящие магниты открывают также уникальную возможность достижения необычайно низких температур. В парамагнетиках и ферромагнетиках магнитные моменты молекул при температурах ниже точки Кюри выстраиваются в одном направлении и энергии теплового движения становится недостаточно для нарушения их ориентации. Когда эти



МАГНИТОЭНЦЕФАЛОГРАФИЯ использует СКВИДы, чтобы установить распределение магнитных полей, индуцируемых электрической активностью мозга. Для простоты на рисунке показан электрический ток (серая стрелка), протекающий в мозге в одном направлении. СКВИДы измеряют перпендикулярные составляющие магнитного поля. Эти составляющие имеют максимумы и минимумы в двух точках, где замкнутые линии поля пронизывают черепную коробку под прямым углом (красная стрелка). Расстояние между точками зависит от глубины протекания тока; середина между ними находится на том же радиусе, что и линия тока.

материалы помещают в магнитное поле, они нагреваются, а когда поле исчезает - образцы охлаждаются. Магнетокалорический эффект можно использовать в тепловом насосе. Оценки показывают, что для достижения данного эффекта магнитное поле должно быть не менее 10 Тл, но такие поля можно создать только сверхпроводящим магнитом. В лабораторных условиях в магнитных холодильниках достигнута температура 10-6 К. В настоящее время такие системы пытаются создать для космических и оборонных программ.

Высокотемпературные сверхпроводники позволят распространить область использования магнитного охлаждения и создать промышленные установки для пищевой индустрии, где подобные устройства обеща-

ют быть более надежными, компактными, в два раза экономичнее и дешевле, чем обычные холодильники. Следует отметить также, что магнитные холодильники могут явиться альтернативой обычным компрессорным холодильникам, где используется фреон, применение которого нежелательно из-за его возможного влияния на целостность озонового слоя в атмосфере.

Компьютеры на сверхпроводниках

С тех пор как в середине 60-х годов был создан электронный прибор, воплотивший в себе сверхпроводящие эффекты, впервые сформулированные Б. Джозефсоном из Кембриджского университета, ученые мечтают о создании компьютера на сверхпроводниках. Джозефсоновский переход представляет собой два сверхпроводника, разделенных тонким слоем диэлектрика. Переключение напряжения на джозефсоновском переходе происходит значительно быстрее и оно требует во много раз меньшей энергии, чем в обычных устройствах. Вследствие низкого расхода энергии естественно ожидать, что на основе таких приборов можно построить очень компактные компьютеры, так как в этом случае система охлаждения будет занимать совсем небольшой объем внутри компьютера. Компактность в свою очередь позволит увеличить быстродействие вычислительных машин, потому что скорость передачи сигналов между различными элементами лимитируется скоростью света (см. J. Matisoo. The Superconducting Computer, "Scientific American", May 1980).

На поиски конструктивных решений проблемы создания компьютера на сверхпроводниках фирма IBM потратила почти два десятилетия, разрабатывая логические схемы на джозефсоновских переходах, ячейки памяти, кристаллы ввода-вывода и межсоединения. Усилия оказались напрасными, поскольку не удалось создать быстродействующую малогабаритную оперативную память (память, связанную с центральным процессором). Одна из причин состоит в том, что ячейки памяти не могут располагаться слишком плотно, т. е. близко друг к другу, поскольку магнитный поток одной ячейки влияет на соседние. В то же время достижения в развитии полупроводниковой памяти снизили значимость проблемы создания памяти на переходах Джозефсона. В 1983 г. фирма IBM прекратила работу над проектом.

Японские же компании продолжают работать над созданием подобных компьютеров. Они улучшили свойства переходов Джозефсона на основе ниобия и сейчас разрабатывают элементы с применением нитрида ниобия, который имеет более высокую критическую температуру и поможет создать быстродействующие схемы. Правда, для получения памяти на кристаллах с джозефсоновским переходом, содержащих более 1000 ячеек, создать надежную технологию им так и не удалось. Производство элементов памяти на основе высокотемпературных сверхпроводников будет еще более сложным, потому что новые материалы труднее поддаются обработке, чем нитрид ниобия.

Вполне вероятно, что создание компьютера с использованием только высокотемпературных сверхпроводников нереально. Не исключено, однако, что будут созданы гибридные системы на основе комбинации джозефсоновских логических схем и полупроводниковой памяти, работающих при температуре 77 К. Действительно, схемы на основе арсенида галлия и МОП-структур (метал-оксид-полупроводник) лучше работают при температуре жидкого азота. Подобные гибридные системы соединят в себе лучшие свойства сверхпроводников и полупроводников. Для реализации этой идеи специалистам предстоит разработать технологию получения джозефсоновских переходов из новых сверхпроводников и создать быстродействующие промежуточные элементы связи между сверхпроводниками и полупроводниками.

Если технологические проблемы будут преодолены, то время переключения схем на переходах Джозефсона составит не более 10⁻¹³ с для сверхпроводников с температурой перехода 10 К и 10⁻¹⁴ с для материала с температурой перехода 100 К. Ни одна из известных технологий, по-видимому, не сможет обеспечить столь высокое быстродействие. Устройства на высокотемпературных сверхпроводниках могли бы быть включены в суперкомпьютеры с параллельной обработкой информации и быстродействием в 1000 раз больше, чем у компьютеров, проектируемых в настоящее время. Однако потребуются многолетние исследования, прежде чем будет создан такой компьютер.

В ближайшем же будущем сверхпроводники смогут найти применение в цепях соединения различных полупроводниковых устройств. Высокочастотные сигналы, распространяющиеся по сверхпроводящему проводу, испытывают небольшое ослабление (потери энергии) и не искажаются (от-

сутствие дисперсии). Поэтому такие соединения скорее всего будут использоваться для связи различных узлов больших компьютеров на расстояниях до нескольких метров. На больших расстояниях лучшей пока остается оптоволоконная связь. Создавать сверхпроводящие межсоединения на малых расстояниях в полупроводниковых микросхемах вряд ли целесообразно, так как время задержки определяется в основном импедансом и емкостью самого устройства, а не сопротивлением соединения.

СКВИДы

Отдельные применения переходов Джозефсона являются многообещающими и некоторые из них уже используются. Сверхпроводящий квантовый интерференционный детектор (СКВИД) состоит из одного или двух джозефсоновских переходов, помещенных в кольцо из сверхпроводника. Прибор крайне чувствителен к изменениям электромагнитного поля. Магнитный поток внутри сверхпроводящей петли квантуется: он принимает только целые значения величины, называемой Флаксоном (примерно $2 \cdot 10^{-7}$ гс/см²). Ток в СКВИДе является периодической функцией общего числа Флаксонов в петле и реагирует на самые слабые изменения магнитного потока.

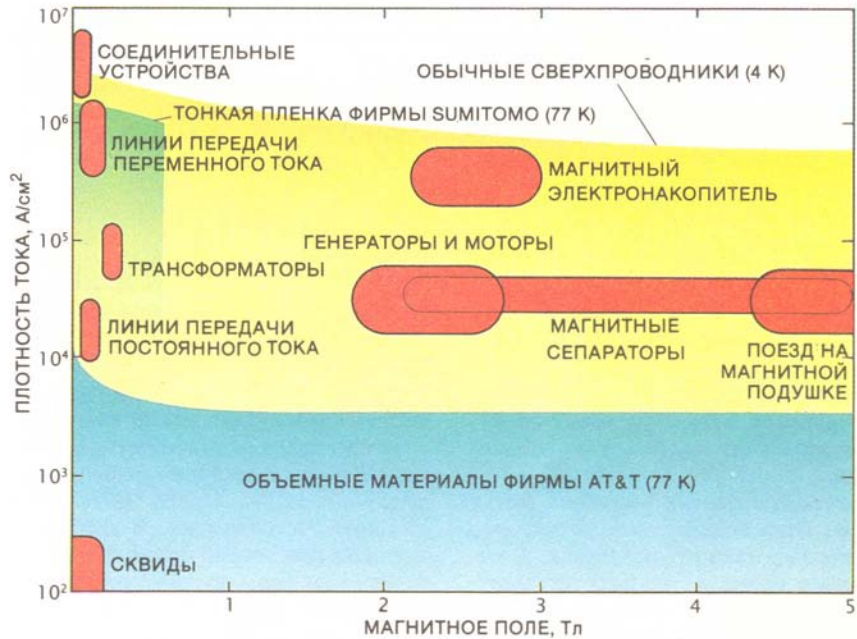
С помощью СКВИДа можно измерять падение напряжения величиной 10⁻¹⁸ В, токи 10⁻⁸ А (несколько электронов в секунду) и магнитные поля, меньшие 10⁻¹⁴ Тл (одна десятиллиардная магнитного поля Земли). Когда СКВИД работает при температуре жидкого гелия, тепловые шумы фактически отсутствуют и чувствительность прибора ограничивается квантовыми пределами. Аналогов подобной чувствительности нет.

Физики используют СКВИДы для исследования экзотических частиц, таких как кварки, магнитные монополи и гравитоны, для проверки общей теории относительности. С помощью СКВИДов геологи ищут нефть, воду, залежи минералов, которые вызывают локальные аномалии в магнитном поле Земли. Подобные исследования проводятся с вертолетов, и новые сверхпроводники помогут сделать разведывательную аппаратуру более компактной. В то же время наличие тепловых шумов при температуре 77 К мешает измерять слабые сигналы. Министерство обороны США разрабатывает детекторы на основе СКВИДов для обнаружения подводных лодок. В будущем СКВИДы позволят улавливать ничтожно малые

ионные токи в корродирующих металлах.

СКВИДы начинают также использоваться для детектирования слабых магнитных сигналов, связанных с электрической активностью сердца и мозга. Магнитоэнцефалография регистрирует сигналы мозга, магнитная индукция которых немногим больше 10⁻¹³ Тл, и определяет местоположение источника нервного им-

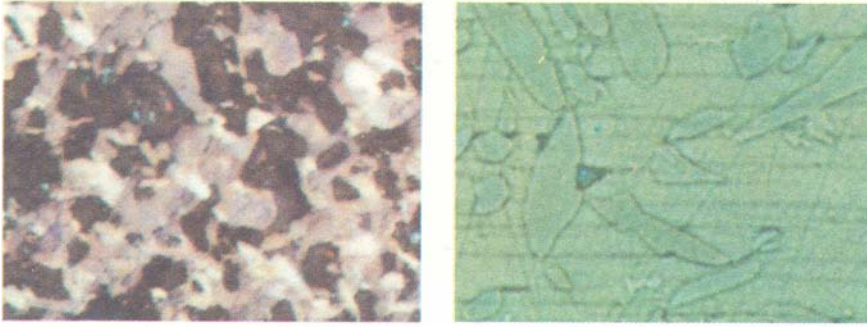
пульса с точностью до нескольких миллиметров. Обычно подобные магнитные сигналы уменьшаются пропорционально четвертой степени расстояния от источника, поэтому регистрирующие катушки необходимо располагать как можно ближе к голове, но приборы, охлаждаемые гелием, требуют массивной изоляции, и это препятствует их близкому расположению. Катушки, сделанные из но-



ХАРАКТЕРИСТИКИ сверхпроводников, требуемых для их применения в современных устройствах, а также характеристики существующих материалов. Материалы должны допускать большие плотности электрического тока и работать в сильных магнитных полях. Сплавы ниобия-3 и олова, а также ниобия и титана, которые работают при температуре 4 К, удовлетворяют требованиям для всех применений, кроме, пожалуй, SMES. Характеристики высокотемпературных сверхпроводников заметно улучшились с момента их открытия. Но их нужно улучшить еще на один-два порядка, чтобы новые материалы удовлетворяли большинству требований.



СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ ЛЕНТЫ И ПРОВОД были изготовлены Р. Поппелем и его коллегами в Аргонской национальной лаборатории. Перед отжигом лента (слева) достаточно гибкая, и ей можно придать любую форму, после отжига она становится очень хрупкой. Удалось также изготовить спираль (справа), которая после отжига обладает некоторой гибкостью.



ПЛАВЛЕНИЕ изменяет текстуру сплава иттрия, бария и оксида меди, превращая его разупорядоченные кристаллы (слева) в кристаллы удлиненной формы (справа). Горизонтальные тонкие линии - это границы с «переплавленной» текстурой кристаллов. Неупорядоченные зерна у поверхности не влияют на электрический ток. Первоначальный образец мог пропускать ток плотностью только до 400 A/cm^2 , а переплавленный - до 17000 A/cm^2 . Эксперимент проведен в фирме AT&T Bell Laboratories под руководством С. Джина.

вых сверхпроводников и охлаждаемые жидким азотом, не будут нуждаться в толстых изолирующих прокладках и поэтому их можно разместить ближе к исследуемому объекту. Для обеспечения достаточной чувствительности остальная часть оборудования будет работать в жидком гелии.

Джозефсоновские переходы могут также стать новым типом детекторов электромагнитного излучения. В настоящее время не существует электронных приборов, которые могли бы работать в очень важной области инфракрасного спектра, а именно в диапазоне частот от 1011 до 1013 Гц. Частота, на которую реагируют обычные сверхпроводящие металлы, растет с увеличением критической температуры. Если новые сверхпроводники подчиняются тому же закону, то высокая критическая температура открывает путь к созданию приборов, способных улавливать и передавать неиспользуемую до сих пор часть электромагнитного спектра.

Переходы Джозефсона регистрируют частоты вплоть до 101 Гц. Чувствительностью, близкой к квантовому пределу (т. е. они способны детектировать почти каждый электрон, поглотивший фотон). Чувствительность обычных приборов не превышает 1010 Гц. Новые сверхпроводники могут расширить диапазон до 1012 Гц. Первые практические применения, вероятно, окажутся в области вооружения для создания радаров с высоким разрешением, датчиков и средств космической связи.

Теоретический обзор

Физики многое могут объяснить в поведении обычных сверхпроводников с помощью теории БКШ (по

первым буквам фамилий авторов: Дж. Бардина, Л. Купера, Дж.Р. Шриффера из Иллинойского университета). Электроны, движущиеся в нормальных проводниках, теряют энергию за счет рассеяния на примесях и (преимущественно) на колебаниях кристаллической решетки (фононах). Электрон локально искажает решетку и создает область притяжения для другого электрона. В сверхпроводнике при температурах ниже точки перехода а силы притяжения превосходят силы электростатического отталкивания, и электроны образуют пары. Более того, все электронные пары находятся в одном квантовом состоянии. Поэтому рассеяние отдельного электрона на примесях невозможно (это является результатом коллективного поведения электронных пар) и в результате проводник переходит в состояние сверхпроводимости. Теория БКШ показала, что многие свойства сверхпроводящего состояния, например критическая температура, зависят от силы притяжения между электронами.

Свойства новых сверхпроводников плохо поддаются описанию в рамках этой схемы по двум причинам. Во-первых, эффективное притяжение, основанное на взаимодействии электронов с решеткой, не столь сильно, чтобы быть причиной высокой критической температуры. Во-вторых, некоторые эксперименты заставляют усомниться в роли решетки, поскольку они не обнаружили каких-либо изменений в сверхпроводящих свойствах при замене обычного кислорода на его изотопы. Согласно теории БКШ, изменение массы кислорода меняет частоту колебаний решетки и, следовательно, сверхпроводящие свойства. В других экспериментах тем не менее наблюдали «изотопический эффект», что сделало результаты экс-

периментов и их интерпретацию противоречивыми.

Предполагают, что электронные пары существуют и в новых сверхпроводниках: эксперименты по определению наименьшего магнитного потока, пронизывающего материал, указывают на наличие носителей с удвоенным зарядом электрона. Действительно, по современным представлениям для перехода в сверхпроводящее состояние образование электронных пар является необходимым условием, поскольку только в этом связанном состоянии электроны могут быть в одном квантовом состоянии, что позволит им двигаться коллективно и проявлять макроскопические эффекты, характерные для сверхпроводников. Пока трудно привести убедительные доказательства в пользу какого-либо конкретного механизма образования пар.

Однако для продвижения вперед теоретическое понимание проблемы на микроскопическом уровне не является столь необходимым, как думают некоторые. Действительно, не следует ожидать, что макроскопические свойства новых материалов можно объяснить на основе микроскопической теории; эта задача может оказаться слишком сложной. Более плодотворным в этом случае может оказаться подход, основанный на рассмотрении больших и средних (10-м) масштабов, как это доказали советские ученые В.Л. Гинзбург, Л.Д. Ландау и А.А. Абрикосов и другие.

Если теоретики сосредоточат свое внимание только на электронных парах и кристаллической решетке, от их внимания ускользнут свойства сверхпроводников, которые могут играть ключевую роль в практическом применении. Например, несовершенство решетки стабилизирует сверхпроводящее состояние, «пиннингую»* большое магнитное поле и тем самым исключая возникновение электрических полей, разрушающих сверхпроводящее состояние. Необходимо понять, почему так происходит.

Как показывает опыт, лучшим проводителем для теории является эксперимент. В частности, интересно было бы выявить, как влияют переменные поля на новые сверхпроводники. Переменных токов и полей из-

* От английского *pin* - булавка. дословно *rippling* означает припиливание. Магнитное поле проникает в некоторые сверхпроводники в виде вихревых нитей, движение которых при наличии тока приводит к разрушению сверхпроводящего состояния. Взаимодействие вихревых нитей с дефектами (пиннинг) препятствует их движению. - *Прим. перев.*

бежать нельзя, так как приборы включаются и выключаются и к тому же они питаются от сети переменного тока. Важно узнать, как будут вести себя новые сверхпроводники в этих условиях, сколько выделяется энергии и можно ли эти потери возместить.

Успехи материаловедения

Создание новых сверхпроводников с требуемыми свойствами больше похоже на искусство, чем на науку, так же как и кулинария: качество слоеного торта определяется не только соотношением муки и масла, но и правильным расположением слоев. Точно так же свойства новых сверхпроводников зависят не только от химического состава, но и от расположения отдельных кристаллов и зерен. Например, взаимная ориентация двух кристаллов влияет на электрический контакт между ними.

Микроскопические свойства материала также во многом зависят от технологии приготовления образцов. Для изготовления высокотемпературных сверхпроводников используют довольно простой способ: сначала размалывают в порошок несколько металлических оксидов, потом смесь прессуют и затем отжигают в атмосфере кислорода при температуре 9000 С. Присутствующие в порошках элементы вступают в химическую реакцию и в результате образуется новое вещество. В процессе этой технологии могут получиться также частично прореагировавшие соединения, покрывающие сверхпроводящие кристаллы и изолирующие их в некоторой степени друг от друга; кроме того, при этих условиях кристаллы не могут принять одинаковую ориентацию, что препятствует созданию хорошего электрического контакта. Один из способов устранения этого недостатка состоит в плавлении отоженной смеси с последующим ее охлаждением. В результате получается материал с более упорядоченной ориентацией кристаллов, а межгранулярные прослойки исчезают. В настоящее время исследуются и другие методы получения высокотемпературных сверхпроводников.

К новым материалам будут предъявляться серьезные требования в зависимости от области применения. В одних случаях они должны пропускать токи с плотностью больше 100 000 А/см² при температуре жидкого азота. В других случаях необходимы гибкие и прочные сверхпроводники, чтобы выдерживать большие магнитные, гравитационные и цент-

робежные нагрузки (например, во вращающихся частях турбогенераторов и моторов). К тому же они должны легко поддаваться обработке. Например, сплав ниобия-3 и олова по электрическим и магнитным свойствам превосходит соединение ниобий - титан, но последнее легче поддается обработке, и поэтому оно найдет более широкое применение.

Кроме того, некоторые из новых материалов химически нестабильны: из иттриевой керамики, например, выделяется кислород, что ухудшает ее сверхпроводящие свойства. Поэтому необходимо разработать новые композиты с повышенной стабильностью состава. Но можно покрывать материал серебром, КОТ, оро, предотвратить выход кислорода из сверхпроводника, а затем нанести на серебро менее дорогую медь. Приготовление композитов - задача непростая, так как требует большого умения. Предыдущие достижения в разработке сплавов ниобия, титана, меди и никеля дают основание надеяться, что в конце концов удастся получить сверхпроводящие сплавы с желаемыми свойствами.

Непростой задачей является освоение производства промышленной продукции (массивных профильных образцов, проводов, лент и тонких пленок). Пленки для применения в электронике получают напылением в вакуумной камере тонкого слоя вещества на подложку, например на оксид магния. Затем пленка обычно отжигается (повторно нагревается и медленно охлаждается) для насыщения ее кислородом. Каждое изменение в процессе изготовления сильно влияет на свойство конечного продукта. Пленочные образцы обладают лучшими сверхпроводящими свойствами по сравнению с массивными. Во многих лабораториях получены пленки, пропускающие ток величиной 1·10⁶ А/см². Некоторые исследователи рассматривают пленки как основ-

ной материал для производства проводников с большой токонесущей способностью, считая, что их можно будет сворачивать в рулоны как бумагу.

Ленты и провода изготавливаются с помощью отливки пластической массы сверхпроводящего порошка. Смесь либо выливается на плоскую поверхность для получения ленты, либо выдавливается через матрицу в виде проволоки. Затем материал отжигается. Эта технология позволяет получить сверхпроводящую проволоку, способную пропускать ток при температуре жидкого азота. К сожалению, провода получаются хрупкими. Но есть надежда, что свойства сверхпроводящих материалов можно улучшить, как это было, например, со стеклом, которое бывает хрупким, как оконное стекло, но может быть и гибким, как стекловолокно в световоде.

Возможно, что поиски на этом пути будут такими же трудными, как и само открытие новых сверхпроводников. Для получения промышленных образцов потребуется по меньшей мере десятилетие настойчивого труда - время, в течение которого уже имеющие опыт ученые займутся исследованиями в новых областях и молодые ученые успеют получить образование и приступить к научным исследованиям. Ведущие ученые, занятые в отраслях промышленности Японии, намереваются создать долгосрочные программы, а четыре американские компании (AT&T Bell Laboratories, Bellcore, du Pont и IBM) проводят всесторонние исследования в рассматриваемой области. Еще большее число исследователей в различных компаниях, национальных лабораториях и университетах, специалисты в области физики, химии, электроники и материаловедения должны будут приложить все усилия и мастерство, чтобы высокотемпературные сверхпроводники оправдали наши надежды.

Подписка на журнал

В МИРЕ НАУКИ

принимается во всех отделениях «Союзпечать».

Цена одного номера 2 р., цена подписки на квартал - 6 р.,

на год - 24 р.,

индекс журнала 91310

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



От пения птиц к нейрогенезу

При изучении у канарейки нервных центров, управляющих пением, обнаружилось, что во взрослом мозге образуются новые нейроны, способные заменять старые. Возможно, нейрогенез такого типа лежит в основе самовосстановления мозга

ФЕРНАНДО НОТТЕБОМ

В НЕЙРОБИОЛОГИИ издавна существовало глубокое убеждение, что все нейроны (нервные клетки) головного мозга позвоночных зарождаются лишь на ранних стадиях развития, т. е. в процессе роста самого мозга. У взрослых же животных образования новых нейронов не происходит. Стало быть, нейроны, погибающие при какой-либо болезни или повреждении, не восстанавливаются, а научение обеспечивается лишь изменением связей между уже существующими нервными клетками, но не включением новых нейронов в нервные цепи, определяющие поведение.

Впервые эту догму поставил под сомнение Дж. Альтман из Университета Пардю. В начале 60-х годов он провел ряд опытов на крысах и кошках и пришел к выводу, что даже у взрослых животных в некоторых частях головного мозга продолжают зарождаться нейроны определенных типов. Однако результаты Альтмана были недостаточно убедительны, и гипотеза о нейрогенезе (зарождении новых нервных клеток) в мозге взрослых млекопитающих не получила всеобщего признания.

Новые данные о возможности нейрогенеза в мозге взрослых позвоночных другого класса - не млекопитающих, а птиц - появились недавно с совершенно неожиданной стороны. Мы с коллегами пытались выяснить, что происходит у птиц, когда они учатся петь. Оказалось, что в мозге этих животных уже после достижения ими зрелости постоянно зарождаются новые нейроны, способные в некоторых случаях заменять старые. Функция этих новых нейронов пока еще точно не установлена. Можно лишь предположить, что они служат для усвоения новой информации. Если это так, то обучение пению как у молодых, так и у взрослых птиц может быть связано с включением в нервные сети новых нейронов. В связи с этими данными возникает вопрос о постоянстве нервных сетей мозга. Кроме того, открывается еще одна и,

может быть, самая заманчивая перспектива: не исключено, что в конечном счете удастся обнаружить факторы, стимулирующие самовосстановление мозга человека путем зарождения новых нервных клеток на месте поврежденных.

СИСТЕМА ТИКИ выделяют около 30 отрядов птиц, охватывающих примерно 8500 живущих ныне видов. Почти половина всех этих видов входит в подотряд певчих (Oscines), относящихся к отряду воробьиных (Passeriformes). Певчие выделяются из всех остальных птиц удивительно богатым разнообразием песен. С помощью песни птица объявляет о своем присутствии другим членам стаи и обозначает брачную территорию. Песня, кроме того, служит (обычно у самцов) для привлечения полового партнера.

Давно известно, что некоторые птицы способны подражать различным звукам. Однако до 1950 г. лишь немногим биологам было известно, что певчие птицы постоянно упражняются в этом искусстве, сочиняя и совершенствуя свою собственную характерную песню. Первым это установил (и тем самым открыл новое направление исследований) У. Торп из Кембриджского университета, изучавший зябликов - широко распространенных в Европе певчих птичек. Торп решил выяснить, каким образом зяблики учатся петь. Для этого был проведен следующий опыт. Самцов выращивали поодиночке в звукоизолированных камерах с громкоговорителями, воспроизводящими запись песен взрослых самцов. В тех случаях, когда молодые зяблики слушали эти песни, они в дальнейшем были способны им подражать. Если же молодые зяблики не слышали песен взрослых самцов, у них формировалось лишь очень примитивное пение. Более того, если даже такие птицы и получали «репетитора», но уже после наступления половой зрелости, их пение все равно не улучшалось.

Торп пришел к выводу, что птицы

учатся петь в основном так же, как люди учатся говорить - подражая примеру старших сородичей. Он заключил кроме того, что такие птицы, как зяблики, могут обучиться песне лишь в особый «критический период», несколько предшествующий половому созреванию. В дальнейшем П. Марлер (Рокфеллеровский университет) и К. Иммельманн (Билефельдский университет, ФРГ) показали, что две другие певчие птицы - североамериканская белоголовая воробьиная овсянка и австралийская зебровая амадина - также могут научиться петь лишь в определенный критический период. Однако так обстоит дело не со всеми певчими птицами: канарейки, например, способны разнообразить свою песню в течение всей жизни.

ПЕРВЫЕ звуки, издаваемые новорожденным птенцом канарейки, - высокий пронзительный писк, которым птенец требует у родителей, чтобы его покормили. Молодая птица продолжает так «попрошайничать» даже после того, как покидает гнездо, - вплоть до возраста около четырех недель, когда она совсем уже независима от родителей. После этого канарейка делает первые несовершенные попытки петь, называемые предпесней. Предпесня представляет собой набор тихих и довольно разнообразных звуков. Ее часто можно услышать у молодых канареек, когда они как бы дремлют. Еще Чарлз Дарвин указал на сходство между предпесней и лепетом ребенка. По-видимому, и то, и другое представляет собой первые ранние стадии вокальных упражнений, в результате которых развивается весь репертуар звуков, используемых при общении.

К концу второго месяца жизни предпесня канарейки становится более определенной; теперь ее называют пластичной песней. Она уже похожа на пение взрослых канареек, но пока еще изменчива. По мере того как наступает половая зрелость (примерно на 7-8-м месяце жизни), песня ста-

новится все более и более стереотипной.

Окончательный вариант типичной для взрослых канареек песни формируется к моменту наступления половой зрелости. Эта так называемая окончательная, или стабильная песня сохраняется у канареек в течение всего первого брачного сезона. Ее можно охарактеризовать количеством содержащихся в ней разнообразных звуков, называемых слогами. Уже в возрасте 3-4 месяца самец канарейки способен издавать до 90% слогов, используемых впоследствии в зрелом возрасте, но лишь после полового созревания эти звуки становятся стереотипными. По-видимому, такая «стереотипизация» дается канарейке нелегко, так как на ее становление уходит несколько месяцев периода пластичной песни.

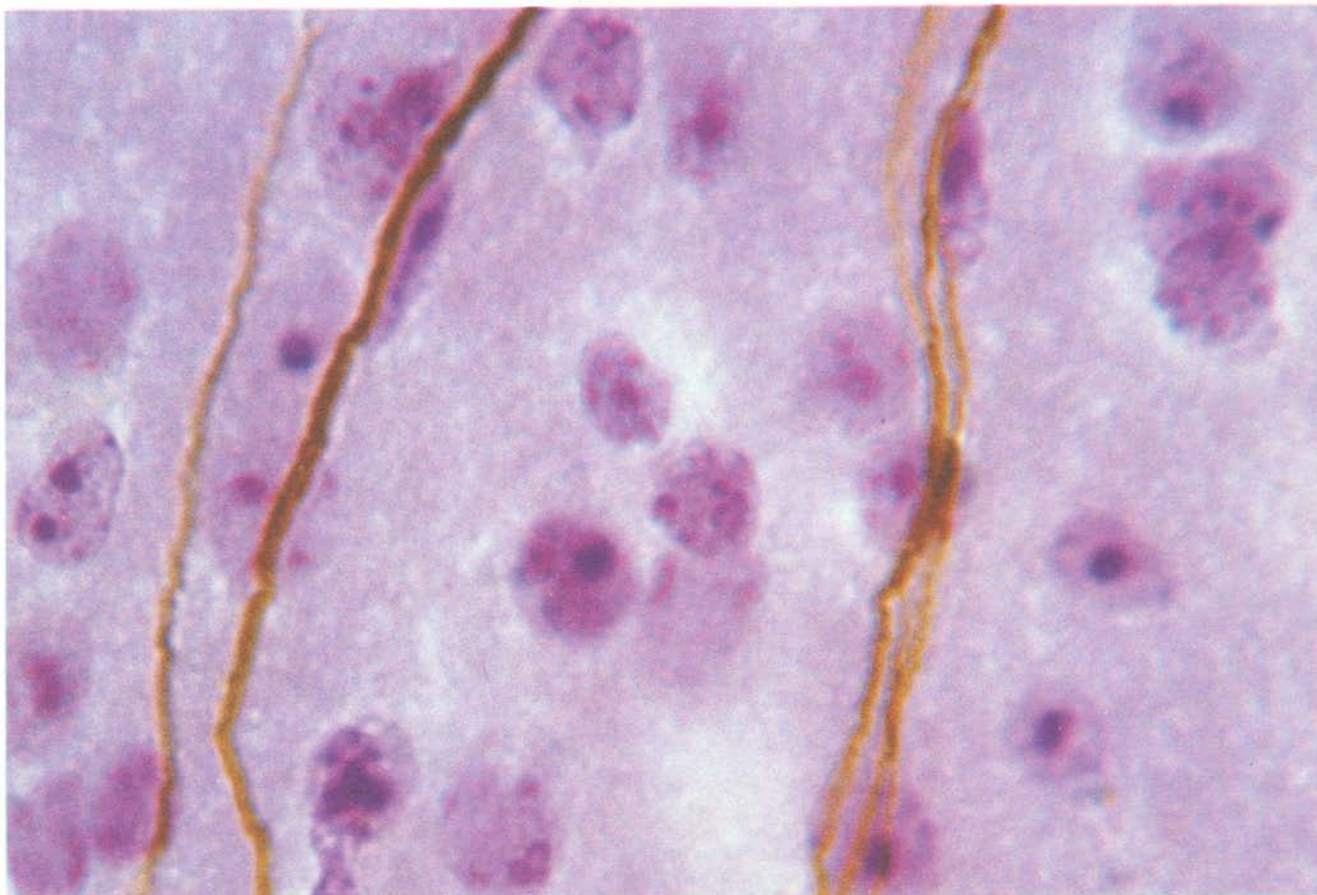
Однако даже после полного становления песни набор слогов в песне канарейки - это отнюдь не что-то неизменное. Ежегодно в конце лета - начале осени (т. е. после окончания брачного сезона) канарейка «забывает» стереотип, освоенный несколькими месяцами раньше, и песня ее ста-

новится такой же нестабильной, как и пластичная песня молодых птиц. Из репертуара исчезают многие выученные ранее слоги, и на их месте появляются новые. В течение последующей зимы и весны канарейка может научиться включать эти новые слоги в свою новую стереотипную летнюю песню. Иными словами, у самцов канареек певческий репертуар может ежегодно обновляться. Вероятно, такое сезонное научение пению контролируется под гормональным контролем: максимальному включению в песню птицы новых слогов предшествует уменьшение содержания в крови мужского полового гормона тестостерона.

КОГДА Торп ставил свои опыты на зябликах, еще ничего не было известно о тех отделах мозга птиц, которые отвечают за научение пению. Лишь в 1976 г. в нашей лаборатории в Рокфеллеровском университете у канареек были обнаружены несколько анатомически обособленных групп клеток, регулирующих пение. Подобные группы называются ядрами.

Наиболее крупное из обнаружен-

ных ядер - верхний голосовой центр (HVC - от англ. higher vocal center) располагается в переднем мозге. Аксоны (т. е. длинные отростки нервных клеток) многих нейронов HVC направляются к другому ядру переднего мозга, называемому *robustus archistriatalis* (RA). В свою очередь аксоны большинства нейронов RA тянутся к двигательным нейронам подъязычного нерва, иннервирующим мышцы сирикса - органа, генерирующего звук (см. рисунок на с. 48). Поскольку все эти ядра довольно четко обособлены, можно точно измерить их размеры (объем) и соотносить с полом, возрастом, содержанием гормонов в крови и сложностью песни той или иной конкретной птицы. Мозг молодой канарейки достигает размеров мозга взрослой особи примерно через 15-30 суток после вылупления (приблизительно в это же время птица перестает зависеть от родителей), однако ядра HVC и RA продолжают расти еще в течение нескольких месяцев - почти до окончания полового созревания. Именно в период роста этих ядер канарейки начинают учиться петь.



«НОВОРОЖДЕННЫЕ» НЕЙРОНЫ в переднем мозге канарейки мигрируют, следуя вначале вдоль длинных отростков (коричневые) клеток, называемых радиальными гли-

цитами. Окрашивание выявило как старые, так и незрелые нейроны (ядра клеток темно-лиловые); видны два мигрирующие нейрона, расположенных на разных волокнах.

В 1976 г. А. Арнольд (работавший тогда в Рокфеллеровском университете) и я обнаружили, что у взрослых самцов канареек, способных «исполнять» сложные песни, ядра HVC и RA в 3–4 раза крупнее, чем у взрослых самок, которые либо вовсе не поют, либо поют очень мало. Складывалось впечатление, что структуры мозга, отвечающие за определенный навык, значительно крупнее у представителей того пола, для которого данный навык характерен. Этот так называемый половой диморфизм в строении мозга опровергал укоренившееся представление о том, что у позвоночных не существует выраженных различий в строении мозга между самцами и самками.

В дальнейшем исследователи из Калифорнийского технологического института М. Герни и М. Кониси обнаружили, что половой диморфизм в строении ядра RA обусловлен, по крайней мере частично, различием в количестве содержащихся в нем нейронов. Эта разница обнаруживается уже на ранних стадиях развития — даже еще до того, как птицы начинают учиться петь. Отсюда следует вывод о том, каким образом строение мозга может влиять на способность к научению: чем больше число (и, возможно, разнообразие) нейронов, включенных в ту или иную нервную цепь, тем большее количество информации данная цепь может перерабатывать.

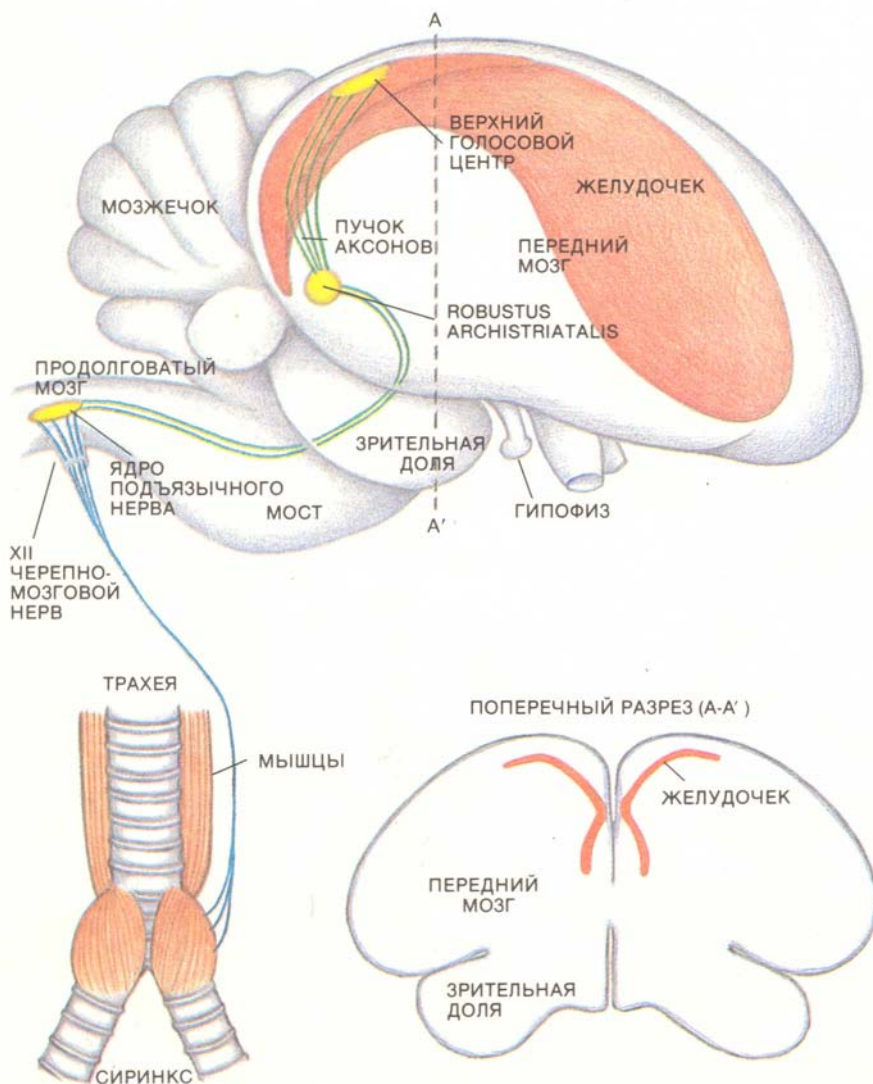
Связь между размерами ядер, отве-

чающих за пение, и сложностью песни прослеживается и у канареек одного пола. Среди самцов встречаются удивительно одаренные певцы с большим репертуаром слогов. Оказалось, что размеры HVC и RA у них больше. Другие птицы того же поколения, пола и возраста, содержащиеся в таких же условиях, способны лишь на более простые песни из меньшего количества слогов; у этих птиц ядра HVC и RA имеют меньшие размеры.

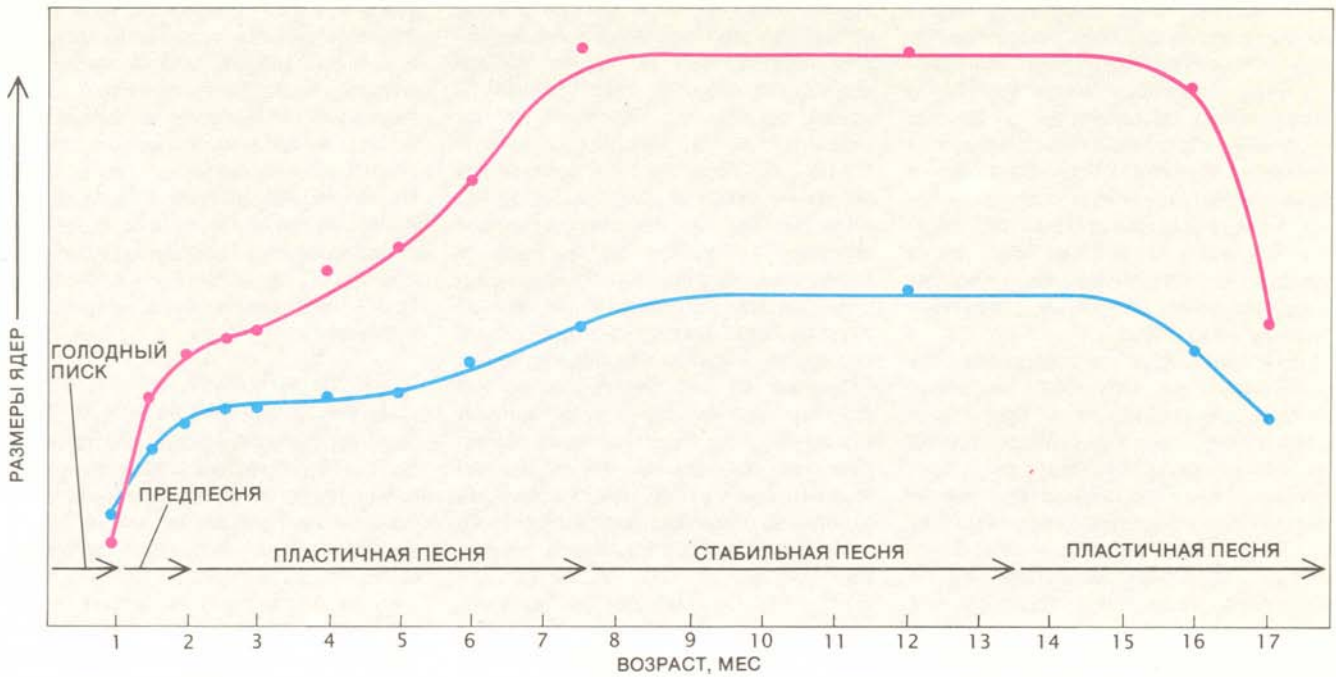
Прямо-таки напрашивается вывод, что разная способность к пению определяется анатомическими различиями структур мозга. Однако встречаются канарейки с крупными ядрами HVC, но небольшим набором слогов в певческом репертуаре. Попробуем объяснить этот факт, рассмотрев аналогию между размерами ядер, отвечающих за пение, и количеством полок в библиотеке. Чтобы уместилось много книг, в библиотеке должно быть много полок; в то же время отнюдь не обязательно, чтобы все стеллажи крупной библиотеки были полностью заставлены книгами. (Следует отметить, правда, что в некоторых условиях поступление новых «книг» приводит к увеличению числа «полок». С. Ботджер из Университета Южной Калифорнии и А. Арнольд, работающий сейчас в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе, полагают, что обучение пению само по себе может приводить к увеличению размеров HVC.)

Статистический анализ корреляции между количеством слогов в репертуаре и размерами HVC у взрослых самцов канареек показал, что изменчивость одного из этих показателей лишь на 20% объясняется изменчивостью другого. По-видимому, на способность научиться петь у канареек влияют не только размеры HVC и RA, но и иные факторы. Тем не менее данные, полученные в нашей и других лабораториях, говорят о том, что количество нейронов в HVC и RA (показателем этого количества служат размеры ядер) влияет на певческие возможности этих птиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ, полученные при изучении действия тестостерона, также говорят о влиянии размеров HVC и RA на певческие способности птиц. Так, если непоющей взрослой канарейке-самке вводить внутримышечно этот гормон, она может начать петь, подобно самцу. Оказалось, что у самок канареек тестостерон не просто активизирует уже существующие в мозге нервные цепи, но приводит к резкому (в два раза) увеличению размеров HVC и RA. Весной, когда прочно устанавливается стереотип-



МОЗГ КАНАРЕЙКИ (вверху — вид сбоку, внизу справа — поперечное сечение) содержит несколько ядер (обособленных групп клеток), отвечающих за пение. Самое крупное из этих ядер — верхний голосовой центр (HVC). Аксоны (длинные отростки, по которым передаются сигналы) многих нейронов HVC идут к нервным клеткам другого ядра, управляющего пением — robustus archistriatalis (RA). Аксоны нейронов RA подходят к двигательным нейронам подъязычных нервов, иннервирующих мышцы сирикса — органа, генерирующего звук.



СТАНОВЛЕНИЕ ПЕНИЯ у самцов канарейки сопровождается значительным увеличением размеров HVC (красная кривая) и RA (синяя кривая). В этом процессе различают четыре стадии: голодный писк, предпесню, пластичную песню и окончательную (стабильную) песню. Голодный писк представляет собой высокие пронзительные звуки; он наблюдается примерно 4 недели. На следующей стадии молодая птица впервые пробует петь; при этом у нее получаются тихие, довольно разнообразные звуки. Пластичная песня четче, чем предпесня, но все еще непостоянна. По

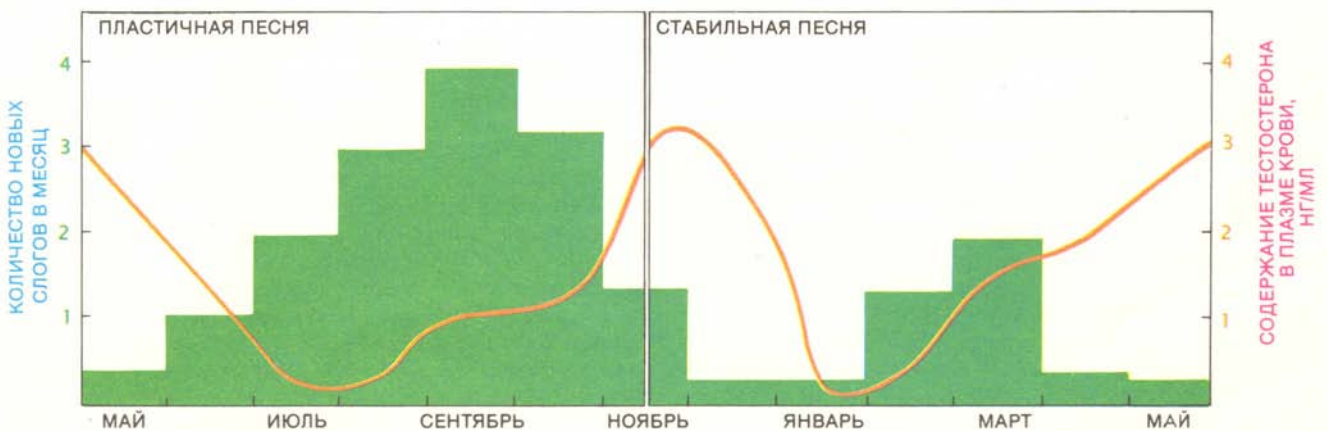
мере полового созревания пение самца становится все более и более стереотипным и наконец к 7–8 месяцам формируется стабильная песня. Она сохраняется в течение всего брачного сезона, но на исходе его снова появляется пластичная песня; при этом уменьшаются размеры HVC и RA. Переход от пластичной песни к стабильной и обратно и сопутствующие изменения HVC и RA у взрослой птицы повторяются ежегодно. Размеры HVC и RA у взрослого самца канарейки в конце лета такие же, как у 3-месячного птенца, но к следующей весне они вновь увеличиваются.

мая песня, содержание тестостерона в крови взрослого самца очень высокое. Ранней же осенью, когда песня делается столь же неопределенной, как у молодых самцов, оно уменьшается. Этому соответствуют и размеры HVC

и RA: весной эти ядра примерно в два раза крупнее, чем осенью.

В 1981 г. мы с Т. де Вогдом (работавшим в Рокфеллеровском университете) исследовали влияние тестостерона на увеличение размеров RA у

взрослых птиц (что касается HVC, то пока неизвестно, каким образом тестостерон вызывает увеличение его размеров). Я уже упоминал о том, что большинство нейронов RA посылают аксоны к двигательным нейронам



ЕЖЕГОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРА ПЕСНИ (показана зеленым цветом) у взрослых самцов канарейки тесно связаны с содержанием в крови мужского полового гормона тестостерона (оранжевая кривая). Песню птицы можно охарактеризовать количеством различных звуков, или слогов. На стадии пластичной песни канарейка еще не выра-

ботала стереотип и часто добавляет новые слоги. Этому этапу предшествует уменьшение содержания в крови тестостерона. Когда же уровень гормона высок и птица находится на стадии стабильной песни, новые слоги в ее репертуаре появляются лишь очень редко.

ядер подязычных нервов, иннервирующих сиринокс. От тел нейронов RA отходит множество отростков другого типа - относительно коротких, называемых дендритами; у самцов канареек их длина всегда больше, чем у самок. Однако, когда мы вводили самкам тестостерон, дендриты начинали расти и скоро становились такими же, как у самцов; по мере роста дендриты устанавливали дополнительные связи (синапсы) с другими нервными клетками.

Эти анатомические изменения свидетельствуют о том, что повышение содержания гормонов в крови или становление нового поведенческого навыка (типа пения), или и то, и другое вместе может приводить у взрослых особей к перестройке связей между нейронами, отвечающими за поведение. Такой реорганизацией уже существующих нервных цепей вполне можно объяснить и значительные изменения размеров RA, и способность взрослых самцов канарейки обучаться новым песням. Что же касается певчих птиц, «выучивающих» свою песню раз и навсегда до наступления половой зрелости (например, белоголовая воробьиная овсянка и зебровая амадина), то у них во взрослом состоянии не происходит существенного изменения размеров ядер RA.

Становление и сезонные колебания размеров ядер HVC и RA у взрослых самцов канареек, а также существенные изменения размеров этих ядер, происходящие у взрослых самок под действием тестостерона, наводят на мысль о том, что, когда птица учится петь, в ее мозге происходят не какие-то тонкие изменения, а значительная перестройка нервных цепей. Сезонные и вызванные введением гормонов изменения размеров ядер, отвечающих за пение, были настолько необычны для мозга взрослых позвоночных, что мы с сотрудниками задались «крамольным» вопросом: всегда ли эти изменения можно объяснить перестройкой связей между одними и теми же нейронами, количество которых в мозге после полового созревания остается неизменным?

ОПРЕДЕЛИТЬ, зарождаются ли новые клетки, довольно легко. Дело в том, что если той или иной клетке предстоит процесс деления, то в ней должна синтезироваться новая ДНК - вещество, из которого построены гены и которое находится преимущественно в ядре. Следовательно, если ввести животному меченый радиоактивной меткой тимидин (предшественник ДНК), он будет накапливаться в ядрах тех клеток, которые готовятся к делению. При де-

лении такой меченой клетки в ядре каждой из двух дочерних клеток должна содержаться половина общего количества меченой ДНК. Таким образом, каждая из дочерних клеток также окажется меченой.

Мы с С. Голдманом в течение нескольких суток ежедневно вводили взрослым самцам и самкам канареек меченый тимидин. Затем, выждав 30 дней, мы исследовали HVC и, к своему удивлению, обнаружили, что на каждый день инъекций приходилось появление метки в 1% общего числа нейронов HVC. В других опытах мы изучали мозг взрослых канареек спустя лишь сутки после введения радиоактивного тимидина. При этом меченых нейронов в HVC не оказалось, но зато было обнаружено довольно много меченых клеток в так называемой вентрикулярной зоне, лежащей над HVC и образующей дно боковых желудочков мозга.

На основании этих результатов можно было предположить, что образование новых нейронов в HVC происходило во время введения тимидина и что эти нейроны зарождались из клеток, расположенных вне данного ядра, а именно - в вентрикулярной зоне. Очевидно, клетки этой зоны дают начало дочерним клеткам, которые мигрируют в HVC и спустя 20-30 дней превращаются в нейроны. У птиц нервные клетки возникают в процессе развития, как и у всех других позвоночных, в вентрикулярной зоне. Возможно, нейрогенез у взрослых особей представляет собой сохранившуюся особенность периода раннего развития.

Нейроны, развивающиеся из клеток вентрикулярной зоны, ничем не отличаются от других, обычных нейронов взрослых канареек. Мы с Г. Бердом установили, что эти новые нейроны HVC формируют синаптические контакты, и вместе с Дж. Пэттоном показали, что в таких нейронах при поступлении сигналов от других нервных клеток возникают типичные электрические ответы. Ясно, что по мере поступления новых нейронов в HVC у взрослых особей эти нейроны подключаются к уже существующим нервным цепям.

В дальнейшем было обнаружено, что у взрослых самцов и самок канареек в HVC постоянно поступают новые нейроны. Почему же в таком случае этот центр с каждым годом не становится все крупнее? Очевидное объяснение состоит в том, что новые нейроны заменяют старые, которые, видимо, разрушаются. Даже новые нейроны подлежат в свою очередь такой замене. Спустя несколько месяцев после введения радиоактивного тими-

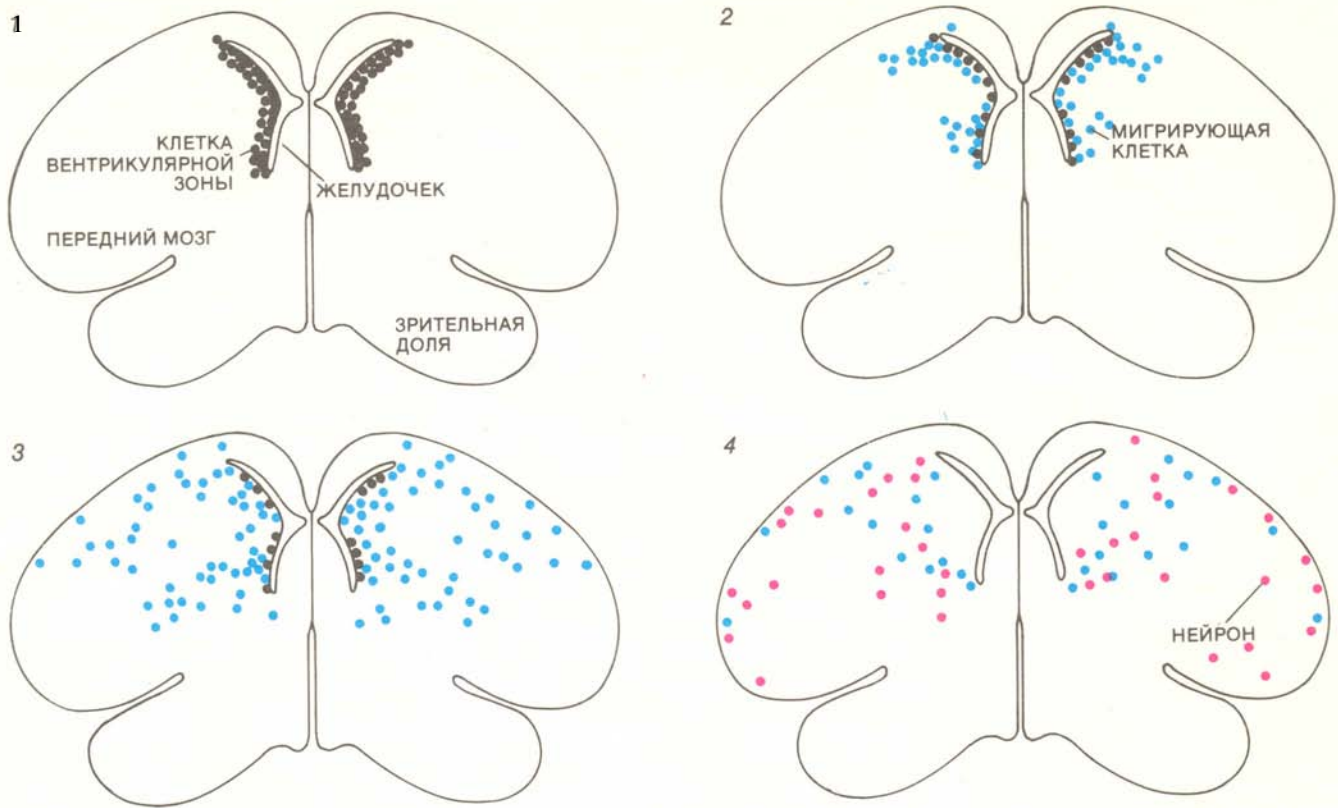
дина в HVC обнаруживалось лишь очень небольшое количество меченых нейронов. Значит, для большинства клеток продолжительность жизни оказывается меньше этого срока. Сезонные изменения размеров ядер, отвечающих за пение, могут объясняться изменением скорости зарождения новых нейронов и гибели старых: к концу брачного периода число нейронов в HVC уменьшается на 38%, но к следующей весне снова становится прежним.

ДАЛЕЕ возникает следующий вопрос: какие же нейроны должны быть разрушены и почему? Несмотря на то что у взрослых канареек в участках головного мозга, отвечающих за пение, были выявлены нейрогенез и замена одних нейронов другими, оставалось совершенно неясным, какую же роль играют эти новые нейроны, когда птица учится петь. Оказалось, например, что у непоющих самок относительное (процентное) увеличение количества меченых нейронов в HVC взрослых птиц в расчете на каждое (ежедневное) введение радиоактивного тимидина по меньшей мере такое же, как и у поющих самцов. Меченые нейроны были обнаружены также у взрослых самцов зебровой амадины, получивших инъекции радиоактивного тимидина после завершения критического периода, когда птица уже перестает учиться пению.

Исходя из этих данных, трудно представить, чтобы новые нервные клетки, поступающие в HVC, просто включались в цепи, отвечающие за двигательные функции, необходимые при «уроках пения». Физиологические опыты свидетельствуют о том, что HVC не только играет большую роль в звукоизвлечении при пении, но, возможно, очень важен также для распознавания пения, т. е. для одной из форм восприятия (перцепции). Тогда вполне вероятно, что HVC служит хранилищем следов перцептивной памяти, и в таком случае добавление к HVC новых нейронов необходимо для того, чтобы птица могла распознавать новые песни.

Известно, что самцы певчих птиц способны подражать «эталонной» песне, лишь сформировав перцептивную память о ней. Точно так же самки (и самцы после критического периода обучения пению) должны формировать перцептивную память о новых разновидностях пения, чтобы узнавать призыв полового партнера или других птиц.

Почему же у певчих птиц постоянно обновляются нейроны мозга? Считается, что человек приобретает все свои двигательные и перцептивные



МИГРАЦИЯ И ДИФФЕРЕНЦИРОВКА НЕЙРОНОВ на поперечном сечении мозга канарейки (см. рисунок на с. 48) в возрасте 1(1),6(2),15(3) и 40(4) суток. Эта схема составлена по данным, полученным при введении птицам меченого

предшественника ДНК - тимидина, который захватывается клетками, готовящимися к делению, и новообразованные клетки оказываются мечеными.

навыки с помощью ограниченного количества невосстанавливающихся нейронов. Изменения в синапсах постоянных нейронов вполне могут обеспечить всю ту гибкость нервных цепей, которая нужна для формирования новых следов памяти.

Данные, полученные в нашей лаборатории, говорят о том, что в некоторых отделах мозга, отвечающих за пение (например, RA), действительно происходят синаптические изменения, связанные с приобретением двигательных навыков. Однако не исключено, что их недостаточно для иных форм научения. Результаты работ, проведенных в других лабораториях, указывают, что от информации, поступающей к нейрону, может зависеть, какие из его генов будут экспрессироваться (т. е. проявляться в фенотипе). Это в свою очередь определяет «статус» клетки и выполняемые ею функции.

В некоторых случаях генетические изменения, возможно, обуславливают необратимое научение. Иными словами, в некоторых нейронах, отвечающих за обучение пению, постоянно происходят необратимые изменения, зависящие от тех следов памяти, которые эти нейроны хранят. Значит,

число нейронов в головном мозге птицы может лимитировать способность к обучению пению. В такой ситуации периодическая замена одних нейронов HVC на другие, возможно, необходима для постоянного обновления перцептивной памяти о различных видах пения.

НЕЙРОГЕНЕЗУ птиц происходит не только в HVC (хотя из всех центров, отвечающих за пение, он обнаружен только здесь). Он широко распространен во всех отделах переднего мозга. Интересно, что именно передний мозг считается той частью центральной нервной системы, которая в наибольшей степени отвечает за сложные приобретенные формы поведения.

Имеются данные о нейрогенезе и у некоторых взрослых млекопитающих, однако эти данные противоречивы (см. выше); к тому же у млекопитающих нейрогенез значительно более ограничен. Почему же он так хорошо выражен у птиц? Возможно, определенную роль здесь играет их относительно большая продолжительность жизни и особая среда обитания - воздух. Канарейка весит столько же, сколько мышь, но живет

в 10 раз дольше. Если бы ее мозг содержал все нервные клетки, необходимые для обработки и хранения информации на протяжении всей жизни, он должен был бы быть значительно крупнее и тяжелее.

Выраженность нейрогенеза в переднем мозге взрослых канареек поднимает важный вопрос; каким образом «новорожденный» нейрон находит путь от области своего возникновения к окончательному месту расположения в нервной цепи? Для нейронов, мигрирующих в HVC, ответ может быть сравнительно прост: вентрикулярная зона находится прямо над этим ядром, и потому от области зарождения до места конечного расположения им надо пройти путь не более полмиллиметра. Однако в других отделах переднего мозга птиц «новорожденные» нейроны обнаруживаются на расстоянии 5-6 мм от ближайшего возможного места появления. Что же направляет незрелую нервную клетку, когда она мигрирует в головном мозге взрослого животного на расстояние, которое может в 100 раз превышать длину ее тела?

А. Альварес-Байлла и я обнаружили, что незрелые нейроны, мигрирующие от стенки желудочков мозга,

приобретают вытянутую форму и часто следуют вдоль длинных отростков особых клеток мозга - радиальных глиоцитов. Эти клетки широко распространены в развивающемся мозге у молодых позвоночных и в переднем мозге у взрослых птиц. Тела этих клеток лежат в области стенки желудочка, а их отростки простираются в серое вещество переднего мозга. Через несколько суток после начала миграции незрелый нейрон отделяется от отростка радиального глиоцита. Мы полагаем, что к этому моменту он подходит к тому месту, где должен сформироваться во взрослую нервную клетку и занять свое место в нервной цепи. Лишь треть мигрирующих клеток превращается в полноценно функционирующие и окончательно дифференцированные нейроны; остальные же исчезают. Мигрирующие клетки живут лишь несколько недель, и вполне возможно, что те перемещающиеся нейроны, которые либо «заблудились» при миграции, либо не смогли найти свое место в нервных цепях к моменту окончания этого срока, погибают.

Из нашей работы следует, что в противоположность устоявшемуся в

нейробиологии мнению, у некоторых позвоночных даже во взрослом мозге может происходить замена нервных клеток. При этом зарождаются новые нейроны, которые мигрируют и занимают надлежащее место в нервных цепях, отвечающих за научение. Если бы такой процесс происходил в мозге человека, он бы имел чрезвычайное значение для восстановления нервных цепей, пострадавших в результате повреждения или болезни.

На сегодняшний день у человека и других приматов нейрогенез не обнаружен. Возможно, это связано с тем, что людям часто приходится вспоминать события далекого прошлого, а замена одних нейронов на другие уничтожила бы память о таких событиях. Однако не исключено, что можно вызвать нейрогенез во взрослом мозге даже в случаях, когда он в норме не происходит: ведь те же гены, которые управляют нейрогенезом в развивающемся мозге зародыща, сохраняются и в нейронах взрослого. Задача, стоящая перед учеными, состоит в том, чтобы выявить эти гены и научиться приводить их в действие.

Наука и общество

Скрытая химия

ПРИГРАНИЧНЫЕ области различных структур Земли - это места, где велика интенсивность каких-либо процессов. Там, где твердая поверхность Земли соприкасается с атмосферой, развивается жизнь; в местах сочленения плит, слагающих поверхность Земли, происходит горообразование, вулканизм и землетрясения. Примерно на глубине 2900 км твердые породы мантии Земли граничат с жидким железистым сплавом внешнего ядра. В химическом отношении это, возможно, наиболее активная переходная зона, что отмечалось на зимнем заседании Американского геофизического союза.

О динамическом характере этой зоны было известно с тех пор, как ее начали изучать, исследуя магнитное поле Земли и прохождение через недра сейсмических волн, вызванных землетрясением. Непосредственно выше границы, разделяющей ядро и мантию, располагается слой мощностью 200 км, непредсказуемым образом рассеивающий сейсмические вол-

ны. Магнитное поле около этой границы, обусловленное течением металла во внешнем ядре, характеризуется наличием устойчивых областей аномально высокой и аномально низкой интенсивности и дрейфом в западном направлении.

На заседании Американского геофизического союза ученые выдвинули идею, что граница между ядром и мантией является также местом, где идут интенсивные химические процессы. Р. Джинлоз и К. Ли из Калифорнийского университета в Беркли, а также Э. Нитл и К. Уильямс из Калифорнийского университета в Санта-Круссе основывают свое предположение на результатах лабораторного моделирования, в ходе которого они использовали так называемые алмазные наковальни. Этот аппарат позволяет получить в образце породы, сжимаемом между двумя алмазами, огромные давления, равные тем, что существуют в глубинах Земли. Лазерный луч, проходящий через один из алмазов, нагревает образец до такой температуры, которая характерна для мантии.

Предыдущие исследования с применением алмазных наковален показали, что высокие давления, соответствующие нижней мантии, преобразуют ее компоненты в минерал, известный как силикатный перовскит, или магнизиально-железистый силикат, - $(Mg, Fe)SiO_3$. Эти эксперименты позволили установить, какой может быть температура на границе между ядром и мантией. Она должна быть выше точки плавления железистого сплава ядра при соответствующих давлениях (так как внешнее ядро находится в жидком состоянии), но ниже точки плавления перовскита. Определив температуру плавления того и другого вещества при давлениях, существующих на границе между ядром и мантией, Джинлоз и его сотрудники оценили температуру в $4000-6000^\circ C$, что значительно выше прежних оценок.

Оказывается, что при таких условиях перовскит и железо интенсивно взаимодействуют. Для воспроизведения «микрокосма» рассматриваемой границы специалисты погружали кусочки железной фольги в перовскит, сжимали образец и нагревали его до температуры, достаточно высокой для плавления железа, но недостаточной для плавления минерала. Оказалось, что в месте соприкосновения металла с породой возникает широкая зона взаимодействия, в которой участки, сложенные такими минералами, как стишовит (SiO_2) и обедненный железом силикатный перовскит ($MgSiO_3$), чередуются с выделениями железисто-кислородного и железисто-кремниевых сплавов. Важно отметить, что стишовит представляет собой упругий материал, в котором скорость распространения сейсмических волн увеличивается, а сплавы - это более мягкий материал, сейсмические волны в них распространяются медленнее. В то же время стишовит не проводит электрический ток, тогда как сплавы, наоборот, имеют высокую электропроводность.

Экстраполируя результаты этих исследований на границу, разделяющую ядро и мантию, исследователи пришли к выводу о возможном существовании зоны взаимодействия, которая охватывает всю 200-километровую толщу рассеивающего слоя. Сочетание участков стишовита с выделениями железистого сплава может служить причиной резких изменений скорости сейсмических волн и соответственно их рассеяния. Этому же сочетанию должны отвечать изменения электропроводности в горизонтальном направлении на 6-9 порядок величины, объясняющие особенности магнитного поля Земли.

Большинство исследователей считают, что электропроводность нижней мантии незначительна и что по этой причине магнитное поле, возникающее во внешнем ядре, выходит на поверхность, не искажаясь мантией. Ученые пытались объяснить наблюдаемые аномалии магнитного поля турбулентными потоками в ядре. Однако исказить магнитное поле могут и выделения электропроводящего железистого сплава в вышележащей мантии: электропроводящие округлые выделения препятствуют прохождению силовых линий магнитного поля из-за влияния течений жидкого металла, так что силовые линии скучиваются. В результате на поверхности магнитный поток ослабляется на одном участке и усиливается на соседнем.

Дж. Блоксем из Гарвардского университета, занимающийся изучением земного магнетизма, не уверен, что изменчивость электропроводности в нижней мантии полностью объясняет аномалии магнитного поля. Он считает, что область высокой электропроводности над Тихим океаном служит причиной наблюдающейся здесь широкой устойчивой зоны с низким магнитным потоком. В то же время Джинлоз указывает, что граница между ядром и мантией под большей частью Тихого океана характеризуется низкой скоростью распространения сейсмических волн; это можно объяснить, если предположить, что здесь в результате химического взаимодействия ядра с мантией образуется обширная область железистого сплава.

Если хочешь быть здоров

В РЯДЕ исследований, ставших теперь уже классическими, показано, что для тех, кто занимается физическими упражнениями, меньше вероятность умереть от нарушения деятельности кровеносной системы (что обычно случается в форме сердечного приступа). Большинство врачей считают, что в разумных пределах занятия физкультурой и спортом полезны, но до сих пор было неясно, является ли более низкая частота сердечно-сосудистых заболеваний среди людей, ведущих физически активный образ жизни, прямым следствием их тренированности или это эффект вторичный - результат того, что физически активные люди худощавее, имеют более низкие кровяное давление и уровень холестерина в крови. Немногочисленные скептики высказывали даже идею, что занимающиеся физической культурой облада-

ют хорошим здоровьем потому, что некие скрытые факторы, скажем генетические, обуславливают их склонность к физической активности.

Недавно в журнале «New England Journal of Medicine» опубликованы данные, которые могут служить аргументом в пользу того, что физическая культура прямо сказывается на состоянии кровеносной системы. Окончательного доказательства этому пока нет; чтобы его получить, потребуется несколько десятков лет наблюдений за эффектами занятий дозированными физическими упражнениями. Однако результаты обследования, проведенного Л.-Г. Эклундом из Университета шт. Северная Каролина и его коллег, свидетельствуют, что физическая активность полезна сама по себе. Два ведущих специалиста теперь придерживаются мнения, что недостаток физической активности следует считать первичным фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Эклунд и его коллеги обследовали в США 3106 взрослых мужчин, у которых не было клинических признаков нарушений кровообращения. На начальном этапе работы была сделана объективная оценка физической подготовки (тренированности) испытуемых при помощи движущейся дорожки (такой подход - существенное усовершенствование по сравнению с исследованиями, в которых испытуемые сами сообщали о проделанных физических упражнениях). Затем на протяжении 8 лет среди них регистрировалась смертность от сердечно-сосудистых заболеваний. По уровню тренированности всех обследованных разделили на 4 группы. В группе наименее физически развитых число умерших от сердечно-сосудистых заболеваний оказалось в 8,5 раза больше, чем в группе с наивысшим уровнем физической подготовки. В двух промежуточных группах этот показатель был соответственно промежуточным, в «наихудшей» группе риск смерти от сердечного приступа а получился в три раза выше, чем в «наилучшей», даже с учетом курения, кровяного давления и содержания холестерина в крови, так что связь между состоянием здоровья и тренированностью нельзя было объяснить генетическими различиями. Авторы работы делают вывод, что защитный эффект физической тренированности, должно быть, большей частью достигается помимо хорошо известной роли кровяного давления и сывороточных липидов, при помощи других механизмов. Они предполагают, что возможны два пути: физические упражнения могут уменьшить риск сердечного

приступа, усиливая кровоснабжение сердечной мышцы или уменьшая вероятность образования кровяных тромбов. По словам Эклунда, аналогичное обследование женщин дало сходные результаты (эти данные не опубликованы).

Какова должна быть интенсивность занятий физическими упражнениями, чтобы достигнуть предполагаемого защитного эффекта? В группе наиболее тренированных мужчин почти половина из них сообщила, что они занимаются физическими упражнениями усердно и регулярно (как правило, 3 и более раз в неделю). В группе наименее физически развитых так поступали только 19%. Эклунд говорит, что занятия физкультурой, вероятно, полезны большинству людей, независимо от исходного уровня физической подготовки: защитный эффект закономерно увеличивался с повышением уровня тренированности. В работе Эклунда и других отдельно велось также наблюдение за мужчинами, изначально имевшими признаки нарушений кровообращения. В этой группе тоже отмечен полезный эффект физических упражнений.

Полезность физической культуры подтверждается и в других исследованиях. Так, результаты обследования лиц, выживших после сердечного приступа, указывают на то, что физические упражнения уменьшают риск второго приступа. По данным А. Леона из Миннесотского университета, даже небольшой объем произвольных упражнений может уменьшить вероятность смерти от нарушений кровообращения у лиц со слабой физической подготовкой из группы высокого риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Эклунд и его коллега У. Хэскел считают, что Американская кардиологическая ассоциация и Национальная программа по просвещению населения о роли холестерина должны классифицировать низкую физическую активность как первичный фактор риска сердечно-сосудистых заболеваний. Сейчас в Ассоциации она рассматривается как вторичный фактор риска; согласно программе, физические упражнения - это «важный помощник»~ правильного питания. Председатель экспертной группы про граммы Де Уитт С. Гудмэн сказал: «Вооруженные данными Эклунда, мы должны дать этому явлению более глубокое толкование». Но он считает, что доказательства пока недостаточны, чтобы считать низкую физическую активность первичным фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Химические эффекты ультразвука

При прохождении интенсивных ультразвуковых волн через жидкость в ней образуются небольшие пузырьки, которые растут и схлопываются, выделяя огромное количество тепла. В таких экстремальных условиях возможно протекание необычных химических реакций

КЕННЕТ С. СУСЛИК

НАЧАЛЬНОЙ стадии испытаний первого британского вэсминца в 1894 г. Дж. Торникрофт и С. Барнаби обнаружили сильную вибрацию его винта. Они предположили, что источником вибрации были большие пузырьки (пустоты), образующиеся при вращении винта и схлопывающиеся под действием давления воды. Торникрофт и Барнаби изменили конструкции винта, чтобы уменьшить вибрацию, обусловленную явлением, которое впоследствии назвали кавитацией, а поскольку Британское адмиралтейство разрабатывало проекты более мощных двигателей, эта проблема становилась все более серьезной. В 1917 г. адмиралтейство поручило лорду Рэлею изучить этот вопрос. Он подтвердил, что вибрация вызывается сильной турбулентностью, выделяющимся теплом и давлением схлопывающихся пузырьков. Хотя кавитация до сих пор доставляет много неприятностей кораблестроителям, в химических процессах она создает уникальные условия для протекания высокоэнергетических реакций.

Химия кроме веществ и их взаимодействий изучает и взаимодействия энергии и вещества. Как правило, источники энергии ограничивают возможность воздействия исследователей на реакционную способность веществ. Взаимодействие света с веществом протекает за короткие промежутки времени и характеризуется высокой энергией, тогда как тепловое взаимодействие протекает за большие времена и при меньших энергиях. Взаимодействие звука с веществом через процесс кавитации делает доступными для изучения химиками таких диапазонов энергий и временных

шкал, которые недостижимы в других случаях.

Химики обычно вызывают кавитацию не путем приложения механического давления, а посредством генерирования интенсивных звуковых волн в жидкости. Такие волны создают чередующиеся области сжатия (уплотнения) и разрежения, в которых могут образовываться пузырьки диаметром порядка 100 мкм. Пузырьки резко схлопываются (менее чем за 1 мкс), так что содержащийся в них газ нагревается до 5500 °С - величина, близкая к температуре поверхности Солнца.

В ПЕРВЫЕ необычное действие интенсивных звуковых волн при распространении в жидкости - область явлений, относящихся к ультразвуковой химии (звукохимии), обнаружил в 1927 г. А. Лумис. Если не учитывать его первых результатов, успехи в этой области были более чем скромными. Активизация звукохимических исследований началась в 80-х годах вскоре после создания недорогих и надежных источников ультразвуковых колебаний высокой интенсивности (с частотой более 16 кГц, что выше уровня слухового восприятия человека).

Сегодня ультразвук применяют в медицинской практике, в промышленности для сварки пластмассовых деталей и очистки материалов и даже в быту в устройствах сигнализации (предупреждающей об ограблении) и т. д. Эти применения, однако, не связаны с химическим действием ультразвука, который может, например, повысить реакционную способность металлического порошка более чем в 105 раз. Он может вызывать столь быстрое относительное движение металлических частиц, что они будут расплавляться при столкновении. Ультразвук может создавать также

микроскопические «очаги пламенности» холодной жидкости.

Эти химические эффекты ультразвука обусловлены физическими процессами, благодаря которым в жидкости возникают, растут и схлопываются газовые и паровые пузырьки. Ультразвуковые волны, как и все звуковые волны, включают циклы сжатия и разрежения. Во время циклов сжатия возникают локальные повышения давления в жидкости, что приводит к сближению ее молекул друг с другом; во время циклов разрежения возникают локальные понижения давления, в результате чего молекулы отдаляются друг от друга.

Во время цикла разрежения звуковая волна достаточной интенсивности может генерировать образование пузырьков. Частицы жидкости удерживаются вместе силами притяжения, которые определяют ее прочность на разрыв. Для того чтобы образовался пузырек, величина, на которую уменьшается локальное давление в цикле разрежения, должна превысить прочность жидкости на разрыв.

Необходимая величина падения давления зависит от типа жидкости и ее чистоты. Прочность на разрыв абсолютно чистой жидкости настолько велика, что имеющиеся ультразвуковые источники не могут создать падения давления, достаточного для образования пузырьков. Для абсолютно чистой воды, например, потребовалось бы падение давления больше чем на 1000 атм, в то время как самые мощные ультразвуковые генераторы создают давление примерно до 50 атм. Однако прочность жидкостей на разрыв уменьшается за счет газа, «захватываемого» трещинами на микроскопических твердых частицах, присутствующих в жидкости. Этот эффект аналогичен снижению прочности, обусловленному трещинами в

* от латинского *cavitas* - пустота.
Прим. ред.

твердых материалах. В области пониженного давления, захваченный газ начинает выходить из трещины, образуя маленький пузырек, переходящий в раствор. В большинстве случаев жидкости бывают достаточно сильно загрязнены пылью и другими твердыми примесями, чтобы вызвать кавитацию. В водопроводной воде, например, пузырьки образуются при падении давления всего на несколько атмосфер*.

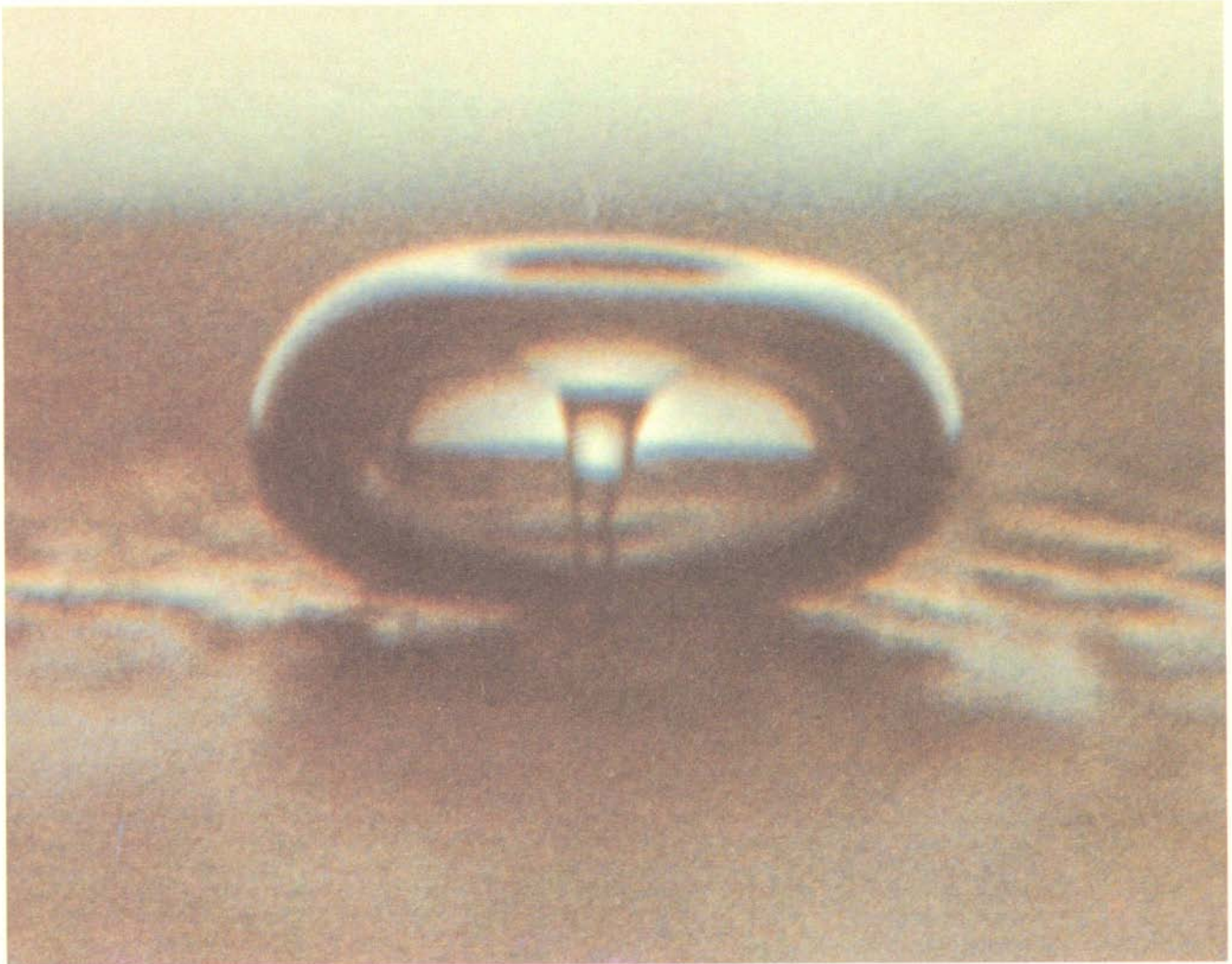
Пузырек в жидкости нестабилен:

* Точнее, на несколько долей атмосферы. - Прим. ред.

если он велик, то будет всплывать на поверхность и лопаться; если он мал, то будет сдавливаться жидкостью и исчезать. Однако при взаимодействии с ультразвуковой волной пузырек будет непрерывно поглощать энергию в течение чередующихся циклов сжатия и разрежения. Это взаимодействие приводит к росту и сжатию пузырьков, нарушая динамическое равновесие между паром внутри их и жидкостью снаружи. В одних случаях ультразвуковые волны будут поддерживать существование пузырька, вызывая лишь колебания его размера. В других случаях средний размер пузырька будет увеличиваться.

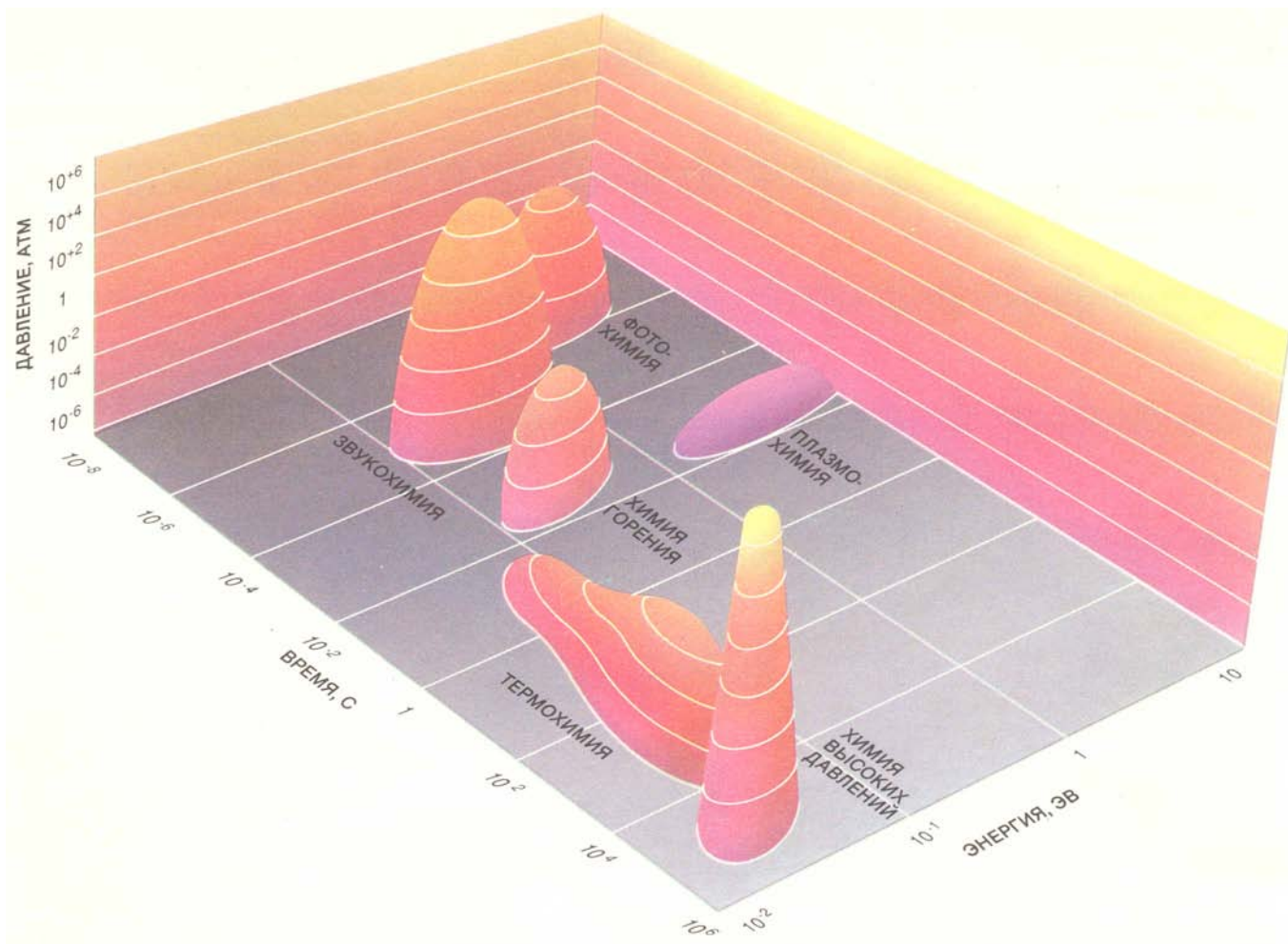
Рост пузырька определяется интенсивностью ультразвука. Ультразвук высокой интенсивности может привести к столь быстрому расширению пузырька в цикле разрежения, что он уже не сожмется в цикле сжатия. Следовательно, в таком процессе пузырьки могут быстро вырасти за один период ультразвуковой волны.

В случае ультразвука низкой интенсивности размер пузырька колеблется в фазе с давлением в течение циклов разрежения и сжатия. Поверхность такого пузырька во время цикла разрежения несколько увеличивается по сравнению с циклом сжатия. По-



СХЛОПЫВАЮЩИЙСЯ ПУЗЫРЕК в жидкости, обрабатываемой ультразвуком, на высокоскоростной микрофотографии, полученной с лампой-вспышкой (вверху). Схлопывание пузырька приводит к нагреву газов, находящихся внутри его, до 5500 ОС. Поскольку пузырек образовался вблизи твердой поверхности, его схлопывание носит асимметричный характер и сопровождается выбросом струи жидкости со скоростью приблизительно 400 км/ч. Выделяющееся тепло и струя создают необычные условия для химических реакций в жидкости. Диаметр пузырька равен примерно 150 мкм. На рисунке справа показаны стадии схлопывания пузырька и образования струи.





ЗВУКОХИМИЯ позволяет достичь такого диапазона энергий, а также комбинаций давления и времени, которые недоступны в других химических исследованиях. На рисунке

показаны соотношения между энергией, давлением и временем, характерные для разных областей химии.

сколько количество газа, диффундирующего в пузырек или из него, зависит от площади поверхности пузырька, диффузия в пузырек во время циклов разрежения будет несколько большей, чем диффузия из него в течение циклов сжатия. Следовательно, за каждый период ультразвуковой волны пузырек расширяется несколько больше, чем сжимается, и с течением времени пузырьки будут медленно расти.

Растущий пузырек может постепенно достичь критического размера, при котором он наиболее эффективно поглощает энергию ультразвука. Этот размер зависит от частоты ультразвуковой волны. При 20 кГц, например, критический диаметр пузырька составляет приблизительно 170 мкм. Такой пузырек может быстро вырасти за один период волны. После того как размер пузырька быстро увеличился, он уже не может эффективно поглощать энергию ультразвука. Без подвода энергии извне пузырек не может существовать.

Жидкость сдавливает его, и он схлопывается*.

ПРИ схлопывании пузырьков образуются условия для проте-

* За последние годы создана новая теория схлопывания пузырька в ультразвуковом поле. Советский ученый М.А. Маргулис с сотрудниками разработал электрическую теорию кавитации, которая подтверждается экспериментальными данными разных ученых. Согласно этой теории, в ультразвуковом поле происходит «расщепление» кавитационного пузырька, образование на его «шейке» электрического заряда, а затем - локализация нескомпенсированного заряда на небольшой поверхности пузырька, приблизительно равной сечению «шейки». При этом напряженность электрического поля в пузырьке достигает 10^6 В/м, что достаточно для электрического пробоя кавитационного пузырька даже при повышенных давлениях в нем (подробно о работах советских исследователей в области ультразвуковой химии см. дополнительную библиографию к этой статье на с. 100). -Прим. ред.

кания необычных химических реакций. Газы и пары внутри пузырька сжимаются, интенсивно выделяя тепло, за счет которого повышается температура жидкости в непосредственной близости от пузырька, и таким образом создается горячая микрообласть. Несмотря на то что температура этой области чрезвычайно высока, сама область настолько мала, что тепло быстро рассеивается. Согласно оценкам, полученным мною и моими коллегами из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн, скорости нагрева и охлаждения жидкости во время кавитации превышают 10^9 °C/c! Это соответствует скорости охлаждения расплавленного металла при его выплескивании на поверхность, охлажденную до температуры вблизи абсолютного нуля. Таким образом, в любой момент времени основная масса жидкости имеет температуру окружающей среды.

Точные значения температур и давлений, достигаемых при схлопывании пузырька, трудно определить как тео-

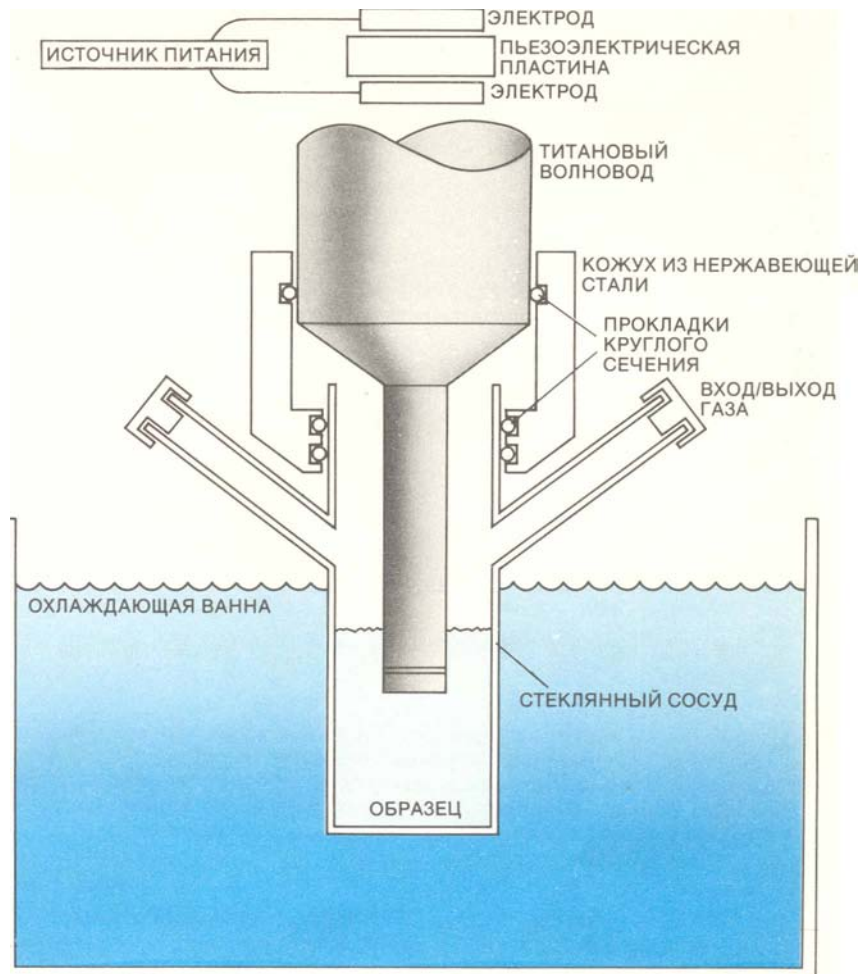
ретически, так и экспериментально. Однако эти величины имеют фундаментальное значение при описании звукохимических явлений. Для приближенного описания динамики схлопывания пузырька были предложены различные теоретические модели, характеризующиеся разной степенью точности. Недостаток всех этих моделей - невозможность точного описания динамики пузырька на заключительных стадиях схлопывания. Наиболее сложные модели дают значения температур порядка 103 0С, давлений $10^2 - 10^3$ атм и времени нагрева менее 1 мкс.

Температуру схлопывающегося пузырька нельзя измерить термометром, поскольку полученное от ультразвуковой волны тепло рассеивается слишком быстро. Недавно мои коллеги и я нашли альтернативный способ, позволяющий проверить теоретические результаты в эксперименте. Один из путей измерения температуры - определение скоростей известных химических реакций, поскольку температура связана с отрицательным обратным логарифмом скорости реакции. Если измерить скорости нескольких различных реакций, протекающих в созданной ультразвуком среде, то можно рассчитать температуру, достигаемую после схлопывания пузырька.

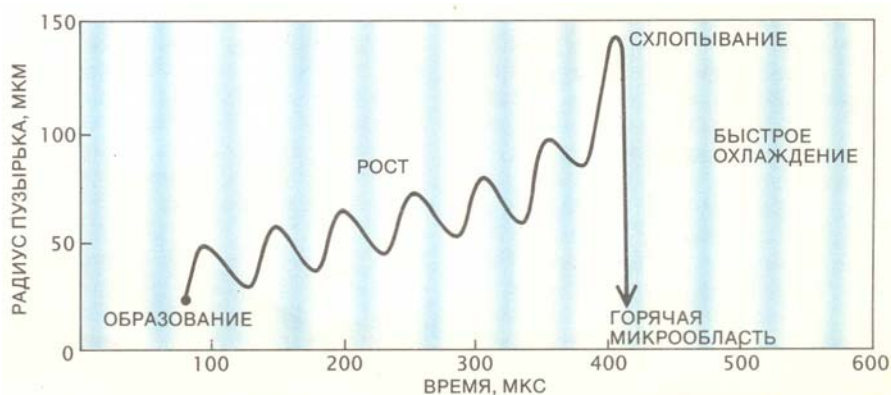
При определении относительных скоростей ряда звукохимических реакций Д. Хаммертон из нашей лаборатории установил наличие двух различных температурных областей, связанных с схлопыванием пузырька. Газ, содержащийся в пузырьке, достигает температуры около 5500 °С, тогда как жидкость непосредственной близости от пузырька - 2100 °С. Для сравнения укажем, что температура пламени ацетиленовой горелки составляет около 2400 °С.

Хотя давление, достигаемое при схлопывании пузырька, труднее определить экспериментально, чем температуру, между этими двумя величинами существует корреляция. Таким образом, для максимального давления можно получить оценку 500 атм, что составляет половину величины давления в глубочайшем месте Мирового океана - Марианской впадине.

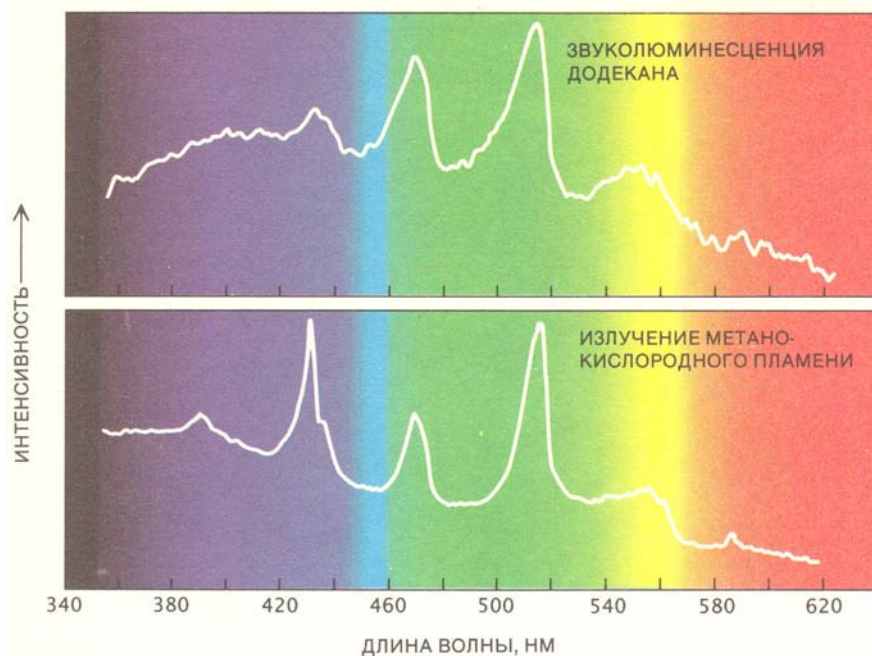
Несмотря на то что локальные значения температуры и давления, достигаемые при схлопывании пузырька, экстремальны, химики могут успешно контролировать протекание звукохимических реакций. На интенсивность схлопывания пузырька и, следовательно, на характер реакции влияют такие факторы, как частота ультразвуковой волны, ее амплитуда, температура окружающей среды,



УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПОГРУЖНОЙ ВОЛНОВОД - самый мощный источник ультразвука общего назначения. Ультразвуковые волны создаются в жидкости с помощью пьезоэлектрических или магнитострикционных материалов. При помещении таких материалов в поле, колеблющееся с ультразвуковой частотой, генерируется ультразвук. В ультразвуковом излучателе имеется пьезоэлектрическая керамическая пластина, прикрепленная к титановому волноводу конической формы, который служит для усиления ультразвука. Волновод совершает колебания с фиксированной частотой (обычно 20 кГц), амплитуду которых можно изменять. Поскольку выходная мощность такого источника весьма высока, реакционный раствор надо охлаждать.



РОСТ ПУЗЫРЬКА И ЕГО СХЛОПЫВАНИЕ в жидкости, обрабатываемой ультразвуком, - физическое явление, лежащее в основе большинства звукохимических реакций. Интенсивная ультразвуковая волна создает в жидкости большие переменные напряжения из-за наличия в ней областей с повышенным (синие полосы) и пониженным (светлые полосы) давлением. Пузырек может образоваться и расти в течение циклов пониженного давления. Когда пузырек достигает критического размера, он схлопывается, что сопровождается интенсивным выделением тепла и возникновением огромного давления.



СВЕТ, спектр которого почти такой же, как у пламени газовой горелки, излучается при обработке ультразвуком холодных жидких углеводородов; это явление называют звуколюминесценцией. Кривые представляют спектры звуколюминесценции додекана $C_{12}H_{24}$ (вверху) и пламени метана CH_4 (внизу). Сходство спектров обусловлено образованием радикала C_2 и его излучением.

статическое давление, природа жидкости и газа, растворенного в ней. Влияние этих факторов часто противоречит существующим представлениям в химии. Приведу три примера.

Во-первых, в отличие фактически от всех химических реакций скорость большинства звукохимических реакций уменьшается с ростом температуры окружающей среды, т. е. температуры жидкости, содержащей пузырьки. Чем выше температура окружающей среды, тем больше газа будет находиться внутри пузырька. Дополнительное количество газа демпфирует схлопывание пузырька и снижает достигаемую при этом температуру. Следовательно, звукохимические реакции при повышении температуры окружающей среды протекают медленнее. Во-вторых, в отличие от химических процессов, вызываемых светом, звукохимические реакции не проявляют сильной зависимости от частоты. Влияние частоты в основном сводится к изменению критического размера ПУЗЫРЬКА перед схлопыванием, что не изменяет сколько-нибудь значительно ход процесса кавитации. В-третьих, в отличие от многих химических реакций в растворе природа газа, растворенного в жидкости, имеет очень большое значение для протекания звукохимических реакций. Если пузырек заполнен, например, ксеноном, максимальная температура, до-

стигаемая при его схлопывании, будет высокой, потому что ксенон плохо проводит тепло и сохраняет энергию, выделяющуюся при схлопывании пузырька. В то же время гелий проводит тепло так хорошо, что может подавить звукохимические реакции*.

Динамика роста пузырька и его схлопывания сильно зависят от локальных условий, включая агрегатное состояние используемых сред: являются ли они просто жидкостями, жидкостями с протяженными твердыми поверхностями или жидкостями с примесью небольших твердых частиц. В каждом случае преобладающие физические эффекты, вызванные схлопыванием пузырька, различаются, поэтому характер химических реакций также изменяется.

ЗВУКОХИМИЧЕСКИЕ процессы в жидкостях зависят главным образом от физических эффектов при быстром нагреве и охлаждении, вызываемых схлопыванием пузырька.

* Более вероятно, что зависимость скорости звукохимической реакции от природы газа связана не с изменением его теплопроводности, а с более низким потенциалом возбуждения, например, ксенона по сравнению с аргоном, и с передачей возбуждения молекулам, проникающим в кавитационный пузырек. - *Прим. ред.*

Например, когда П. Рис и его коллеги из Национального института рака облучали воду ультразвуком, они доказали, что под действием энергии ультразвуковых волн вода (H_2O) расщепляется на высокореакционноспособные атомы водорода (H) и радикалы гидроксила (OH). На быстрой стадии охлаждения атомы водорода и радикалы гидроксила рекомбинируют с образованием перекиси водорода (H_2O_2) и молекулярного водорода (H_2). Если к воде, облученной ультразвуком, добавить другие соединения, то в ней могут происходить многие вторичные реакции. Органические соединения интенсивно разлагаются в такой среде, а неорганические могут окисляться или восстанавливаться.

В некоторых органических жидкостях при облучении ультразвуком протекают интересные реакции. Так, алканы - основные компоненты сырой нефти - могут расщепляться на меньшие фрагменты (например, бензин**), которые необходимо получить. Сырую нефть обычно подвергают крекингу при нагреве до температуры выше 500 °C. Однако обработка алканов ультразвуком вызывает их расщепление при комнатной температуре, причем продуктом этого процесса является ацетилен, который нельзя получить в достаточном количестве простым нагревом.

Возможно, наиболее удивительное химическое явление, связанное с ультразвуком, заключается в его способности создавать микроскопические «очаги пламени» в холодных жидкостях в результате так называемой звуколюминесценции. Когда при схлопывании пузырька в жидкости возникает микрообласть с повышенной температурой, молекулы в этой области могут возбуждаться в высокоэнергетические состояния. При возвращении молекул в основное состояние они излучают свет. Э. Флинт из нашей лаборатории в 1987 г. обнаружил, что облучение ультразвуком углеводородов дает удивительный результат: цвет излучаемого света такой же, как у пламени газовой горелки.

Действие ультразвука на жидкости использовалось также для ускорения химических реакций в растворах. Пример металлоорганических соединений, содержащих связи металл - углерод, особенно показателен. Этот широкий класс веществ играет важную роль при получении пластмасс, в

** При расщеплении алканов под действием ультразвука образуются в основном газообразные низшие углеводороды (этилен, ацетилен, метан, этан), а также водород. - *Прим. ред.*

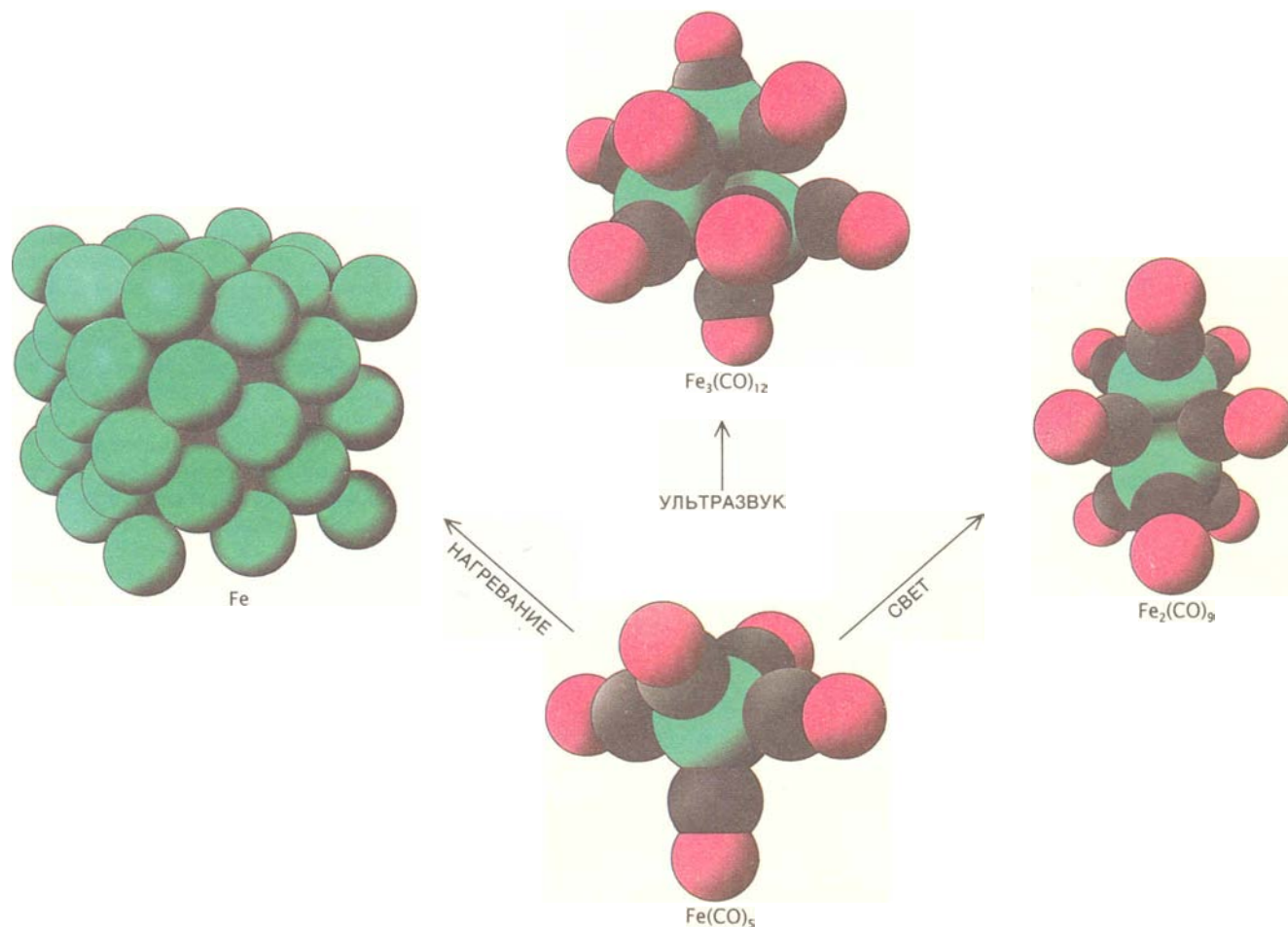
производстве микроэлектронных схем и синтезе лекарственных препаратов, гербицидов и пестицидов. В 1981 г. П. Шуберт и я впервые исследовали действие ультразвука на металлоорганические соединения, в частности на пентакарбонил железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$. Полученные результаты при сравнении с данными по действию света и нагревания на $\text{Fe}(\text{CO})_5$ свидетельствуют о своеобразии химических процессов, вызываемых ультразвуком (см. рисунок внизу). Когда $\text{Fe}(\text{CO})_5$ подвергается нагреванию, он разлагается на монооксид углерода (CO) и тонкий порошок железа, который самопроизвольно воспламеняется на воздухе. Когда на $\text{Fe}(\text{CO})_5$ воздействует ультрафиолетовое излучение, он сначала распадается на $\text{Fe}(\text{CO})_4$ и свободные фрагменты CO. Молекулы $\text{Fe}(\text{CO})_4$ могут затем рекомбинировать с образованием соединения $\text{Fe}_2(\text{CO})_9$. Схлопывание пузырька приводит к иному результату. Оно сопровождается выделением та-

кого количества тепла, которое достаточно для отщепления нескольких групп CO, но в результате последующего быстрого охлаждения эта реакция прекращается до ее завершения. Таким образом, когда на $\text{Fe}(\text{CO})_5$ действует ультразвук, образуется необычное кластерное соединение $\text{Fe}_3(\text{CO})_{12}$.

Звукохимия двух несмешивающихся жидкостей (например, масла и воды) определяется способностью ультразвука эмульгировать жидкости, в результате которой микрокапли одной жидкости образуют эмульсию в другой. Ультразвуковые сжатия и разрежения вещества вызывают напряжение поверхности жидкости, которое преодолевает силы сцепления, удерживающие молекулы жидкости в большой капле. Происходит дробление такой капли на более мелкие, и постепенно жидкость эмульгируется.

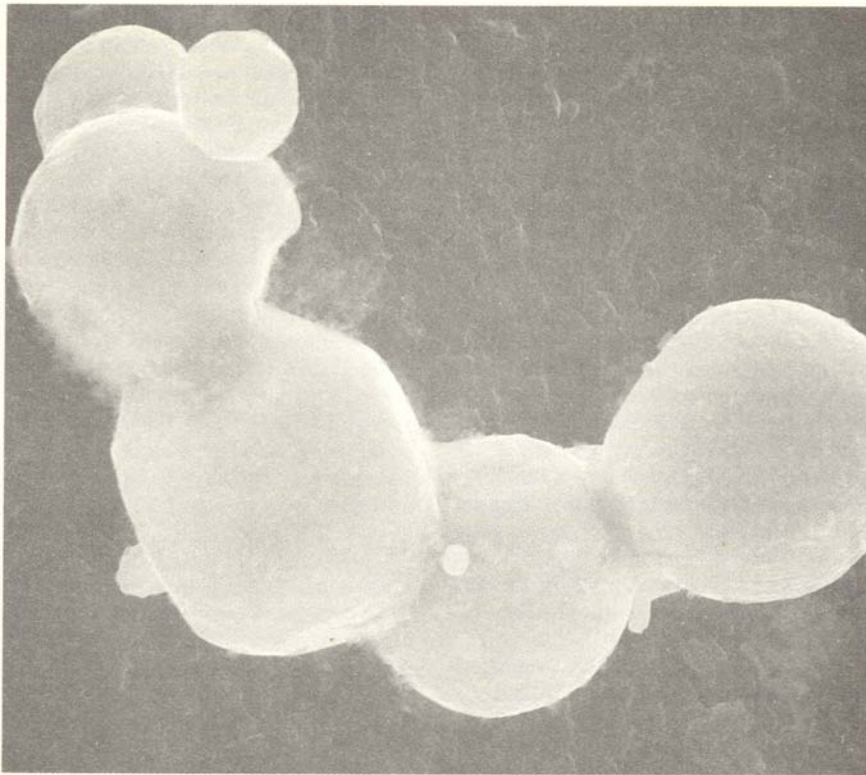
Эмульгирование может ускорять химические реакции между несмешивающимися жидкостями благодаря сильному увеличению поверхности их контакта. Большая поверхность контакта облегчает проникновение молекул из одной жидкости в другую - эффект, в результате которого некоторые реакции ускоряются. Эмульгирование ртути в различных жидкостях приводит к особенно интересным реакциям, как показывают исследования А. Фрая из Университета Уэсли. Он обнаружил, что многие реакции ртути с броморганическими соединениями представляют промежуточные стадии образования новых углерод-углеродных связей. Такие реакции играют решающую роль в синтезе сложных органических веществ.

ЗВУКОХИМИЧЕСКИЕ процессы на твердых поверхностях в жидкостях зависят от изменения динамики схлопывания пузырька. Если кавитация в жидкости происходит вблизи протяженной твердой поверхности,



УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ХИМИЯ может сильно отличаться от фотохимии и термохимии. Реакции пентакарбонила железа, в состав которого входят атом железа (зеленый) и связанные с ним пять групп CO (черные и красные), иллюстрируют эти различия. При нагревании пентакарбонил железа

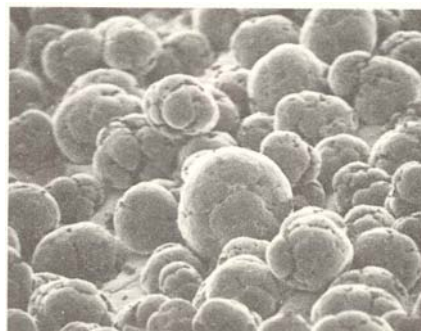
разлагается на чистое железо и монооксид углерода. При облучении светом образуется соединение из двух атомов железа, связанных с девятью группами CO. Ультразвуковая обработка кластерное соединение из трех атомов железа и двенадцати групп CO.



СТОЛКНОВЕНИЯ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ, вызванные ударными волнами при схлопывании пузырьков, приводят к агломерации частиц. Столкновения между частицами цинка настолько резкие, что они плавятся при ударе (x 13000).

то характер схлопывания пузырька будет существенно иным, чем в системе из одной жидкости, когда схлопывание сферически-симметрично. Присутствие твердой поверхности приводит к перераспределению давления в ультразвуковом поле, и схлопывание пузырька около поверхности становится заметно асимметричным. В результате возникает направленная к поверхности струя жидкости, движущаяся со скоростью

приблизительно 400 км/ч. Эта струя, как и ударная волна, вызванная схлопыванием, приводит к эрозии поверхности, удалению неактивных участков с повышенной хрупкостью. Начинающиеся реакции ускоряются высокими температурами и давлениями, порождаемыми схлопыванием пузырьков около поверхности. Все эти процессы увеличивают реакционную способность твердых поверхностей,



МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ изменяют свое физическое состояние при облучении ультразвуком. Перед тем как образец никелевого порошка (слева) подвергался ультразвуковой обработке, он имел химически не активное кристаллическое покрытие на поверхности. После облучения (справа) покрытие сошло, обнажив никель и повысив реакционную способность порошка. Такой порошок становится очень хорошим катализатором химических реакций. (Увеличение примерно в 100 раз.)

что важно для синтеза лекарственных препаратов, тонкого органического синтеза и получения полимеров.

Звукохимия на твердых поверхностях в жидкостях лучше всего иллюстрируется реакциями химически активных металлов, таких как литий, магний, цинк и алюминий. Облучение ультразвуком реакционных смесей, содержащих эти металлы, более эффективно при низких температурах и обеспечивает относительно высокий выход продуктов. Впервые исследовал такие реакции П. Рено из Парижского университета. Позднее Ж.-Л. Люш из Гренобльского университета и Ф. Буджук из Университета шт. Северная Дакота распространили использование ультразвуковой очищающей ванны для ускорения реакций активных металлов.

Химические реакции с участием этих металлов с большим трудом поддаются контролю. Следы воды, кислорода или азота могут вступать в реакции на поверхности с образованием защитных покрытий. Увеличение реакционной способности защитной поверхности путем непосредственного нагрева может приводить к взрывам. Облучение же ультразвуком может обеспечить чистоту поверхности и плавное протекание реакции при пониженной температуре окружающей среды. Повышенный выход продуктов и надежность оборудования могут быть достигнуты для многих химически активных металлов в крупномасштабных промышленных производствах.

Экстремальные условия, создаваемые кавитацией вблизи твердых поверхностей, могут быть использованы также для придания химической активности «нереакционноспособным» металлам. Например, Р. Джонсон из нашей лаборатории изучал реакции монооксида углерода с молибденом и танталом, а также с другими металлами, близкими к ним по реакционной способности. Для образования карбониллов металлов обычными методами требуются давления 100-300 атм и температуры от 200 до 300 °С. Однако при облучении ультразвуком их образование может происходить при комнатной температуре и атмосферном давлении.

Схлопывание пузырька в дополнение ко всем описанным выше эффектами может сопровождаться выходом ударной волны в жидкость. Звукохимические процессы на твердых частицах в жидкости в большой степени определяются такими ударными волнами; они вызывают взаимное сближение микроскопических частиц металлического порошка со скоро-

стью, превышающей 500 км/ч. Мои коллеги и я недавно показали, что подобные столкновения настолько интенсивны, что вызывают плавление частиц в месте удара. Это плавление повышает реакционную способность металла, поскольку приводит к удалению металлооксидного покрытия. (Такие защитные оксидные покрытия обнаруживаются на большинстве металлов и являются причиной появления патины на медных изделиях и бронзовой скульптуре.)

Поскольку ультразвуковая обработка повышает реакционную способность металлических порошков, она увеличивает также их каталитическую активность. Для многих реакций необходим катализатор, чтобы они протекали с требуемой или хотя бы заметной скоростью. Катализатор не расходуется в реакции, а только ускоряет реакцию других веществ.

Влияние ультразвука на морфологию частиц, состав поверхности и каталитическую активность исследовалось Д. Касадонте и С. Доктичем в нашей лаборатории. Они обнаружили, что под действием ультразвука происходит резкое изменение морфологии поверхности у таких катализаторов, как порошки никеля, меди и цинка. Поверхности отдельных частиц сглаживаются, и частицы объединяются в обширные агрегаты. Эксперимент по определению состава поверхности никеля показал, что оксидное покрытие удаляется, вследствие чего сильно увеличивается каталитическая активность никелевого порошка. В целом облучение ультразвуком повышает эффективность никелевого порошка как катализатора более чем в 105 раз. В таких условиях никелевый порошок также активен, как некоторые специальные катализаторы, используемые в настоящее время, однако он не воспламеняется и стоит дешево.

УЛЬТРАЗВУК оказывается полезен почти в каждом случае, когда должны реагировать жидкость и твердое вещество. Кроме того, он может проникать через большой объем жидкости и поэтому хорошо подходит для промышленных применений. В будущем использование ультразвука в химических процессах должно быть очень разнообразным. Что касается синтеза лекарственных препаратов, то ультразвук позволяет увеличить выход продуктов по сравнению с традиционными методами.

Однако наиболее высокие достижения в звукохимии могут быть связаны с получением новых материалов, обладающих необычными свойствами. Например, очень высокие температу-

ра и давление, достигаемые во время кавитации, могут привести к синтезу огнеупорных материалов (таких как карборунд, карбид вольфрама и даже алмаз). Огнеупорные материалы обладают высокой термостойкостью и огромной структурной прочностью. Они находят важное применение в промышленности как абразивы и вставные резцы с повышенной твердостью.

Чрезвычайно быстрое охлаждение, сопровождающее схлопывание пузырька, может быть использовано для создания металлических стекол. Такие аморфные металлы имеют

необычайно высокие коррозионную стойкость и прочность.

Хотя химические применения ультразвука находятся еще на начальных стадиях разработки, в ближайшие годы следует ожидать быстрого прогресса в области звукохимии. Использование ультразвука в лабораторных реакциях широко распространяется, и перенос имеющихся технологий на реакции промышленного масштаба, по-видимому, не за горами. В основе разрабатываемых технологий лежат последние достижения в исследованиях природы кавитации и химических эффектов ультразвука.

Вниманию читателей!

ГОТОВИТСЯ К ПЕЧАТИ
переводной журнал
ТИИЭР, т. 76, № 12
(декабрь 1988)

В номере публикуются обзорные статьи:

ЕСТЕСТВЕННАЯ И ИСКУССТВЕННО ИНИЦИИРОВАННАЯ МОЛНИЯ И СТАНДАРТЫ НА ИСПЫТАНИЯ АППАРАТУРЫ С УЧАСТИЕМ ГРОЗОПОДОБНЫХ РАЗРЯДОВ *М. А. Уман*

Приводится обзор современных представлений о физических механизмах возникновения естественной и искусственно инициированной молнии. Рассматриваются возможные последствия воздействия грозовых разрядов на авиационные и ракетно-космические объекты, а также методы и средства защиты технических устройств и сооружений от молнии. 2 авт. л., лит. 108 назв.

ШИРОКОВЕЩАТЕЛЬНАЯ ДОСТАВКА ИНФОРМАЦИИ *Дж. Вон*

Рассматриваются характеристики систем, обеспечивающих передачу информации по широко-вещательному каналу широкому кругу пользователей. В основу рассмотрения положены три разновидности архитектуры: с односторонним вещанием,

двусторонним интерактивной, гибридной. Приведены оценки качества диспетчерских алгоритмов. 2 авт. л.

СВЧ-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ *Б. Стайнберг*

Описываются три метода повышения четкости изображения объектов на экранах радиолокаторов сантиметрового диапазона. Методы основаны на автокалибровке путем адаптивного лучеформирования. Приведены результаты экспериментов. 2,5 авт. л., лит. 44 назв.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ: ОБЗОР *Р. Миттра и др.*

Частотно-избирательные поверхности (ЧИП) в виде экранов с периодически расположенными апертурами используются в качестве фильтров в СВЧ-технике и оптике. В статье описаны основные свойства ЧИП и методы расчета их частотных характеристик. 3,8 авт. л., лит. 72 назв.

Цена номера 3 р. 30 к.

Предварительные заказы можно направлять до 25 мая 1989 г. по адресу: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТИИЭР.



Реконструкция процесса заселения Азии первобытным человеком: одонтологический подход

Мельчайшие различия в строении зубов людей позволяют реконструировать великие миграции первобытного человека, заселившего Азию, бассейн Тихого океана и Новый Свет

КРИСТИ ДЖ. ТЕРНЕР

СВИДЕТЕЛЬСТВАМИ великих миграций в первобытной истории человечества чаще всего служат различные артефакты, например каменные ножи, остатки деревянных построек, черепки и т. д. Однако в равной степени информативными могут быть и другие, на первый взгляд не столь явные, свидетельства. Например, зубы людей. Форма человеческих зубов является генетически наследуемым признаком, передающимся в неизменном виде от поколения к поколению в пределах данной популяции. Поэтому различия в строении зубов между группами людей могут быть использованы для выявления связей между этими группами, т. е. для построения своеобразного «генеалогического древа». Исходя из этих различий, я в течение трех десятилетий занимаюсь изучением того, как происходили доисторические миграции людей, в результате которых были заселены Азия, бассейн Тихого океана, Южная и Северная Америки, и на сегодняшний день вырисовывается довольно отчетливая картина этих процессов.

В основу этой картины положена концепция, базирующаяся на двух главных понятиях, названных мною «сундадонтия» и «синодонтия». Каждое из них характеризует группу особенностей в строении зубов и соответствует двум крупным стволам популяционной системы. Сундадонты населяют сегодня Юго-Восточную Азию, Индонезию и Полинезию; синодонты - Китай, Японию и Сибирь, а также Южную и Северную Америки (имеются в виду коренные жители. - *Ред.*). Центр этой обширной разветвленной системы находился, по-видимому, в Юго-Восточной Азии. Именно оттуда группы людей, которые впоследствии будут иденти-

фицированы как синодонты, распространились по территории Китая, затем Сибири и, пройдя по материковому мосту, находившемуся на месте нынешнего Берингова пролива, - по Северной, а затем и Южной Америке. И лишь благодаря стабильности особенностей в строении зубов людей мы можем проследить все ответвления популяционной системы - от палеоиндейцев Чили до ее «истоков» в Юго-Восточной Азии.

ВСЛЕД за проникновением европейцев в земли Тихоокеанского бассейна, Восточную Азию, в Южную и Северную Америки, продолжавшимся примерно с 1500 до 1750 г., было предложено немало гипотез для объяснения происхождения связей многих народов, населявших эти обширные безымянные части земного шара. Некоторые из этих гипотез были разумны, другие - абсурдны. Когда-то полинезийцев считали выходцами из Египта. Айны северной Японии рассматривались как потомки европеоидов. О негритосах Филиппин и Андаманских островов иногда и сейчас говорят, что они африканского происхождения. Что касается американских индейцев и эскимосов, то предполагались разные места их происхождения, включая ныне затонувшие острова в Тихом океане, Средиземноморье и даже в Европе.

Противоречивый и умозрительный характер этих гипотез отчасти был обусловлен огромным разнообразием популяций в данных регионах, занимающих в общей сложности примерно половину земной поверхности. Внутри их лежали тропические острова, густые влажные леса, жаркие пыльные степи, арктическая тундра, таежные леса, пустыни, горы и прерии. И в этих столь различных при-

родных условиях возникло не менее удивительное разнообразие культур среди тихоокеанских, американских и азиатских народов.

И все же трудности в объяснении происхождения этих народов связаны не только с разнообразием самих человеческих популяций. Отчасти они определялись тем, какие именно признаки были выбраны для решения вопроса о родстве между группами. При построении «генеалогического древа» некоторые исследователи использовали приобретенные особенности, такие как стили произведенных орудий. Однако такие особенности в гораздо большей степени подвержены влиянию окружающей среды, чем генетически детерминированные. Некоторые элементы не связанных друг с другом культур, например рыболовные крючки, дома или головные уборы, могут приобрести удивительное стилистическое сходство при отсутствии общего происхождения.

Но проблема не решается автоматически даже при выборе генетически наследуемых черт. Распространенность, или частота, тех особенностей, которые зависят от наследования одного гена (цвет глаз, например), может сильно измениться в ходе миграционного процесса, особенно если она низка в исходной популяции. Если частота признака составляет в материнской популяции, скажем, 10% и число людей, отправившихся на освоение новой территории, невелико, то весьма вероятно, что признак будет вообще отсутствовать у мигрантов. Так, группа крови В распространена в Северо-Восточной Азии, но почти полностью отсутствует в коренных американских популяциях, которые происходят от древнейших обитателей Северо-Восточной Азии.

Таким образом, наилучшими пере-

менными для реконструкции истории популяций являются те, которые зависят не от одного, а от многих генов и минимально подвержены влиянию окружающей среды. Из практических соображений важно также, чтобы обследование признаков было несложным и не требовало бы дорогого оборудования, а сами признаки можно было сравнить у современных и древних популяций. Этим требованиям отвечают некоторые части скелета человека, в частности зубы. Не удивительно поэтому, что в течение последних 50 лет весьма успешно развивается научная дисциплина - антропологическая одонтология, начало которой положили работы А. Грдлички из Смитсоновского института и других ученых.

Каковы же главные признаки, или особенности, зубов человека, позволяющие антропологам дифференцировать популяции людей? Таких особенностей четыре. Первая - это коронка, покрытая твердой эмалью для измельчения и перетирания пищи. Вторая - длинные корни, которые удерживают каждый зуб внутри несущей его кости. Третья - разделение зубов на категории: резцы, клыки, премоляры и моляры. Четвертая - число постоянных зубов - 32, каждому из которых, за исключением моляров, в детстве предшествует один из 20 зубов молочной смены.

ВСЕ ЭТИ особенности присущи всем современным людям и демонстрируют удивительно стабиль-

ное полигенное наследование. Гораздо большую изменчивость как внутри основных человеческих групп, так и между ними обнаруживает частота вторичных признаков, к которым относятся число бугорков на молярах (округлых возвышений на жевательной поверхности), число корней, различные тончайшие гребни и бороздки эмали и другие мелкие анатомические структуры. Частоты этих вторичных признаков существенно различаются между группами, однако внутри их, как было показано в многочисленных исследованиях различных авторов, они остаются довольно стабильными во времени, даже если речь идет об очень мелких деталях строения зубов.

Я использовал эти вторичные признаки для обоснования концепции, ко-



«КОЛЬШКООБРАЗНЫЙ» МОЛЯР, изображенный слева, широко распространен среди алеутов и эскимосов; обычно это верхний третий моляр. Он является одним из признаков, позволивших автору разделить все коренные народы

Восточной Азии и Нового Света на две большие группы: сундадонтов и синодонтов. Алеуты и эскимосы (вместе со всеми остальными коренными обитателями Америки) являются синодонтами.

торая позволяет сформулировать общую эволюционную гипотезу относительно биокультурного и лингвистического разнообразия народов Тихоокеанского бассейна. Эта идея возникла у меня 15 лет назад, когда я занимался изучением особенностей в строении зубов людей с Кадзуро Ханихарой в Токийском университете. Мне стало очевидно, что грандиозная «мозаика» народов, населяющих Тихоокеанский бассейн, фактически состоит из двух основных «фрагментов» -- сундадонтов и синодонтов. Среди сундадонтов -- коренные народы Юго-Восточной Азии, включая тайцев, жителей Андаманских остро-

вов и бирманцев, древних обитателей Кампучии и Лаоса, население Малайзии, Филиппин, Тайваня, аборигенов Калимантана и других островов Индонезии.

Синодонтия -- это слегка иной, азиатский тип строения зубов, характерный для коренных жителей Северной и Восточной Азии -- бурятов, китайцев, монголов, японцев, обитателей Восточной Сибири -- а также обеих Америк. Граница между распространением двух основных типов лежит, по-видимому, в Южном Китае. Мною были дополнительно проанализированы особенности строения многих тысяч зубов людей и получен-

ные данные статистически обработаны; результаты этой работы подтвердили справедливость сформулированной мною концепции, основанной на двух вышеуказанных понятиях.

Примерно из 30 наиболее известных вторичных особенностей строения зубов человека наибольшее статистическое значение для разграничения сундадонтии и синодонтии имеет частота выявления 8 особенностей. В верхней челюсти это лопатообразность резцов (как медиальных, так и латеральных), число корней первого премоляра, затек эмали на первом моляре и редукция третьего моляра; в нижней челюсти -- это коленчатая складка первого моляра, число корней первого моляра и число бугорков на втором моляре. (Наиболее важные из этих особенностей приведены на рисунках в данной статье.)

Группы сундадонтов и синодонтов, как правило, относятся к монголоидной расе. Среди этих групп существуют различия, имеющие большое значение для биоисторических интерпретаций. Эти различия проявляются как варьирующие частоты тех или иных особенностей в строении зубов, например лопатообразности верхних резцов, которая достигается за счет дополнительных краевых гребней на коронке, делающих зуб похожим на совковую лопату (см. рисунок на с. 65).

При сравнении групп выявляется неодинаковая распространенность этой особенности. У народов групп таи и малайцев-яванцев, живущих в Юго-Восточной Азии, лопатообразность резцов встречается гораздо реже, чем у жителей Северо-Восточной Азии или коренных жителей Америки. Эта особенность также мало распространена среди полинезийцев, представителей культуры дзёмон (древних обитателей Японии) и айнов (современных жителей некоторых областей Северной Японии, отличающихся по особенностям строения зубов от большинства современных японцев, для многих из которых характерна лопатообразность верхних резцов).

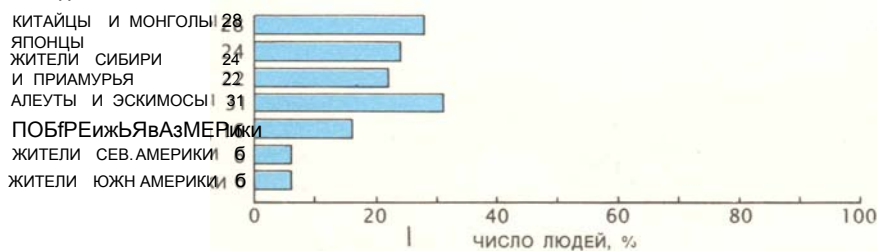
Таким образом, по распространенности названной особенности можно выделить две группы населения -- сундадонтов и синодонтов. Повторное проведение статистического анализа с использованием тех или иных популяционных выборок всегда приводит к одним и тем же результатам: полинезийцы, представители культуры дзёмон и айны, вместе с жителями Юго-Восточной Азии составляют группу сундадонтов, тогда как



СУНДАДОНТЫ

ТАИЛАНДЦЫ	10
МАЛАЙЦЫ-ЯВАНЦЫ	11
ПОЛИНЕЗИЙЦЫ	9
ДЗЁМОН	3
АЙНЫ	8

СИНОДОНТЫ



МОЛЯР С ТРЕМЯ КОРНЯМИ изображен слева. Как видно из диаграммы, такие моляры чаще встречаются у синодонтов, чем у сундадонтов.

остальные японцы вместе с жителями Северо-Восточной Азии и американскими индейцами неизменно попадают в группу синодонтов.

Выявленные одонтологические связи между группами дают возможность воссоздать удивительную эволюционную картину. Ее начало относится ко времени более 50 тыс. лет назад. «Исходным» регионом была Юго-Восточная Азия. Древнейшие человеческие существа современного типа, вероятно, пришли сюда из Африки, однако они могли развиваться независимо. Каково бы ни было их точное происхождение, они обладали таким же общим типом строения зубов, как и другие древнейшие представители человека современного вида. Самые древние из обнаруженных в Юго-Восточной Азии костных остатков человека, для которых характерен этот тип строения зубов, найдены в Табоне на Филиппинах (датированы временем 20 тыс. лет назад) и в пещере Ниа в Сараваке (40 тыс. лет назад). Обе находки более древние, чем любые костные остатки человека современного вида из Северо-Восточной Азии.

Из древнего общего типа строения зубов, представленного костными остатками из Табона и пещеры Ниа, развивалась сундадонтия. Она сохранила основные особенности строения коронки и корней при некотором «упрощении» коронки. Центральной частью региона, где развивалась сундадонтия, был Зондский шельф - в прошлом континентальная равнина, соединявшая островную и материковую части Юго-Восточной Азии. Во времена, когда происходило формирование сундадонтного типа, уровень моря был на 100 м ниже, чем теперь. Начиная с конца позднелайстоценового периода уровень моря постепенно поднимался и около 12 тыс. лет назад район Зондского шельфа был в основном затоплен, так что над поверхностью воды остались Индонезийский архипелаг, Японские острова, острова Юго-Восточной Азии и некоторые другие районы.

После поднятия уровня моря представители культуры дзёмон (сундадонты), оказались в изоляции на Японских островах, куда они прошли по суше, которая ныне скрыта под водой и образует восточно-азиатский континентальный шельф. Таким образом, можно было бы заключить, что сундадонтия сформировалась по меньшей мере 12 тыс. лет назад. На самом деле она, вероятно, значительно древнее. Тип зубов костных остатков из Минатогавы (остров Окинава) возрастом 17 тыс. лет, изученных К. Ханитарой и Хисаси Судзуки из



СУНДАДОНТЫ

ТАИЛАНДЦЫ	31
МАЛАЙЦЫ-ЯВАНЦЫ	21
ПОЛИНЕЗИЙЦЫ	32
ДЗЁМОН	14
АЙНЫ	35

СИНОДОНТЫ

КИТАЙЦЫ И МОНГОЛЫ	72
ЯПОНЦЫ	66
ЖИТЕЛИ СИБИРИ И ПРИАМУРЬЯ	62
АЛЕУТЫ И ЭСКИМОСЫ	69
ЖИТЕЛИ СЕВ. ЗАП. ПОБЕРЕЖЬЯ АМЕРИКИ	83
ЖИТЕЛИ СЕВ. АМЕРИКИ	92
ЖИТЕЛИ ЮЖ. АМЕРИКИ	92

0 20 40 60 80 100
ЧИСЛО ЛЮДЕЙ, %

ЛОПАТООБРАЗНОСТЬ - это особый признак внутренней поверхности верхних резцов, при котором дополнительные гребни придают коронке сходство с совковой лопатой. Как видно из диаграммы, лопатообразные резцы гораздо чаще встречаются среди синодонтов, чем среди сундадонтов.

Токийского университета, можно почти определенно охарактеризовать как сундадонтный; единственный повод для сомнений - это небольшой объем выборки. Современные айны очень напоминают представителей культуры дзёмон и, учитывая это, можно предположить, что имела место следующая генеалогическая последовательность: древнее население Юго-Восточной Азии - люди Минатогавы - дзёмон - современные айны.

○ **ПРОИСХОЖДЕНИИ** сундадонтии можно узнать несколько больше, если обратиться к коренному на-

селению Австралии. Предки австралийских аборигенов, вероятно, находились (хотя бы и кратковременно) в Юго-Восточной Азии, прежде чем распространиться через Индонезию в Австралию. Самые древние обитатели Австралии прибыли туда на плотах около 30 тыс. лет назад. Они характеризовались не сундадонтным, а более древним и общим типом строения зубов. Поэтому вполне возможно, что сундадонтия сформировалась между 30 и 17 тыс. лет назад (она уже наблюдается в костных остатках людей из Минатогавы, возраст которых составляет 17 тыс. лет).

Как же распространялся и изменялся сундадонтный тип строения зубов?

В то время как некоторые его носители (например, представители культуры дзёмон) мигрировали на север вдоль побережья, другие двигались в том же направлении, но внутри континента. Эта «внутренняя» миграция привела к формированию народов Северо-Восточной Азии, среди которых и развился синодонтный тип строения зубов. Синодонтия характеризуется специализацией и усилением некоторых особенностей корней и коронок зубов. Эти изменения могли быть следствием эволюционных процессов, связанных с адаптацией к более холодным и тяжелым условиям в северных районах. Более вероятно, однако, что это были просто случайные генетические изменения, имевшие место в небольших изолированных группах охотников и рыбаков позднего плейстоцена в Северо-Восточной Азии.

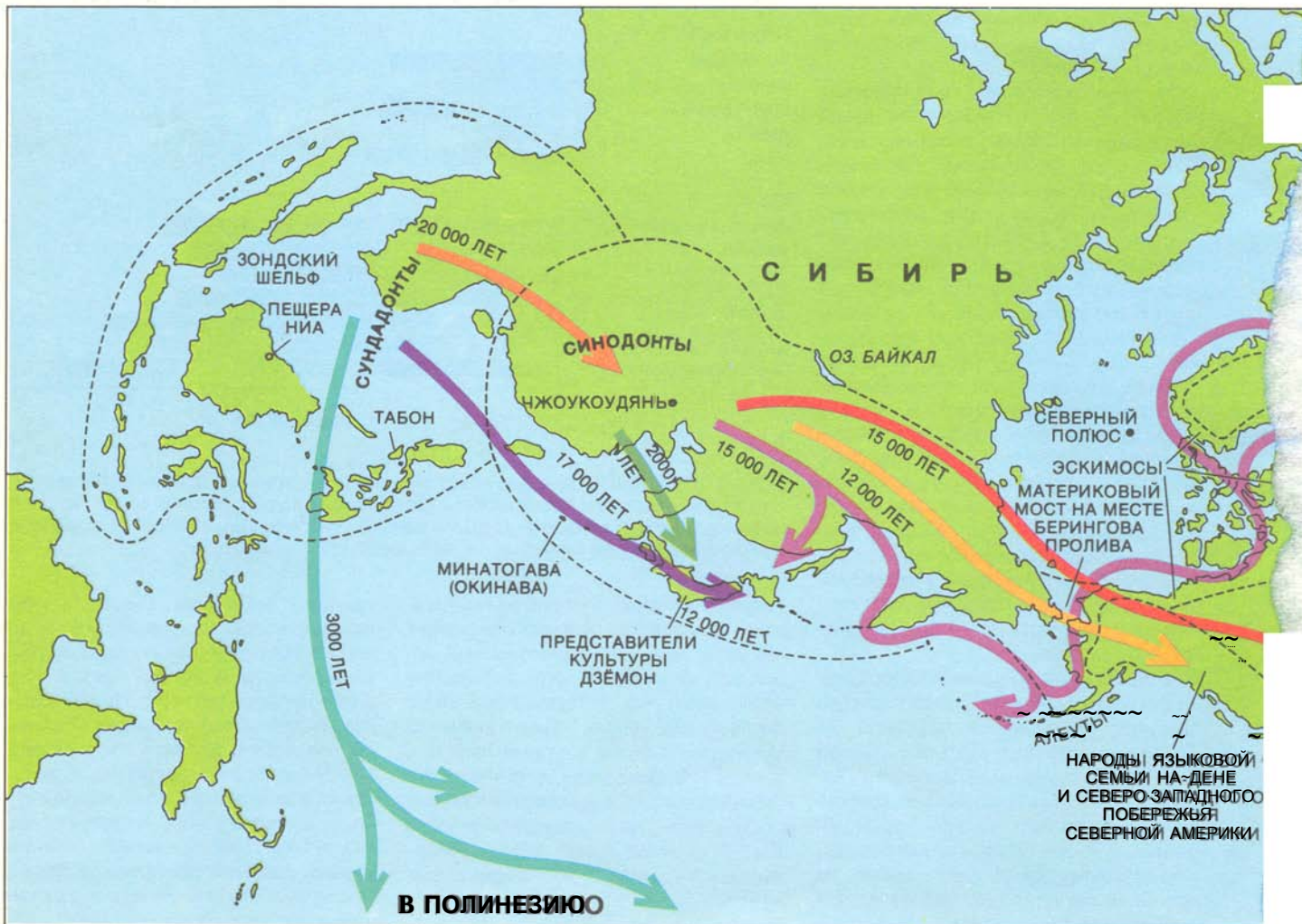
Носители зубов сундадонтного ти-

па около 20 тыс. лет назад распространились на территории Китая и Монголии; именно там, как я предполагаю, происходило быстрое развитие синодонтии. Новый тип строения зубов отчетливо проявляется в черепах людей из верхней пещеры Чжоукоудянь - стоянки первобытного человека, возраст которой превышает 11 тыс. лет. Синодонтия, должно быть, сформировалась несколько раньше этого времени.

Около 2000 лет назад носители синодонтного типа строения зубов переселились из материковой Азии в Японию. Первоначальная миграция людей, которым в будущем предстояло стать современными японцами, происходила примерно в 200 г. до н. э., о чем можно судить по возникновению поливного возделывания риса, зачаткам металлургии и появлению новых типов поселений, характерных для новой культуры, получившей на-

звание яёй. Зубы носителей этой культуры весьма напоминают таковые современных японцев, но сильно отличаются от зубов представителей культуры дзёмон (сундадонтов, мигрировавших в Японию вдоль побережья на 10 тысячелетий раньше) или айнов, их возможных потомков. Недавние лингвистические исследования Пола К. Бенедикта из Аризонского университета свидетельствуют, что японский язык происходит из Южного Китая. Эти выводы подтверждаются моими исследованиями, показывающими, что зубы японцев более всего сходны с таковыми жителей Юго-Восточного Китая из Гонконга или прилегающих к нему районов.

Спустя много времени после переселения сундадонтов, сопровождавшегося появлением синодонтии, произошла еще одна миграция носителей сундадонтного типа. Состоявшаяся всего за несколько столетий до начала



СУНДАДОНТИЯ И СИНОДОНТИЯ возникли в Восточной Азии. Люди, наследующие эти признаки, позднее заселили Полинезию и обе Америки. Сундадонтия появилась более 20 тыс. лет назад; уровень моря тогда был намного ниже и

на месте теперешней Индонезии находился Зондский шельф. Примерно за 20 тыс. лет до настоящего времени сундадонты двинулись на север. Синодонтия сформировалась в северном Китае и Сибири. Более 12 тыс. лет назад

христианской эры, она привела к расселению семей и родственных кланов земледельцев-мореплавателей по большей части островной территории Тихого океана. Потомки этих путешественников известны нам сегодня как полинезийцы; они добрались до таких отдаленных мест, как остров Пасхи на востоке, Новая Зеландия на юге, Гавайские острова на севере. Все человеческие останки, обнаруживаемые по сегодняшний день на этих островах, имеют зубы сундадонтного типа, сходные с зубами древних и современных жителей Юго-Восточной Азии.

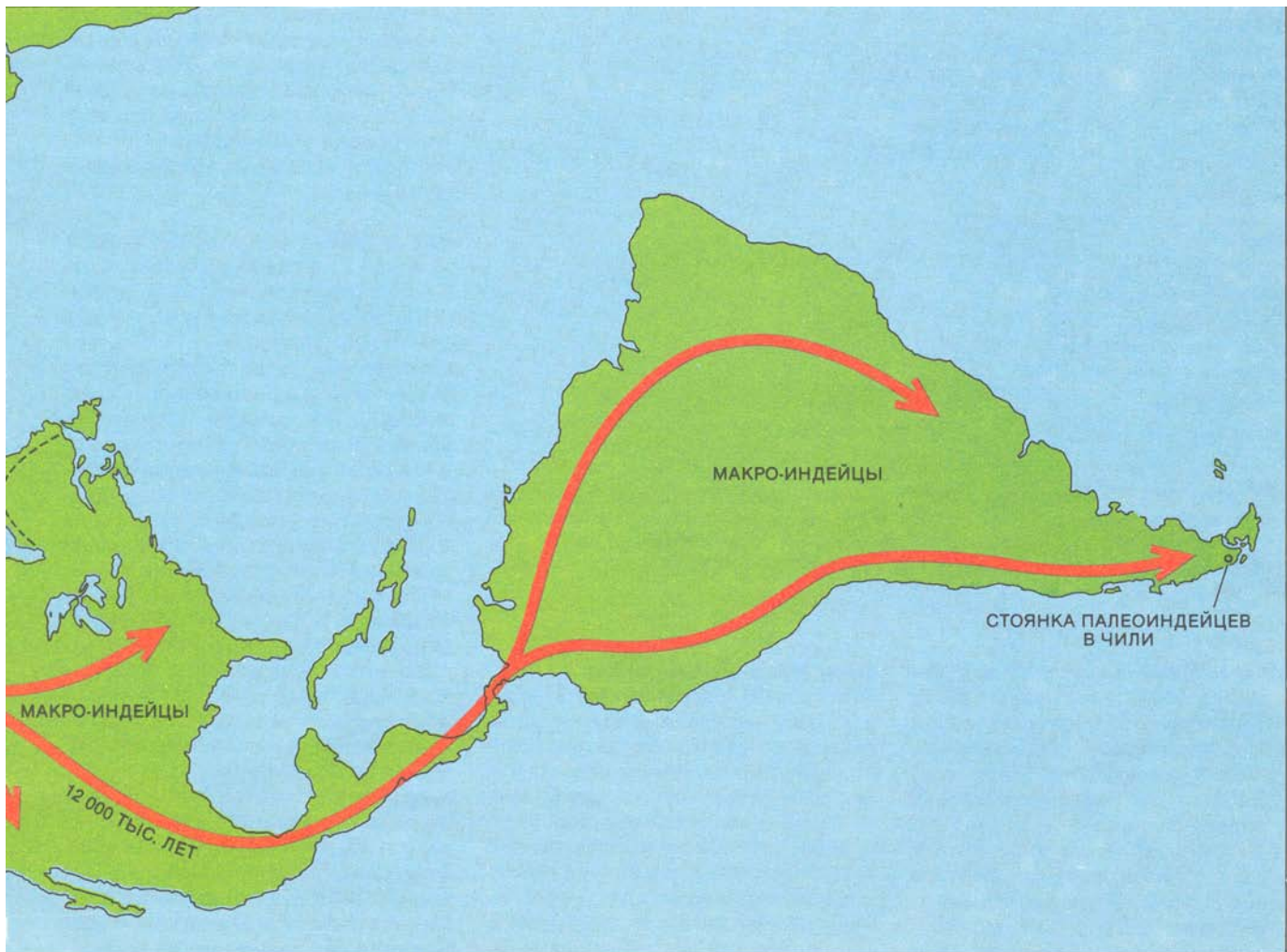
То, что полинезийцы пришли из Юго-Восточной Азии, подтверждается и другими данными. Обширные лингвистические исследования свидетельствуют от том, что полинезийские языки более схожи с языками народов Юго-Восточной Азии, чем с языками любой другой языковой

группы (американских индейцев, обитателей Северо-Восточной Азии, Австралии или Меланезии). Кроме того, народы Юго-Восточной Азии и полинезийцев объединяет существенное сходство элементов культуры, таких как гончарные изделия, типы лодок, форма парусов, а также одомашненные виды растений и животных. На Микронезийской археологической конференции, состоявшейся в Гуаме в 1987 г., эти выводы получили дальнейшее подтверждение в исследованиях формы черепа и размеров зубов, проведенных Майклом Петрусевски из Гавайского университета в Маноа, Уильямом В. Хоуэллсом из Гарвардского университета и К. Лорингом Брейсом из Мичиганского университета.

ИТАК после своего возникновения около 20 тыс. лет назад сундадонтный тип зубов быстро проникает

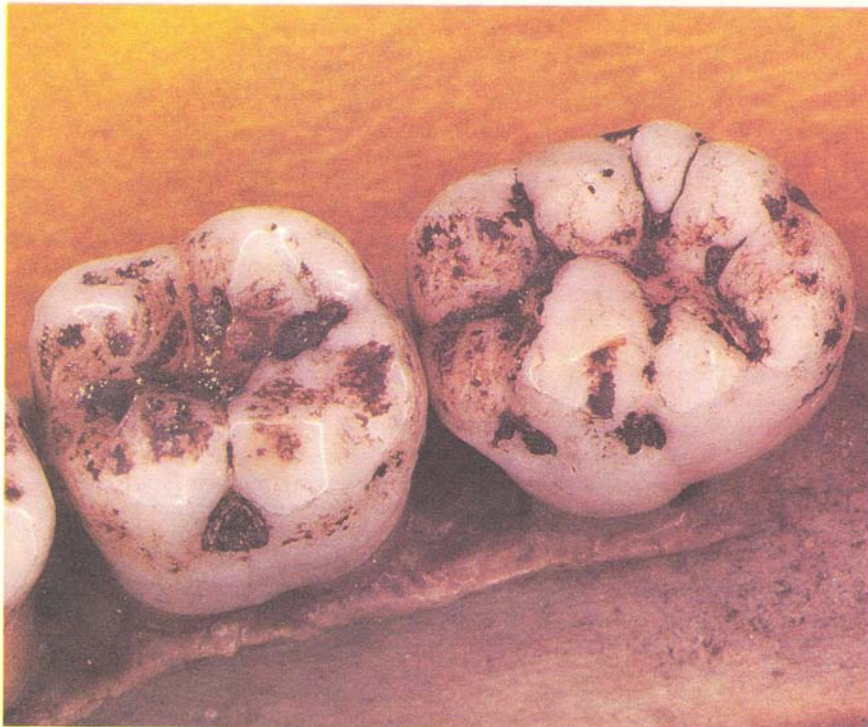
в Японию, затем в Северо-Восточную Азию, где эволюционирует в синодонтный, и гораздо позднее распространяется на самые отдаленные острова Тихого океана. Что можно сказать о более поздней истории другой основной группы - синодонтов? Они также были склонны к миграциям. История заселения Северной и Южной Америки, основанная на данных ОДОНТОЛОГИИ, отчетливо свидетельствует, что предки всех ныне живущих коренных американцев были выходцами из Северо-Восточной Азии.

Конечно, сам вывод о том, что первые обитатели Нового Света были переселенцами из Северо-Восточной Азии, не нов, однако одонтология сумела найти свежие детали в рамках общей схемы. Согласно убедительным археологическим свидетельствам, семь сибирских синодонтов пересекли материковый мост, находившийся на месте нынешнего Берингова



синодонты пересекли материковый мост, находившийся на месте нынешнего Берингова пролива, и достигли Америки. Судя по одонтологическим и лингвистическим данным, существовало три миграционных волны: предки ин-

дейцев Аляски и Северо-Западного побережья Северной Америки, относящихся к языковой семье на-дене, предки алеутов и эскимосов и палеоиндейцы, которые стали предками всех остальных коренных американцев.



СУНДАДОНТЫ

ТАИЛАНДЦЫ	31
МАЛАЙЦЫ-ЯВАНЦЫ	39
ПОЛИНЕЗИЙЦЫ	35
ДЗЕМОН	29
АЙНЫ	36

СИНОДОНТЫ

КИТАЙЦЫ И МОНГОЛЫ	21
ЯПОНЦЫ	14
ЖИТЕЛИ СИБИРИ И ПРИАМУРЬЯ	6
АЛЕУТЫ И ЭСКИМОСЫ	5
ЖИТЕЛИ СЕВ.ЗАП. ПОБЕРЕЖЬЯ АМЕРИКИ	4
ЖИТЕЛИ СЕВ. АМЕРИКИ	8
ЖИТЕЛИ ЮЖН. АМЕРИКИ	9

число людей, %

ЧИСЛО БУГОРКОВ - еще одна особенность, отличающая сундадонтов от синодонтов. Моляры обычно имеют по пять бугорков - выступающих участков на жевательной поверхности. Моляр, изображенный слева, имеет только четыре бугорка. Как видно из диаграммы, четырехбугорковые моляры чаще встречаются среди сундадонтов, чем среди синодонтов.

пролива, и попали на Аляску несколько раньше 12 тыс. лет назад. Спустя приблизительно 50 поколений - около 11 тыс. лет назад - они оказались на южной оконечности Чили, т. е. скорость их движения составляла в среднем не более 10 миль в год.

То, что мигрантная синодонтная популяция достигла южных районов Чили к 11 тыс. лет до нашего времени, убедительно показал в своей работе ныне покойный Джуниус Б. Берд из Американского музея естественной истории. Он наш-ел зубы и кости палеоиндейцев, которые были кремированы, вместе с костями вымерших животных, хорошо атрибутирован-

ными каменными орудиями и высохшей травой, сохранившейся в пещерах. Этот материал прекрасно датировался по радиоуглеродному методу. Зубы этих чилийских палеоиндейцев, несомненно, относились к синодонтному типу, включая и один из основных признаков синодонтии - трехкорневой нижний первый моляр.

Одونتология может дать ответ, по меньшей мере, на два вопроса относительно великой миграции синодонтов, которые в течение долгого времени оставались нерешенными. Первый из них - где именно в пределах Северо-Восточной Азии следует искать истоки миграции? Поскольку

мигранты были бесспорно синодонтами, для установления региона, из которого они вышли, необходимо очертить границы распространения синодонтии. Как показали мои недавние исследования, западная граница синодонтии проходит через озеро Байкал, а южная лежит в Северном Китае. Таким образом, это и есть та область, из которой начали свой путь мигранты.

Второй вопрос состоит в следующем: сколько должно было существовать миграционных волн, чтобы можно было объяснить значительное разнообразие групп коренных жителей Америки? По этому поводу был высказан целый спектр гипотез, на одном конце которого представлены независимые суждения (на основе экологических данных) Уильяма С. Лафлина из Университета шт. Коннектикут и Фредерика Г. Уэста из Музея Пибоди в Сейлеме (шт. Массачусетс), использующего археологические свидетельства, имела место единственная миграционная волна. На противоположном конце спектра гипотеза ныне покойного Чарльза Ф. Вёгелина из Университета шт. Индиана, который на основании лингвистического анализа пришел к выводу о существовании сотен отдельных миграционных групп.

Я И ДВОЕ МОИХ КОЛЛЕГ - Джо-зеф Г. Гринберг, лингвист из Станфордского университета, и Стивен Л. Зегура, антрополог из Университета шт. Аризона, - считаем, что миграционных волн было три, и это лучше всего удовлетворяет нашим данным. По нашему убеждению, трехмиграционная модель удачнее всего объясняет наблюдаемые различия в языке, генетических признаках, особенностях строения зубов, а также хорошо согласуется с рядом важных археологических соображений.

Три волны были, вероятно, близки во времени, но сильно различались по тому влиянию, которое они оказали, как в отношении размеров дочерних популяций, так и географической протяженности их ареала. Одна группа, по-видимому, ВКлю-чалапалеоиндейцев, ставших предками всем южноамериканским и большинству североамериканских индейцев. Мы полагаем, что общий язык этих индейцев, занимавшихся охотой на наземных животных, развился в большинстве известных ныне языков северо- и южноамериканских индейцев. О том же свидетельствуют и особенности строения зубов. Все эти группы, помимо прочего, отличаются относительно высокой распространенностью лопатообразных резцов, а трехкорневые

нижние первые моляры встречаются среди них относительно редко.

Вторая волна мигрантов достигла Нового Света почти одновременно с первой, но по южному краю материкового моста. Это были предки современных алеутов и эскимосов, имеющие свои языковые и одонтологические особенности. Распространенность лопатообразных резцов среди них довольно низка, но очень высок процент людей с трехкорневым нижним первым моляром.

Третья волна мигрантов пересекла материковый мост, вероятно, несколько позже, чем две первые. Она включала предков навахо и апачей, а также индейских племен, населявших внутреннюю часть Аляски и некоторые районы Британской Колумбии. Все эти группы говорят на языках, относящихся к языковой семье на-дене; но по одонтологическим признакам они занимают промежуточное положение между палеоиндейскими и алеутоэскимосскими популяциями. Хотя соответствие между данными одонтологии и лингвистики в случае групп языковой семьи на-дене нельзя считать идеальным, оно все же достаточно велико, чтобы наряду с многочисленными материалами по генетике населения Нового Света подтвердить гипотезу о существовании трех отдельных волн исходных миграций.

В начале этой статьи говорилось о соотношениях между огромным разнообразием народов, языков и культур, распространенных в Тихоокеанском бассейне. На основании данных об особенностях строения зубов людей была предложена концепция, сводившая все это разнообразие к двучленной схеме. 20 тыс. лет назад сундадонты Юго-Восточной Азии заселили территорию Китая и Монголии, и там среди сундадонтных групп северных окраин сформировался синодонтный тип. Отсюда синодонты перекочевывают в сибирские арктические районы и в конце концов через материковый мост - в Северную и Южную Америку. Много позже произошло еще одно переселение сундадонтов - через Полинезию.

Эта одонтологическая реконструкция объясняет, как я думаю, основные пути заселения бассейна и прибрежных областей Тихого океана. И все же ее ни в коей мере нельзя считать завершенной. Необходимо располагать гораздо большей информацией о строении зубов австралийских аборигенов, меланезийцев, микронезийцев и самых древних жителей Индонезии. Хотя предки всех этих народов, вероятно, были выходцами из Юго-Восточной Азии, степень их родственных связей с сундадонтами остается неизвестной.

Кроме того, было бы крайне желательно определить место предкового сундадонтного типа в рамках данных по всему земному шару. Систематический одонтологический анализ популяционных потоков как научная дисциплина все еще находится в состоянии своего младенчества. Оче-

видно, в будущем предстоит проделать большую работу, чтобы понять, какова связь между сундадонтами и народами, жившими западнее их: в Южной Азии, Центральной Азии, Юго-Западной Азии, ЕВРОПЕ и Африке. Пока что многое здесь остается неясным.

Наука и общество

Генная терапия реальность

КЛЕТКИ, модифицированные при помощи методов генетической инженерии, будут введены человеку. В конце прошлого года проект эксперимента Р. Блэза из Национального института рака и У. Андерсона из Национального института сердца, легких и крови прошел все обсуждения и в нынешнем году должен быть осуществлен. В данном случае будет использован экспериментальный метод терапии плохо поддающегося лечению рака, предложенный Розенбергом с коллегами и усовершенствованный благодаря методу переноса генов, разработанному Андерсоном. Проверка на практике приблизит тот день, когда с серьезными наследственными заболеваниями можно будет справляться путем введения в организм функционального гена на место дефектного или утраченного.

Метод лечения рака, который предполагается проверить, является вариантом подхода, при помощи которого Розенберг ранее показал, что возможна регрессия раковых опухолей, если больному ввести его собственные клетки иммунной системы, предварительно культивированные и обработанные активирующим их веществом - интерлейкином-2. Клетки, которые теперь использует Розенберг, - лимфоциты, проникающие в опухоли (эту группу лимфоцитов обозначают TIL - от англ. tumor-infiltrating lymphocytes). Эти клетки выделяют из опухоли больного, культивируют в течение нескольких недель и вводят пациенту вместе с интерлейкином-2 и противораковым препаратом циклофосфамидом. В одной из своих последних статей Розенберг сообщает, что в результате такого лечения у 9 из 15 больных с далеко зашедшей метастазирующей меланомой произошла значительная регрессия опухолей, а у одного пациента удалось достичь полной ремиссии~

Розенберг рассчитывает, что можно добиться большей эффективности метода, если знать точно, какие типы

TIL лучше всего борются с опухолью, когда их в большом количестве вводят в организм. Тогда можно было бы использовать не смешанную популяцию лимфоцитов, а наиболее подходящие из них~В предстоящем эксперименте эффективные клетки будут идентифицировать путем маркирования лимфоцитов перед их введением пациенту; маркером послужит ген устойчивости к одному из антибиотиков. После введения маркированных лимфоцитов у больного возьмут образцы различных клеток и культивируют их в присутствии данного антибиотика. Выживут только те клетки, которые являются потомками маркированных (и потому несущие ген устойчивости к антибиотику). Изучив эти лимфоциты, можно будет выяснить, какие типы TIL наиболее эффективны.

Эксперимент сопряжен с некоторым риском. Обсуждалось, в частности, что хотя гибридный ретровирус, играющий роль вектора для переноса маркерного гена в лимфоциты, модифицирован так, что не способен воспроизводиться, он может в результате рекомбинации восстановить эту способность и, возможно, обрести некоторые свойства вирусов, присутствующих в организме человека, а среди этих вирусов есть, например, такой, который вызывает лейкоз у мышей.

Летом 1988 г. подкомитет консультативного комитета по рекомбинантным ДНК Национальных институтов здоровья настаивал на том, чтобы не давать одобрения на эксперимент на людях, до тех пор пока Андерсон не представит более подробных данных. Позже тем не менее одобрение было дано на основании устного представления (с условием, что число испытуемых будет не более 10 и их ожидаемое время жизни не менее 90 дней). При таких противоречивых действиях директор Национальных институтов здоровья Дж. Вингаарден отказался санкционировать эксперимент и потребовал от комитета пересмотра всех данных в письменном виде. Подкомитет дал свое одобрение в декабре 1988 г.

История переписи населения в США и обработки ее данных

К 1880 г. возросшая численность населения и количество фиксируемых при переписи данных практически парализовали деятельность Управления переписи населения США. В 1890 г. на помощь пришло изобретение Германа Холлерита механический перфокарточный табулятор

КИТ С. РИД-ГРИН

АГЕНТ по переписи населения, изображенный на карикатуре, появившейся в 1860 г. в еженедельнике «Saturday Evening», говорил: «Мне только чево нужно узнать = сколько у вас тут глухих, немых, слепых, придурковатых и сумасшедших, а еще сколько уголовников в семье, сколько кажному из вас лет, особенно бабулке и молодым барышням, и сколько долларов у этого старого господина!»

Вопросы, задававшиеся во времена первых переписей населения, наверное, покажутся очень упрощенными, но так как на них отвечал каждый американец, в результате выростала целая гора информации, которую нужно было обработать и проанализировать. С каждым десятилетием обработка данных переписи все больше усложнялась, потому что, с одной стороны, возрастала численность населения, а с другой - правительство хотело располагать все более разнообразной информацией о своих гражданах. В конце концов статистическая обработка данных, собираемых во время переписи, превратилась в беспрецедентную по сложности проблему, что в свою очередь породило настоящую революцию в методах обработки данных и статистического анализа.

Чтобы читатели лучше представили себе суть возникшей проблемы, нужно сначала описать методы сбора данных и типы вопросов, которые задавались при проведении переписей населения на протяжении ста лет с начала их истории. Первые агенты по переписи населения в США, которые носили звание помощника государственного инспектора, начали обходить свои участки в августе 1790 г. Они должны были собрать сведения о каждой американской семье в соответствии с положением конституции, изложенным в статье 1, параграфе 2: «Количество выборных представите-

лей, а также величина прямых налогов будут определяться по отдельным штатам ... в соответствии с численностью их населения Непосредственный подсчет численности населения будет выполнен в течение трех лет после первого заседания конгресса Соединенных Штатов и впоследствии будет проводиться через каждые десять лет в порядке, установленном законом». Переходя от дома к дому, помощники инспектора задавали одни и те же вопросы: имя главы семьи, сколько в семье насчитывается свободных белых мужчин старше 16 лет, свободных белых мужчин моложе 16 лет, свободных белых женщин, рабов и прочих лиц, проживающих в данной семье.

Ответы записывались на листочках, называемых опросными листами, на которых по горизонтали перечислялись представители семейства, а по вертикали указывалось количество человек в каждой из четырех категорий. Когда опросный лист был заполнен, помощник государственного инспектора суммировал числа по каждой колодке, проставлял обобщенные данные в специальной форме и посылал ее государственному инспектору по переписи населения, который, в свою очередь, подытоживал данные по своему округу и направлял информацию в Вашингтон в Управление переписи населения. Сотрудники Управления сводили данные в таблицы (табулировали) и подсчитывали статистические показатели на основании данных, потоком поступающих со всех концов страны. С каждым десятилетием сотрудникам Управления приходилось иметь дело со все большей численностью населения и все более сложными статистическими показателями. В 1790 г. население США составляло 3 929 214 человек; к 1840 г. оно выросло до 17 млн. человек.

По мере того как росла потреб-

ность в информации, претерпевали соответствующие изменения методы, применявшиеся при переписи. К 1850 г. в горизонтальной строке указывались уже не просто члены семейства, а фамилия и имя отдельного человека, а по вертикали проставлялись данные, относящиеся к различным показателям, характеризующим данное лицо. К 1870 г. население страны достигло почти 40 млн. человек, и агенты по переписи должны были собирать следующую информацию о каждом человеке: имя, фамилия, возраст, пол, раса, род занятий, стоимость недвижимого имущества, стоимость личного имущества, место рождения, были ли родители иностранного происхождения, месяц рождения, если родившемуся не более года, месяц бракосочетания, если брак зарегистрирован не более года назад, посещает ли опрашиваемый школу, грамотен ли, а также является ли он (она) глухим, немым, слепым, умалишенным или умственно недоразвитым. Агенты по переписи должны были также подсчитать число граждан, имеющих право голоса (мужчины, достигшие возраста 21 год), и граждан, лишенных права голоса по иным причинам, чем их участие в мятеже. В дополнительных описях содержались сведения об умерших не более года назад, а также нищих и заключенных.

Едва ли стоит удивляться, что по мере усложнения процедуры переписи возросло и количество ошибок, совершаемых как при сборе, так и при последующем сведении данных в таблицы. На самом деле положение стало настолько серьезным, что Американская ассоциация статистики обратилась к конгрессу с требованием о пересмотре формы итогового документа о результатах переписи населения 1840 г. и его издании в исправленном виде на том основании, что в нем содержится слишком много противоре-

чий и ошибочных выводов, чтобы эти результаты можно было считать действительными.

АТЕМ ВРЕМЕНЕМ население страны продолжало расти и становилось все более неоднородным. К 1880 г. Управление по переписи населения должно было переработать такое огромное количество данных, что сведения по некоторым показателям, полученным в результате переписи 1880 г., были готовы лишь к 1888 г., т. е. спустя 8 лет после сбора данных. Было ясно, что необходимо принять какие-то меры, в противном случае пришлось бы вообще отказаться от дальнейших переписей.

Одна из первых попыток повысить эффективность табуляции данных была предпринята в 1872 г. Чарльзом У. Сетоном, главным чиновником Управления по переписи населения. Он изобрел простой механизм, который стали называть устройством Се-

тона. Оно представляло собой деревянный ящик с двумя рядами валиков: восемь в верхнем ряду и семь в нижнем (см. рисунок на с. 72). Пропуская через устройство непрерывную бумажную ленту, намотанную на катушку, оператор мог выставить наверху восемь линий (в каждой из которых содержалась одна и та же информация, например возраст главы семейства) и это позволяло ему обрабатывать нужные данные, не тратя время на их поиск на огромном бумажном полотне. Однако устройство Сетона помогало лишь на одной стадии процесса табуляции: когда все данные были переписаны и расклассифицированы, их нужно было просуммировать и перенести в сводные листы, и это делалось вручную.

К счастью, 1879 г. стал поворотным в организации труда в Управлении переписи населения. Именно тогда на работу в Управление поступил Герман Холлерит (позднее он стал

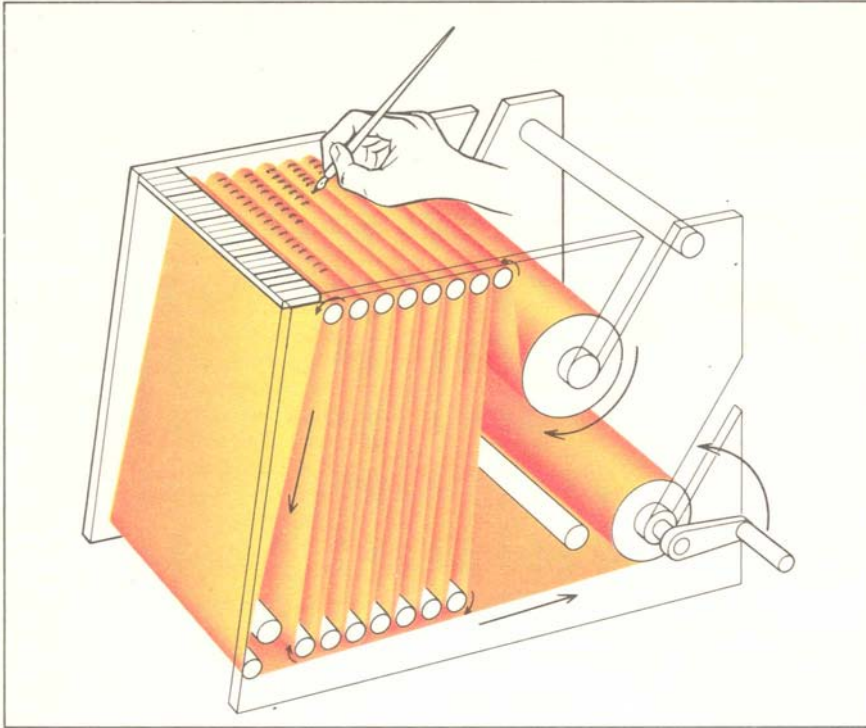
одним из основателей корпорации International Business Machines, или IBM). Нанятый для подсчета объемов потребления пара и воды заводами по производству чугуна и стали, Холлерит, которому тогда было всего 20 лет и он только что окончил Горную школу при Колумбийском университете, быстро постиг все проблемы, связанные с обработкой данных.

Первое, что сделал Холлерит в усовершенствовании ПРОцедуры обработки данных в Управлении, - это изобрел электрическую табуляционную машину, которая, хотя и была запатентована, но никогда широко не применялась. Так же как и в устройстве Сетона, в новой машине использовалась катушка с бумажной лентой, но данные на ней представлялись присутствием или отсутствием отверстий на бумаге. Отверстие перфорировалось в определенном месте в зависимости, например, от того, относились ли эти сведения к мужчине или

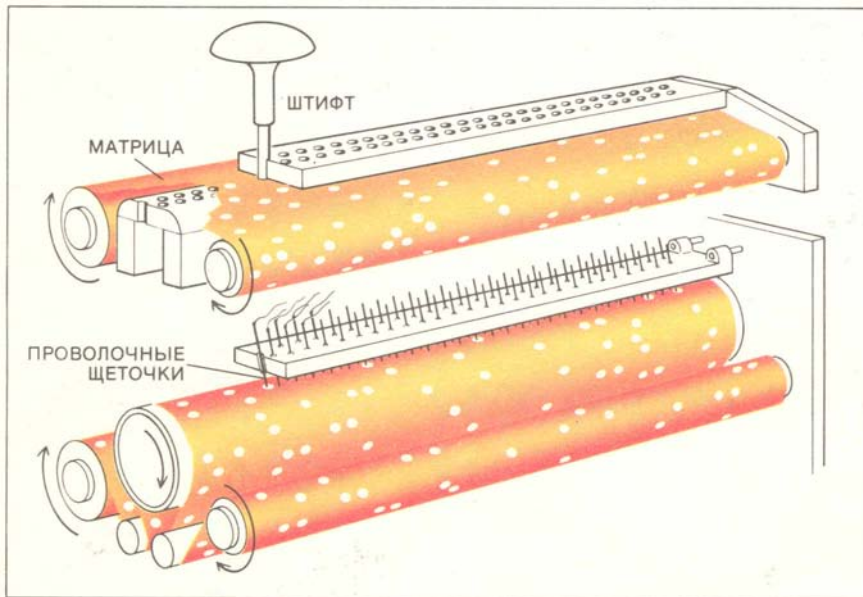


ЦИФЕРБЛАТНЫЕ СЧЕТЧИКИ были составной частью перфокарточной табуляционной машины Холлерита. Каждый циферблат (всего их 40) был связан с определенной позицией на перфокарте. Когда через отверстие в этой пози-

ции замыкался электрический контакт, стрелка счетчика сдвигалась на одно деление. (Большая стрелка отсчитывала сотни, маленькая - десятки и единицы.) В конце рабочего дня операторы снимали показания каждого счетчика.



УСТРОЙСТВО СЕТОН было первой, хотя и безуспешной попыткой ускорить табуляцию данных. Ролон бумаги протягивался через систему валиков. На эту полосу переносились данные с опросных листов, так чтобы данные по каждой категории занимали строго определенные позиции для удобства их поиска. Если, например, нужно было узнать, сколько детей посещало школу в год переписи, ленту пропускали через устройство, так чтобы линии, где отмечался уровень образования, оказались сверху.

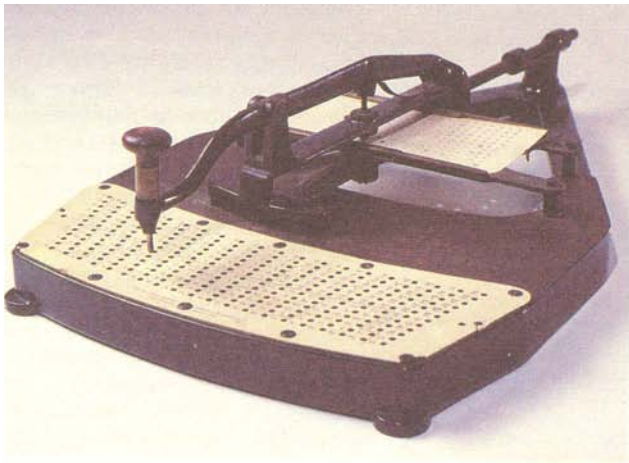


ПЕРВОЕ ИЗОБРЕТЕНИЕ ХОЛЛЕРИТА, хотя и было запатентовано, но применения не нашло: Согласно формуле патента, в устройство заправлялся ась бумажная лента, проходившая под металлическим шаблоном (вверху) с отверстиями, каждое из которых соответствовало одному показателю. Оператор, согласно данным опросного листа, проделывал отверстия, проворачивал бумагу, делал новые отверстия согласно данным следующего опросного листа и т. д. Потом ролон пропускали через счетчик (внизу), где он проходил между барабаном и рядом проволочных щеточек. В месте отверстия щеточка замыкала электрический контакт с барабаном и соответствующий счетчик прибавлял единицу.

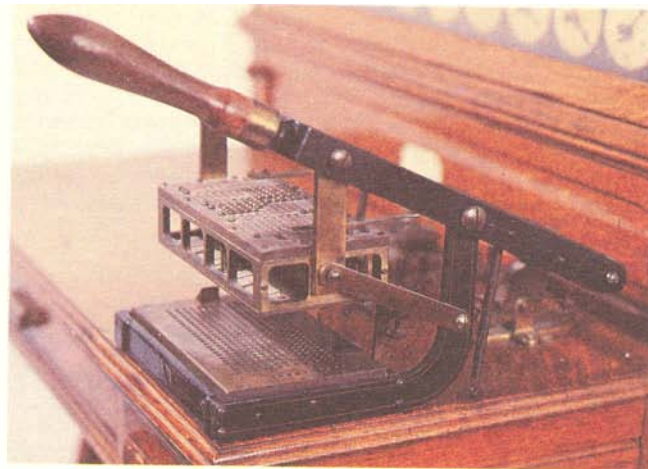
женщине, родился ли человек в США или в другой стране и т. д. После того как информация об одном человеке была полностью представлена набором отверстий, отперфорированных в соответствующих позициях, бумажная полоса продвигалась вперед и наносились данные, касающиеся следующего человека, и так далее, пока вся катушка не была обработана. Затем бумага пропусклась между металлическим барабаном и рядом проволочных щеток. Всякий раз, когда под щеткой проходило отверстие, происходил электрический контакт с барабаном. При этом срабатывал электромагнит и счетчик прибавлял одну единицу. Хотя подобная машина, очевидно, была значительно более эффективным средством, чем все другие в то время, Холлерит сразу увидел серьезный недостаток в своей конструкции: после того как данные были затабулированы, найти их снова было почти невозможно. Чтобы просмотреть данные по количеству людей той или иной категории (например, число женщин, родившихся в Нью-Йорке), необходимо было перематывать горы бумажных рулонов.

Несмотря на то что первая попытка Холлерита построить электрическую табуляционную машину была не совсем удачной, он был на правильном пути. Ему суждено было создать устройство, сделавшее его знаменитым, - перфокарточную табуляционную машину.

Исторически идея создания такой машины зародилась во время одной из бесед между Холлеритом и Дж. Биллингсом, врачом, занимавшимся медицинской статистикой в Управлении переписи населения. По воспоминаниям нескольких сотрудников Управления, работавших над данными переписи 1880 г., Холлерит и Биллингс вместе пришли к выводу, что результаты переписи 1890 г. просто невозможно будет обработать вручную. Так, один из бывших сотрудников управления У. Уиллоккс в своих воспоминаниях, опубликованных в 1914 г., описал случайно услышанный им очень важный разговор между Холлеритом и Биллингсом, состоявшимся в Управлении, когда обрабатывались результаты десятой переписи населения (1880 г.). Биллингс, прохаживаясь с Холлеритом по конторе, где сотни клерков старательно трудились, перенося данные с опросных листов в сводные формы, и наблюдая, как изнурительный поиск нужных данных занимал у них уйму времени, сказал Холлериту: «Для этой работы нужно придумать какой-нибудь механизм, что-то наподобие станка Жакара, в котором отверстия



ПЕРФОРАТОР-ПАНТОГРАФ Ускорил перенос данных с опросных листов на перфокарты (*слева*). Когда штифт вставлялся в отверстие на матрице (*спереди*), на другой стороне устройства в перфокарте пробивалось отверстие. На каждую карту заполнялись данные об одном человеке, а каждое отверстие соответствовало одному показателю. Подсчет данных осуществлялся по отверстиям на карте с помощью специального электрического устройства, так



называемого пресса (*справа*). Оператор клал перфокарту на перфорированное основание и прижимал ее сверху крышкой с набором выступающих штырьков, с помощью ручного рычага. В местах, где были отверстия, штырьки замыкали электрический контакт с ртутью в углублениях под картой. При этом замыкалась электрическая цепь, и стрелка счетчика, соответствующего позиции отверстия, продвигалась на одно деление.

в перфокарте управляют рисунком на ткани».

В письме от 7 августа 1919 г. Холлерит и сам признает влияние, оказанное на него Биллингсом: «Как-то раз воскресным вечером он [доктор Биллингс] сказал мне, что нужно придумать машину для ... табуляции сведений о населении и прочих статистических данных. Мы стали обсуждать этот вопрос, и я вспоминаю ... ему пришла мысль воспользоваться картами ... с данными ... обозначенными отверстиями, отперфорированными по краям карты».

Принято считать, однако, что честь изобретения перфокарточного табулятора принадлежит Холлериту. Конечно, принципы, лежавшие в основе этой системы и его первого табулятора, были сходными. Как и его предыдущее устройство, новая машина Холлерита была цифровым устройством, в том смысле, что информация представлял ась наличием или отсутствием отверстий, но бумажный рулон был заменен перфокартами. На каждую карту заносилась информация об одном человеке, а каждое отверстие на карте имело определенное значение, соответствующее роду занятий, образованию, состоянию здоровья или какому-нибудь другому показателю. Например, при переписи населения 1890 г., если опрашиваемое лицо было грамотным, на перфокарте пробивалось отверстие в седьмой колонке девятой строки, считая сверху.

Но каким бы ни было происхождение идеи, мало кто станет оспаривать

ту важную роль, которую переход на перфокарты сыграл в развитии методов статистического анализа. Благодаря им стало возможным, обработав информацию по одним показателям, задать новые сочетания и еще раз обработать перфокарты. Появились перфокарты с отверстиями по краям; с помощью специального перфоратора около каждого такого отверстия можно было сделать прорез до края перфокарты, и когда сквозь отверстие в определенной позиции оператор продевал спицу - скажем, в позиции, соответствующей возрастной группе от 15 до 20 лет, - нужное подмножество карт сразу отделялось от остальной колоды. Затем оператор мог продеть спицу сквозь отверстие в другой позиции, чтобы определить, скажем, сколько представителей этой группы получило шестиклассное образование.

ТАБУЛЯЦИЯ данных осуществлялась по аналогичному принципу. После того как на карте были пробиты отверстия, она помещалась в электрический счетчик, который назывался прессом. На дне пресса находилась жесткая резиновая пластинка с небольшими углублениями, наполненными ртутью, - по одному углублению на каждое возможное отверстие в перфокарте, а нижняя поверхность крышки пресса была покрыта выступающими штырьками, которые крепились к крышке на пружинах. Когда крышка опускалась на перфокарту, штырьки, попадающие на неперфорированные участки карты,

прижимались вверх пружинками, а штырьки, прошедшие через отверстия, касались ртути и замыкали электрическую цепь счетчика с двумя стрелками - одну для подсчета единиц и десятков, другую для сотен; при каждом контакте первая стрелка счетчика продвигалась на одно деление вперед. Когда обработка карты завершалась, звенел звоночек. Если он не звенел, значит, с картой что-то было не в порядке. В конце дня показания счетчиков снимались и заносились в книгу, а стрелки счетчиков устанавливались на нуль.

К табулятору было подсоединено устройство сортировки: большой деревянный ящик с 26 отделениями, каждое из которых закрывалось крышкой с пружинным механизмом. Посредством электрических реле, через которые устройство сортировки соединялось с табулятором, крышки определенных отделений открывались для закладки карт с соответствующей информацией. Предположим, например, что оператор закладывает в пресс перфокарту с данными о 45-летней белой женщине, жене фермера. Когда затем оператор опускает крышку, определенные штырьки входят в контакт с ртутью, и стрелки соответствующих счетчиков, суммирующих сведения о белых женщинах возрастной группы от 45 до 50 лет, жителях ферм с наделом земли менее 75 акров, сдвигались на единицу. Если схему электрических реле собрать таким образом, чтобы устройство сортировки срабатывало на запрос о возрастных группах, то откро-

ется, скажем, крышка десятого отделения (сведения о женщинах от 45 до 50 лет). Бросив карту в открытое отделение и закрыв крышку, оператор берет следующую карту и опускает ее в пресс. Когда все карты отсортированы, можно подсчитать содержимое каждого отделения, чтобы опреде-

лить - в данном случае, сколько насчитывалось женщин в возрастной группе от 45 до 50 лет.

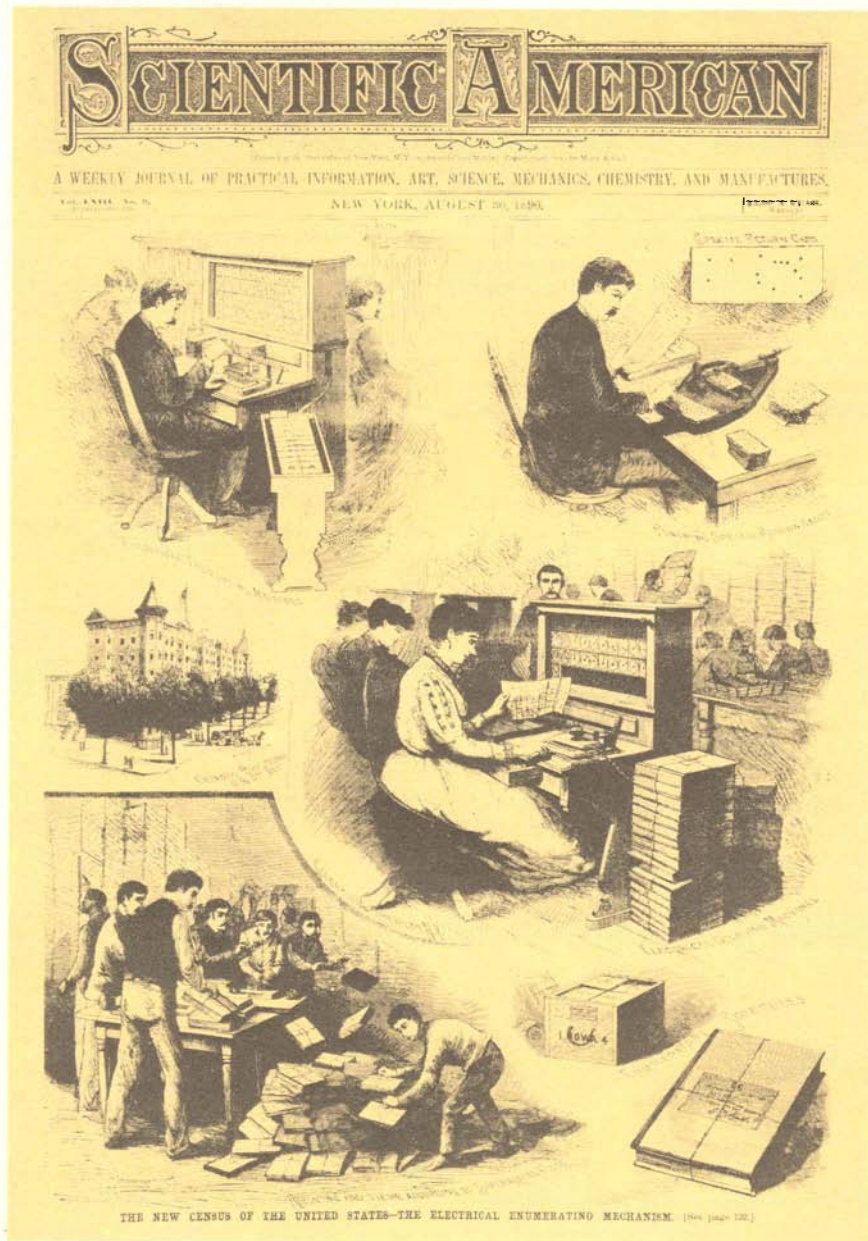
Испытания своей перфокарточной системы Холлерит провел еще до переписи 1890 г. в Балтиморском отделе здравоохранения, где с ее помощью табулировались важные статистиче-

ские показатели для этого города. Идея испытать систему оказалась очень удачной, потому что он быстро обнаружил серьезный недостаток в ее конструкции. После пробивания механическим перфоратором 12 тысяч отверстий в толстой колоде перфокарт у него едва не отнялась рука.

Чтобы преодолеть возникшее затруднение, Холлерит изобрел специальную клавиатуру, или перфоратор-пантограф, названный так потому, что движение на одном конце устройства воспроизводилось на другом его конце. Новый перфоратор состоял из плоской станины с перфорированной матрицей на одной его стороне и держателем для перфокарты - на другой. Расположение отверстий на пластине в точности соответствовало размещению позиций на перфокарте. Над станиной крепился двойной рычаг с тонким штифтом на одном конце и острым стержнем, пробивающим отверстия, - на другом. Когда оператор вдавливал штифт в отверстие на матрице, его действие передавалось на другой конец пантографа, где острый стержень пробивал в перфокарте отверстие в соответствующем месте.

Пантограф был остроумным изобретением. Благодаря ему удалось не только облегчить работу оператора, но и появилась возможность перфорировать карты с 12 строками и 24 колонками, что позволило увеличить количество наносимой на одну перфокарту информации. С помощью перфоратора-пантографа оператор мог отперфорировать примерно 500 карт в день.

Обработку данных переписи 1890 г. ускорило также изобретение четырехколоночного перфоратора. Нажимая на рукоятку этого устройства, оператор мог одновременно проделать по одному отверстию в каждой из первых четырех колонок карты, куда заносились географические данные. Поскольку одновременно обрабатывались большие количества карт из одной и той же местности, оператор мог быстро подготовить карты для соответствующего района - по пять или шесть карт при одном нажатии рукоятки.



ОБЛОЖКА журнала «Scientific American» за 1890 г. Именно тогда в Управлении переписи населения США было установлено сконструированное Холлеритом оборудование, предназначенное для обработки результатов переписи населения. На первом рисунке (по часовой стрелке, начиная с левого верхнего угла) оператор работает на табуляторе, считывающем данные с перфокарт; к табулятору подключено сортирующее устройство. На следующем рисунке оператор переносит данные с опросных листов на перфокарты с помощью перфоратора-пантографа. Далее сотрудница управления считывает данные с опросных листов и складывает числа на клавиатуре перфоратора, чтобы получить численность населения. На двух следующих рисунках показаны тюки опросных листов, прибывающих в Управление переписи из различных штатов и округов страны. На последнем фрагменте изображено здание Управления переписи населения в Вашингтоне.

К КОНЦУ переписи населения 1890 г. электрическая табуляционная машина Холлерита, как она тогда называлась, была значительно усовершенствована. В результате производительность обработки данных резко возросла. В среднем один оператор за день мог пропустить через табулятор почти 8 тысяч карт, а многие добивались еще лучших результатов. Один из работников уста-



ПЕРФОКАРТЧНЫЙ ТАБУЛЯТОР ХОЛЛЕРИТА состоял из трех частей: устройства считывания перфокарт (пресс), блока циферблатных счетчиков и сортирующего устройства. Оператор брал перфокарту левой рукой, вставлял ее в пресс и нажимал на рукоятку правой рукой. При наличии электрического контакта стрелки счетчиков продвигались на одно деление, затем звенел звонок и открывалась

крышка одного из отделений устройства сортировки. Оператор вынимал карту из пресса правой рукой, помещал ее в нужное отделение в сортирующем устройстве и закрывал крышку, одновременно вставляя новую карту в пресс левой рукой. Этот метод был весьма производительным: один оператор мог обрабатывать за день в среднем около 8000 карт.

новил рекорд, подготовив за один день 19071 карту.

К исходу кампании по переписи населения 1900 г. к табулятору было присоединено устройство автоматической подачи перфокарт, благодаря чему отпала необходимость вставлять карты вручную по одной в считывающий пресс. Теперь операторы могли обрабатывать карты целыми колодами. Производительность автоматического табулятора была действительно впечатляющей. За один «рекордный» день было обработано 84 тыс. перфокарт, а в среднем, по сравнению с ручным табулятором, производительность была в 6 раз выше. В 1901 г. был сделан еще один шаг на пути автоматизации; к комплексу

было добавлено устройство автоматической сортировки. Надавив на рычаг, оператор мог переслать карты из табулятора непосредственно в устройство сортировки.

В 1902 г. Управление переписи населения стало постоянно действующим правительственным учреждением и получило официальное название Бюро переписи населения при министерстве торговли США. В это время вокруг стоимости оборудования Холлерита (которое правительство арендовало у компании Холлерита на время обработки данных переписи) разгорелись жаркие споры. Л. Пауэрс, руководивший обработкой данных переписи 1900 г. по сельскому хозяйству, публично доказывал, что стои-

мость автоматизированной обработки вдвое выше ручной. И он был прав: перепись 1870 г. обошлась в 8,77 центов на душу населения, 1880 г. - в 11,55 центов, а 1890 г., когда использовались машины Холлерита, - в 18,44 центов.

Тем не менее значительно более распространенным было мнение, что возврат к ручным методам обработки невыносим. Тогда Бюро переписи решило просто уменьшить расходы, создав свое собственное табуляционное оборудование. Ему удалось даже сделать несколько усовершенствований. Так, ручной рычаг в устройстве автоматической сортировки Холлерита был заменен ножной педалью, благодаря чему высвободились руки опера-

тора, а в 1906 г. циферблатные счетчики были заменены печатающими, которые переносили показания сразу на бумагу.

В 1930г. в Бюро переписи населения все еще продолжалась работа по усовершенствованию системы обработки данных. Перфоратор-пантограф был заменен перфоратором с клавиатурой (который перед этим был применен для обработки статистических данных по сельскому хозяйству). Карта вставлялась в подвижную каретку, и оператору нужно было лишь ударить по клавише, чтобы пробить отверстие в определенном месте, подобно тому как печатают на пишущей машинке. Производительность опять резко возросла, меньше чем за семь недель были обработаны данные о 12,6 млн. семей.

В 1940 г. была введена 45-колоночная карта фирмы IBM вместе с копирующим перфоратором, механическим устройством, ПОЗВОЛЯВШИМ переносить данные с одной карты на другую или сразу на несколько экземпляров. Печатающий табулятор фирмы IBM, еще одно новшество, впервые появившееся в 1940 г., позволял суммировать данные по многим картам, а также по различным полям одной и той же карты. Однако перепись населения 1940 г., возможно, наиболее примечательна, поскольку это была последняя перепись, полностью обработанная без помощи электронных вычислительных машин.

Первый коммерческий компьютер "UNIVAC 1" дебютировал в переписи населения 1950 г., обработав около 20% перфокарт; остальные были обработаны существующими ТАБУЛЯЦИОННЫМИ машинами. Перепись 1960 г. решительно вступила в компьютерный век. При обработке ее результатов была применена система "FOSDIC" (Film Optical Sensing Device for Input to Computers - пленочное оптическое устройство для ввода данных в компьютеры). Система "FOSDIC" представляла собой важный шаг вперед в обработке данных, поскольку она позволяла считывать данные переписи с микрофильмов и благодаря этому отпадала необходимость в ручном перенесении данных с опросных листов. При помощи системы "FOSDIC" данные можно было непосредственно переносить на магнитную ленту для последующей обработки компьютером.

В дальнейшем технология обработки данных переписей продолжала быстро развиваться. В 1970 и 1980 годах информация записывалась на анкетах размером 21,6 x 28 см, которые впоследствии обрабатывались со

скоростью приблизительно 240 штук в минуту, а считанные данные записывались на магнитную ленту и/или по телефонным линиям связи поступали в память компьютера. Дальнейшие изменения, по-видимому, еще более усовершенствуют технологию обработки данных переписи населения. В 1990 г. практически все данные переписи предполагается собрать по почте, необходимость в счетчиках, переходящих, как в старину, от двери к двери, отпадет, за исключением тех случаев, когда кто-то не сможет заполнить и выслать свою анкету. К

2000 г. от письменных форм переписи, возможно, и вовсе откажутся. Вместо этого информацию можно будет собирать по каналам интерактивного кабельного телевидения, с помощью домашних компьютеров или даже компьютеризованных телефонных систем. Поэтому можно, наверное, с изрядной долей уверенности сказать, что обработка данных переписей будет по-прежнему привлекать внимание и стимулировать изобретательность специалистов по вычислительной технике и системному анализу еще много лет.

Наука и общество

Сталь или алюминий?

ВОПРОС о том, из чего следует делать банки для консервированных напитков, является сейчас предметом оживленных споров. В 60-е годы в США почти все консервные банки для пива и газированной воды делали из стали с оловянным покрытием; в 1988 г. примерно 95% выпускаемых в стране 80 млрд. банок были изготовлены из алюминия. Однако в последние два года усовершенствование технологии производства стали и рост цен на алюминий создали благоприятные условия для того, чтобы сталелитейные компании смогли потеснить на рынке производителей алюминиевых консервных банок.

Обычная стальная банка для консервированных напитков выпуска прошлых лет представляла собой тяжелую, нередко протекающую посудину с тремя сварными швами, которая придавала жидкости привкус металла. Учитывая эти недостатки, фирмы, производящие алюминий, разработали технологию изготовления консервных банок из алюминиевого листа методом протяжки; оставалось сделать только дно и крышку. Основная причина, которая первоначально сдерживала распространение алюминиевых банок, заключалась в том, что они не разлагались на свалках. Это заставило производящие их предприятия развернуть широкую кампанию по переработке использованных банок в алюминий.

Однако в последние 5-6 лет сталелитейные компании, которые пережили спад спроса на свою продукцию, приступили к переоснащению своих предприятий. Прокатные станы, которые когда-то предназначались для обработки стальных слитков, после

модернизации стали превращать их в листы толщиной 0,2 мм, а затем покрывать слоем олова. Теперь те же предприятия используют процесс непрерывной разливки, позволяющий из горячего металла получать длинные полосы, которые затем прессуются до толщины 0,07 мм. Толщина оловянного слоя покрытия уменьшилась наполовину. Банки из такой тонкой стали можно делать цельнотянутыми, без сварного шва, ничем не уступающие алюминиевым. Крышки у таких банок из стали делают все же из алюминия; пока еще не удается сделать стальную крышку с легко продавливаемым «язычком». Представители сталелитейной промышленности утверждают, что рост цен на алюминий означает, что производители консервных банок могут сэкономить от 4 до 6 долл. на каждой партии из 1000 банок, если вместо алюминия будут использовать сталь.

Но пока лишь немногие производители перешли на производство консервных банок из стали. Необходимо переоснастить поточные линии; затраты на переналадку оборудования, предназначенного для изготовления алюминиевых банок, на их производство из стали могут достигать 3 млн. долл. (Как заявил Ч. Карсон, менеджер компании U.S. Steel, переоборудование линий, выпускающих и стальную и алюминиевую продукцию, на линии, производящие изделия только из стали, может обойтись в 200 тыс. долл.)

Еще большей проблемой для сталелитейных компаний США является разработка общегосударственной программы вторичной переработки использованных стальных банок; по масштабам ее МОЖНО сравнить с программой утилизации примерно половины алюминиевых банок для консер-



ИЗ ТОНКОГО СТАЛЬНОГО ПРОКАТА в США ежегодно изготавливается менее 5% (3 млрд. штук) общего количества банок для консервирования различных напитков. Сталелитейные компании намерены увеличить долю этой продукции в общем объеме ее выпуска.

вированных напитков в США. Теперь, как заявляют представители сталелитейной промышленности, потребители ждут, когда же появятся банки из нового материала, но экономические соображения в отношении утилизации использованных банок «работают против стали. Поскольку для изготовления тонкого листового проката для консервных банок используется высококачественная сталь, производители должны тщательно контролировать присутствие примесей других металлов (особенно олова) в переработанной стали, чтобы она не оказалась хрупкой. «Во многих случаях переработка [стальных банок] обходится намного дороже, чем их производство из нового материала, - заявил Дж. Якобсон, вице-президент консультационной фирмы AUS в Филадельфии.

Несмотря на то что деятельность мини-заводов - наиболее быстро развивающегося сектора сталелитейной промышленности - зависит от объемов стального металлолома в стране, они испытывают недостаток

в тяжелом прокатном оборудовании, необходимом для изготовления стального листа. Однако фирма Nucor в ближайшее время должна открыть в шт. Индиана завод, на котором будет использоваться технология непрерывной разливки, впервые внедренная в ФРГ, для изготовления тонких стальных листов. Nucor в начале будет выпускать листовую прокат толщиной 0,6-0,2 см, но затем она намеревается усовершенствовать этот процесс для производства более тонкого высококачественного проката.

В соответствии с программой обеспечения повсеместной переработки стальных банок шесть американских фирм-производителей стальных листов с оловянным покрытием заявили, что в течение ближайших пяти лет они создадут обширный фонд в размере 30 млн. долл. На эти средства они собираются открыть институт по исследованию проблем переработки стальных банок. Эта организация создаст местные сети предприятий по утилизации этого вторичного сырья по примеру успешно действующей

программы переработки стальных отходов в Канаде и будет информировать общественность о результатах своей работы.

Тем временем изготовители алюминиевых банок тоже не сидят сложа руки. Хотя в настоящее время только 10% банок для консервирования продуктов изготавливаются из алюминия, фирма Alcoa продолжает производить и сбывать свои небольшие, но легко открывающиеся банки из алюминия.

Вниманию читателей!

Журнал «ТИИЭР»
(перевод журнала
Proceedings of the IEEE)
готовится к печати
тематический выпуск

**ДИНАМИКА СИСТЕМ С
ДИСКРЕТНЫМИ СОБЫТИЯМИ**
(ТИИЭР, т. 77, № 1, январь 1989)

Выпуск посвящен системам, состояние которых изменяется в дискретные моменты времени. Это преимущественно искусственные системы (например, гибкие автоматизированные производства), предполагающие интерактивный режим работы. В выпуске рассмотрены проблемы анализа систем с дискретными событиями (СДС), методы их моделирования, вопросы практического применения теории в производственных системах и системах связи.

Цена номера 3 р. 30 к.

Читатели Москвы и Подмосковья могут оформить предварительный заказ в Московском Доме книги (пр. Калинина, 26, секция «Мир») и магазине № 19 «Мир» (Ленинградский пр., 78). Иногородним читателям заказы следует направлять на открытках по адресу: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция ТИИЭР. Заказы принимаются до 20 июня с. г.



Что должен делать водитель, когда требуется быстро затормозить



ДЖИРЛ УОЛКЕР

Каждый водитель попадал в алоприятные ситуации, когда приходится из всех сил жать на тормоз, чтобы избежать столкновения или наезда. Это и есть экстренное, или аварийное, торможение. Что нужно делать в таких случаях, чтобы сократить тормозной путь? Резко нажать и не отпускать педаль тормоза, чтобы колеса заблокировались (т. е. их вращение прекратилось)? Или же тормозить сильно, но все же таким образом, чтобы не заблокировать колеса? Часть инструкторов по вождению и кое-кто из физиков высказываются категорически в пользу первого способа, тогда как в учебниках физики можно встретить не менее определенное утверждение, что эффективен только второй способ. Более того, на некоторых современных автомобилях тормозные системы снабжены микропроцессорами, регулирующими силу торможения и исключаящими блокирование колес. Допустим, что в вашем автомобиле такого устройства нет. Каковы ваши действия при экстренном торможении?

Чтобы ответить на этот вопрос, следует рассмотреть силы трения, возникающие при взаимодействии колес с дорогой. Когда колесо катится без проскальзывания, между ним и дорогой возникает так называемое статическое трение (или трение по-

кой). Сила трения уравнивает горизонтальную составляющую силы воздействия колеса на дорогу. Когда автомобиль неподвижен, трения между колесами и дорогой нет и горизонтальные силы отсутствуют. При разгоне автомобиля ведущие колеса, получая крутящий момент от двигателя, начинают вращаться с возрастающей скоростью и при этом как бы отталкивают дорогу назад. Противоположная (т. е. направленная вперед) реакция дороги является той силой, благодаря которой и ведущие колеса, а вместе с ними и весь автомобиль движутся вперед.

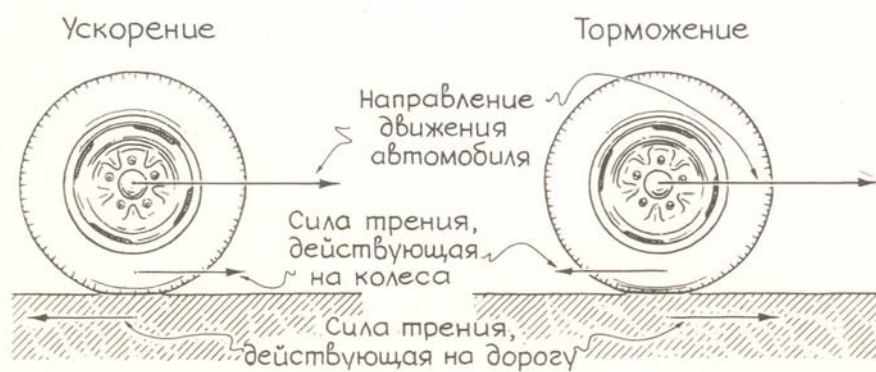
При торможении вращение ведущих колес замедляется. Теперь колеса «толкают» дорогу вперед и испытывают действие силы трения, направленной назад, вследствие чего автомобиль замедляет движение. Предельная величина статического трения равна произведению направленной вертикально вниз силы, действующей на колесо, и характеристики сцепления шины с дорогой, которая называется коэффициентом статического трения. В обычных условиях вертикальная сила равна весу автомобиля, приходящемуся на одно колесо. Коэффициент статического трения в значительной степени является мерой микронеровностей поверхности шины и дорожного покрытия. Для сухого асфальта он равен примерно 0,8.

Если горизонтальная сила, с которой дорога действует на колесо, превышает предельную величину статического трения, колесо начинает проскальзывать относительно дороги и возникает трение скольжения. При достаточно резком нажатии на тормозную педаль колесо блокируется почти мгновенно. Сила трения направлена назад и равна произведению вертикальной силы, действующей на колесо, и коэффициента трения скольжения. Заметим, что если сила статического трения может меняться от нуля до своей предельной величины, то сила трения скольжения практически постоянна и определяется указанным выше произведением. (Строго говоря, сила трения скольжения может меняться в неБОЛЬШИХ пределах в зависимости от скорости скольжения колеса и от других факторов.)

Коэффициент трения скольжения меньше, чем коэффициент статического трения: для стандартной шины на сухом асфальте он равен 0,6. Уменьшение трения при скольжении объясняется несколькими факторами и прежде всего выделением тепла. При скольжении колес по асфальтовому покрытию происходит плавление битумных составляющих асфальта; материал покрышек тоже может плавиться (от всего этого на дороге остаются темные тормозные следы). В любом случае при скольжении образуется жидкая прослойка между колесом и дорогой, которая служит смазкой и уменьшает коэффициент трения.

Итак, нужно ли блокировать колеса при экстренном торможении? Если вы тормозите сильно, но колеса не блокируются, сила статического трения, действующая на колеса, может достигать своей предельной величины. Если же колеса заблокировались и начинают скользить, сила трения будет меньше своей предельной величины из-за образования «смазки». Поскольку в обоих случаях автомобиль останавливается только благодаря трению, то первый способ кажется эффективнее, поскольку трение здесь больше и, следовательно, тормозной путь короче. Так утверждается в некоторых учебниках физики.

Инструкторы по вождению придерживаются противоположного мнения. Они говорят, что в ситуации, требующей экстренного торможения, у вас обычно просто нет времени на то, чтобы, регулируя силу нажатия на педаль, добиться максимального статического трения и избежать блокирования колес. В одном это утверждение бесспорно: пытаться менять силу нажатия на педаль, вы неизбежно потеряете время, что приведет к увеличению тормозного пути.



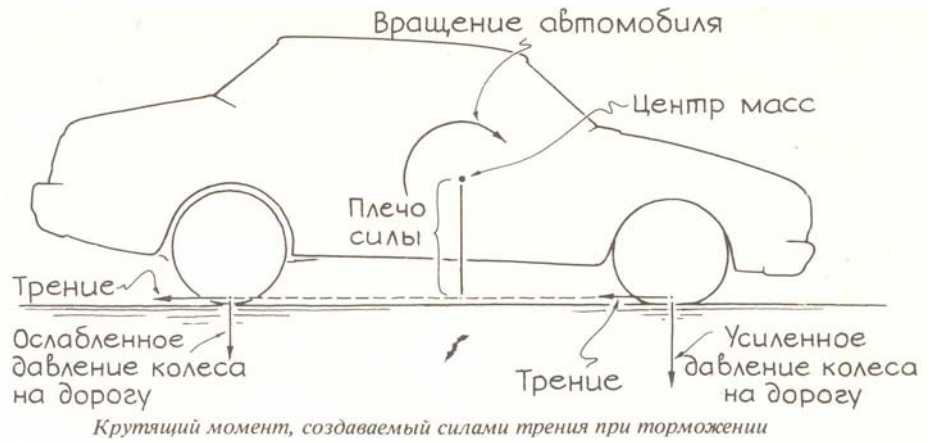
Силы трения между колесом и дорогой

Допустим, вы пренебрегли этим чисто практическим соображением. Какой способ торможения вы должны принять? В 1979 г. этой проблемой заинтересовались Д. Уитмайер и Т. Аллеман, в то время сотрудники Юго-западного университета шт. Луизиана. Они указали, что в проводимых ими экспериментах, вопреки утверждению учебников, тормозной путь автомобиля, когда колеса заблокировались, обычно оказывался короче, чем когда торможение не вызывало скольжения. Ключевым эффектом здесь является то, что силы трения создают крутящий момент, действующий на автомобиль в вертикальной продольной плоскости; этот момент существенно изменяет вертикальные силы, действующие на колеса, а следовательно, и силы трения.

Для разъяснения этого положения рассмотрим, что происходит, когда в движущемся автомобиле водитель нажимает на тормоз (см. верхний рисунок справа). Если колеса не скользят, на каждое из них действует сила статического трения, направленная назад. Эти силы и заставляют автомобиль замедлять движение. Эти же силы создают крутящие моменты, которые стремятся повернуть автомобиль вокруг центра масс в вертикальной продольной плоскости, приподнимая задние колеса и прижимая к дороге передние. Крутящий момент для каждого колеса равен произведению силы трения на некоторое расстояние, называемое плечом силы. Для того чтобы найти плечо силы, нужно мысленно продолжить вектор силы трения назад до пересечения с перпендикулярной линией, опущенной на нее из центра масс автомобиля. Длина этого перпендикуляра и есть плечо силы трения. Направление вращения под действием крутящего момента можно определить, если представить себе, что само плечо силы поворачивается силой трения вокруг центра масс.

Вращение под действием крутящих моментов легко ощутить в автомобиле с достаточно «мягкой» подвеской: при торможении автомобиль «клюет» носом, так что давление на передние колеса увеличивается, а на задние уменьшается. Но даже если бы автомобиль был абсолютно жестким и не мог вращаться, результат был бы тот же: вертикальные силы, действующие на передние колеса, увеличились бы, а силы давления на задние колеса - уменьшились. В любом случае предельная величина статического трения увеличивается для передних колес и уменьшается для задних.

Чтобы исследовать влияние крутящих моментов на торможение, Уитмайер и Аллеман исследовали не-



сколько случаев. Для сравнения они взяли пример из учебника, в котором влияние крутящих моментов не учитывается и предполагается, что предельная величина статического трения одинакова для всех колес. Пусть D обозначает длину тормозного пути в этих условиях. Предположим, что тормоза автомобиля одинаковы и водителю удалось затормозить так, что задние колеса оказались на грани скольжения. В этом случае сила трения, действующая на задние колеса, равна предельной величине статического трения. Однако, как мы знаем, последняя уменьшается благодаря действию крутящих моментов. Поскольку по условию тормозная система оказывает одинаковое воздействие на передние и задние колеса, то на передние колеса будет действовать такая же сила трения, что и на задние. Суммарное трение будет невысоким и тормозной путь автомобиля увеличится до $1,5 D$.

Такое «регулируемое» торможение может оказаться менее эффективным, чем остановка автомобиля с полным скольжением (с заблокированными колесами). В этом случае крутящие моменты не оказывают влияния на тормозной путь автомобиля, так как снижение трения на задних колесах в точности компенсируется увеличением трения на передних, и, следовательно, общий эффект трения будет таким же, как при отсутствии крутящих моментов. В итоге, считая, что коэффициент трения скольжения на 20% меньше коэффициента статического трения, тормозной путь с полным скольжением колес должен быть равным $1,25 D$ значительно

меньше, чем при регулируемом торможении.

Тормозной путь при регулируемом торможении можно уменьшить, нажимая на педаль достаточно резко, но так, чтобы задние колеса начали скользить, а передние были только на грани скольжения. В этом случае Максимальное статическое трение на передних колесах (которое увеличилось благодаря действию крутящих моментов) в сочетании с силой трения скольжения на задних колесах обеспечит тормозной путь лишь немногим длиннее D , и, следовательно, более короткий, чем при торможении с полным блокированием колес.

Тормозная система на многих автомобилях регулируется таким образом, чтобы компенсировать влияние крутящих моментов, создаваемых силами трения: при нажатии на педаль, на передние тормоза действует большее усилие, чем на задние. Предположим, однако, что система оказалась «перерегулированной», так что передние колеса оказываются на грани скольжения, в то время как задние еще далеки до этого состояния. В таком случае на передние колеса будет действовать максимальное статическое трение, тогда как на задних колесах статическое трение будет небольшим; тормозной путь окажется значительно больше D и даже длиннее, чем при торможении с полным блокированием колес.

Положение улучшится, если тормозить резко, так чтобы передние колеса начали скользить, а задние были на грани скольжения. Тогда передние колеса будут испытывать трение скольжения, а задние - максимальное ста-



Увод автомобиля

тическое трение, и тормозной путь окажется лишь немногим больше D .

Необходимо рассмотреть еще одно обстоятельство. Тормозная система может быть отрегулирована так, что передние и задние колеса будут оказываться на грани скольжения одновременно и сила трения на каждом колесе будет равна максимальному статическому трению. Только в этом идеальном случае тормозной путь будет равен D , т. е. точно соответствовать приводимому в учебниках значению. Такая регулировка может, однако, оказаться практически бесполезной, так как она зависит от коэффициента статического трения. Регулировка тормозов может быть оптимизирована для одного типа дорожного покрытия, но окажется неоптимальной для покрытий иного типа с другим коэффициентом статического трения. (Это обстоятельство оправдывает применение тормозных систем, снабженных МикроПроцессорами, автоматически меняющими регулировку в соответствии с состоянием дорожного покрытия.)

Следовательно, торможение с блокированием колес, когда все четыре колеса начинают скользить, может оказаться наилучшим выходом в некоторых аварийных ситуациях, когда главной задачей является сокращение до минимума тормозного пути. Этот прием особенно эффективен в тех случаях, когда крутящие моменты действуют на автомобиль таким образом, что задние колеса оказываются на грани скольжения раньше, чем передние. Но здесь водителя подстерегает другая опасность: если автомобиль полностью перешел в режим скольже-

ния по жидкой пленке, он теряет продольную устойчивость и становится почти неуправляемым. Малейший поворот передних колес в начале скольжения может привести к тому, что автомобиль выбросит на соседнюю полосу движения. Автомобиль может начать крутиться и уходить с прямой траектории и в тех случаях, когда силы трения скольжения, действующие на колеса, неодинаковы или если дорога имеет поперечный уклон или выпуклый профиль, как часто бывает в действительности. Торможение, когда колеса скользят, а автомобиль теряет устойчивость, может быть более опасным, чем регулируемое торможение, хотя последнее и приводит к увеличению тормозного пути.

В 1984 г. У. Унру из Университета Британской Колумбии изучал механику увода автомобиля, т. е. потери продольной устойчивости, в случаях когда скользят только передние или только задние колеса. Вы наверняка знаете из своего водительского опыта, что при блокировании только передних колес автомобиль часто сохраняет продольную устойчивость и движется в нужном направлении. Если же заблокированы задние колеса, то вероятность увода резко возрастает; автомобиль может даже развернуться на 180° и начать двигаться задом наперед.

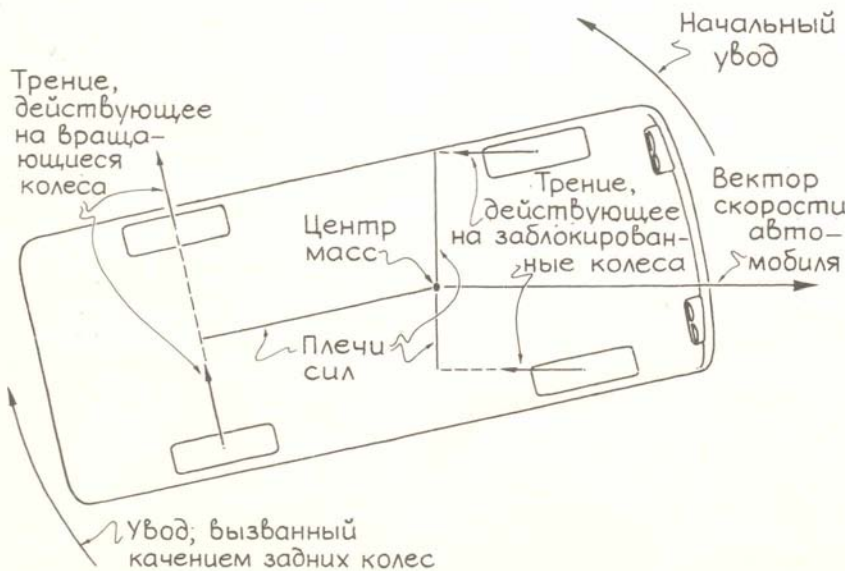
Следуя упрощенному варианту анализа, выполненного Унру, рассмотрим случай, когда автомобиль внезапно начинает поворачиваться против часовой стрелки (увод влево, см. рисунок внизу). Предположим, что передние колеса заблокированы, а задние

еще вращаются. Так как автомобиль уводит в сторону, задние колеса будут скользить вбок, т. е. на них будет действовать сила трения скольжения, параллельная заднему мосту автомобиля. Передние колеса в этом случае также испытывают трение скольжения, но поскольку они заблокированы, силы трения направлены назад, против нужного направления движения автомобиля.

Эти силы трения создают крутящие моменты в горизонтальной плоскости, которые стремятся повернуть автомобиль вокруг центра масс. Для оценки крутящих моментов посмотрим на автомобиль сверху и не будем учитывать, что его центр масс находится на некоторой высоте над дорогой. Для определения плеча крутящего момента продолжим вектор силы до пересечения с перпендикулярной линией, проведенной из центра масс. Длина перпендикуляра определяет плечо момента, а направление вращения можно определить, представив, что сила стремится повернуть само плечо вокруг центра масс.

В самом начале увода передней части автомобиля влево крутящие моменты, создаваемые передними колесами, которые приблизительно равны друг другу, стремятся повернуть автомобиль в противоположных направлениях и, таким образом, взаимно уничтожаются. В то же время крутящие моменты, создаваемые задними колесами, стремятся повернуть автомобиль по часовой стрелке, т. е. противодействуют уводу. Если даже автомобиль увело влево на значительный угол, так что крутящий момент, создаваемый левым передним колесом увеличился из-за большей длины плеча, крутящие моменты, создаваемые трением на задних колесах, все же будут доминировать, так как их плечи еще длиннее. В результате увод влево прекратится, и автомобиль постепенно повернется вправо и займет правильное положение. Таким образом, при блокировании только передних колес любой случайный увод автомобиля автоматически исправляется благодаря трению на задних колесах.

Представим теперь, что заблокированы только задние колеса. Силы трения, действующие на эти колеса, направлены назад, тогда как передние колеса еще продолжают вращаться и подвержены действию сил трения, направленных параллельно переднему мосту (см. рисунок на с. 81). В начале увода крутящие моменты от задних колес взаимно уничтожаются, так как они стремятся повернуть автомобиль в противоположных направлениях. Крутящие моменты, создаваемые пе-



Начало увода автомобиля с заблокированными передними колесами

редними колесами, не уничтожаются, так как оба они вызывают вращение против часовой стрелки, и, следовательно, увод автомобиля усиливается. С увеличением угла увода крутящий МОМент, создаваемый правым задним колесом, увеличивается благодаря более длинному его плечу, но все же не может противодействовать крутящим моментам от передних колес. Неуправляемый увод продолжается, так что автомобиль в результате может развернуться на 180° и начать двигаться задом наперед.

Унру исследовал также влияние положения центра масс автомобиля на вероятность такого разворота. В автомобиле с двигателем, расположенным впереди, центр масс находится перед геометрическим центром и нагрузка на передние колеса больше, чем на задние. В этом случае велика вероятность того, что задние колеса при экстренном торможении будут заблокированы раньше передних, а автомобиль потеряет продольную устойчивость и развернется.

Если же двигатель расположен сзади (как, например, в «Фольксвагене», который принадлежал Унру), то автомобиль обладает значительно большей продольной устойчивостью. Центр масс находится позади геометрического центра, и задние колеса нагружены больше, чем передние. При экстренном торможении более вероятно блокировка передних колес, так что любой увод в сторону будет быстро исправлен благодаря трению на задних колесах. Некоторые владельцы автомобилей с расположенным впереди двигателем повышают продольную устойчивость тем, что кладут в багажник мешки с песком или другие тяжелые предметы. Это особенно полезно при езде по обледенелым дорогам: без дополнительной нагрузки на заднюю ось задние колеса могли бы легко заблокироваться.

Для автомобиля, у которого двигатель находится впереди, вероятность увода при блокировании задних колес зависит от двух начальных условий. Если автомобиль внезапно оказался под углом к нужному направлению движения, но увод еще не начался, он может начать вращаться, если этот угол больше некоторого критического угла. При обычных скоростях движения этот критический угол невелик и уменьшается с увеличением скорости. Если же автомобиль вначале двигался прямо, но внезапно его увело в сторону вследствие, например, неровностей дороги, он будет и дальше отклоняться от нужного направления движения, если величина первоначального увода больше некоторого критического значения (тоже незначи-



Начало увода автомобиля с заблокированными задними колесами

тельного). И в этом случае скорость - враг водителя. В большинстве ситуаций, особенно при больших скоростях, блокирование задних колес автомобиля почти наверняка ведет к неуправляемому уводу.

Существование критического угла и критической величины начального увода связано с тем фактом, что силы трения не только создают крутящие моменты, действующие на автомобиль, но также стремятся замедлить его движение и изменить направление. Если ни критический угол, ни начальный увод не превышены, то эти силы стремятся восстановить устойчивость автомобиля. Например, если автомобиль внезапно слегка отклонился влево, то сила трения, действующая на передние колеса, может ускорить смещение центра масс влево, тем самым восстанавливая первоначальное направление движения автомобиля.

Водитель может воспрепятствовать уводу автомобиля, поворачивая передние колеса в сторону нужного направления движения; такой совет можно найти в некоторых руководствах по практической езде'. На малых

• Большинство руководств рекомендуют обратное: при уводе автомобиля нужно повернуть руль в сторону начавшегося вращения, а не в противоположную, как пишет автор. Идея состоит в том, чтобы устранить боковое скольжение передних колес. При этом нужно немедленно перестать тормозить. Лишь после того как скольжение прекратилось и автомобиль снова стал управляемым, можно вернуть его на прежнюю траекторию, плавно поворачивая руль в противоположную сторону.- *Прим. перев.*

скоростях этот способ срабатывает, даже если вы слишком сильно повернули рулевое колесо и его приходится поворачивать в обратную сторону. Однако на больших скоростях этот маневр требует высокой точности; любая ваша ошибка может вывести автомобиль из-под контроля и его бросит в противоположную сторону.

В предыдущих рассуждениях мы не учитывали важный практический аспект экстренного торможения, а именно реакцию водителя. Водитель не может реагировать мгновенно. Требуется некоторое время на то, чтобы заметить и осознать опасность, принять решение и нажать на тормоз. За это время автомобиль пройдет некоторое расстояние с прежней скоростью, т. е. без замедления. В некоторых учебниках указывается минимальное время реакции водителя, определенное на основании экспериментов и изучения дорожно-транспортных происшествий. В «нормальных условиях, когда опасность распознается быстро и не требуется никаких других маневров, кроме торможения, водитель тратит примерно четверть секунды на распознавание опасности и столько же - на то, чтобы принять решение и нажать на тормоз. Если автомобиль движется со скоростью 90 км/ч, то за это время он пройдет около 13 м. В более сложной дорожной обстановке и в случаях, когда водитель отвлекся или его внимание ослаблено алкоголем, время реакции увеличивается, а соответственно увеличивается путь, пройденный автомобилем до начала торможения.

Увлекательное путешествие по множеству Мандельброта



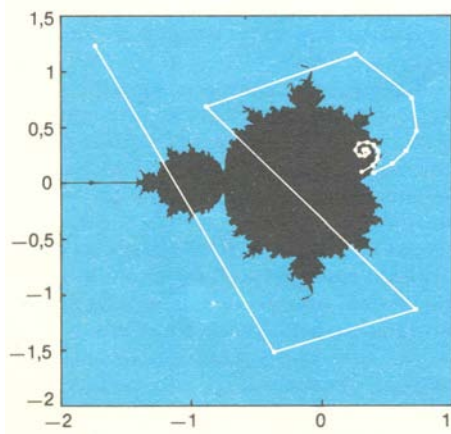
А. К. ДЬЮДНИ

Науке и искусству мало лишь служенья;
В работе надо проявить терпенье.
Дух терпеливый к цели медленно идет;
Хорошему вину лишь время крепость придает.

Из Гете

ПОХОЖЕ, что искусство и наука сливаются воедино в множестве Мандельброта. Его поразительная сложность может символизировать развивающиеся сейчас отрасли науки, изучающие свойства хаоса и нелинейных динамических систем. Люди, даже не посвященные в реальное физическое значение этого «объекта», ощущают причудливую красоту его темного ядра и усыпанного «драгоценными камнями» ореола. Мудрое высказывание великого Гете говорит нам о терпении, которым действительно нужно запастись, чтобы получить изображение множества Мандельброта. Хотя персональный компьютер и способен выполнять тысячи вычислений в секунду, может потребоваться несколько часов, прежде чем он построит законченное изображение.

Множество Мандельброта (названное по имени человека, открывшего его, Бенуа Б. Мандельброта из Исследовательского центра Томаса Уотсона фирмы ИВМ в Йорктаун-Хейтсе, шт. Нью-Йорк) состоит из бесконечного количества точек. Изображения,



два возможных маршрута манделобуса

приведенные в настоящей статье, были построены путем проверки точек из сравнительно небольшой выборки (всего лишь несколько тысяч точек) на принадлежность множеству Мандельброта. Каждый точечный элемент изображения, или пиксел, соответствует какой-нибудь одной точке выборки. Поэтому каждое изображение представляет собой тот или иной фрагмент множества, показанный с некоторым увеличением и в цветовой гамме, выбранной в соответствии со вкусами исследователей множества Мандельброта, приславших автору эти изображения. Наверное, глядя на приведенные здесь иллюстрации, читатели задумаются о природе той красоты, которая таится в множестве Мандельброта. Какие процессы создают эти удивительные формы, эту сложность, простирающуюся в бездну бесконечности? Простота ответа находится в очевидном противоречии со сложностью объекта.

В двух статьях, опубликованных ранее, уже достаточно подробно говорилось о том, каким образом можно построить множество Мандельброта при помощи компьютера. (См. «В мире науки», 1985, № 10 и 1988, № 1.) На этот раз я постараюсь сделать так, чтобы даже те, кто испытывает жуткий страх перед математикой, получили представление о множестве Мандельброта. Есть люди, которые, услышав, что множество Мандельброта каким-то образом связано с «комплексными числами», сразу бледнеют и, торопливо извиняясь, говорят, что им срочно нужно куда-то идти. К счастью, темы комплексных чисел можно вообще не касаться. Я приглашаю таких читателей (а вместе с ними, разумеется, и всех остальных) последовать за мной на манделобусе в путешествие по воображаемой равнине и совершить экскурсию в множество Мандельброта.

Подобно точкам земной поверхности, положение которых можно определять по широте и долготе, точки на плоскости также имеют координаты. Точка $(0,0)$, называемая началом ко-

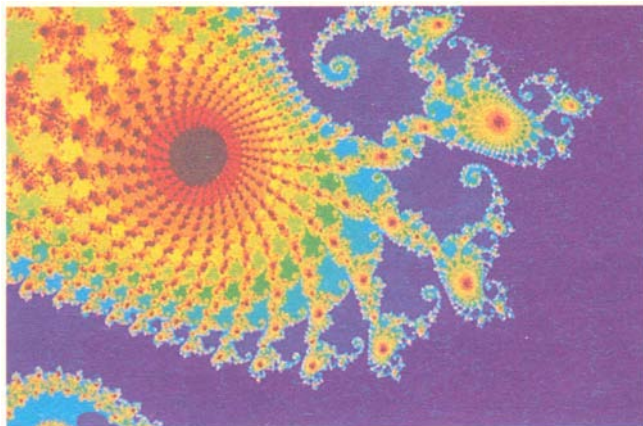
ординат, лежит в центре плоскости. По мановению волшебной палочки я превращаю читателя в невероятно крошечное существо, помещающееся в точке с координатами (a, b) . Где находится эта точка? Да где угодно. Но уж коль скоро мы выбрали эту точку, величины a и b должны иметь конкретные значения, такие, например, как 2,78 и $-0,43$. В этом случае читатель будет находиться на 2,78 единиц к северу и на 0,43 единицы к востоку от начала координат. Что такое в данном случае единица? В принципе безразлично, считаем ли мы ее равной километру или метру. В конце концов любое расстояние кажется огромным, когда вы сами имеете точечные размеры.

Теперь, когда читатель - крошечный и одинокий - слился с точкой на плоскости, он готов к тому, чтобы начать путешествие на манделобусе, но прежде чем подойдет манделобус, я поясню, каков его маршрут. Начав с точки $(0,0)$, он проследует прямо к точке (a, b) , где ожидает его читатель. Читатель будет совершать путешествие в одиночку, потому что ни на одной из бесчисленных остановок, которые будет делать манделобус, продвигаясь от точки к точке, людей больше не будет. Точнее говоря, маршрут манделобуса можно описать сравнительно несложной формулой, пользуясь которой можно определить, в какой следующий пункт следует ехать после остановки в точке (x, y) , а именно

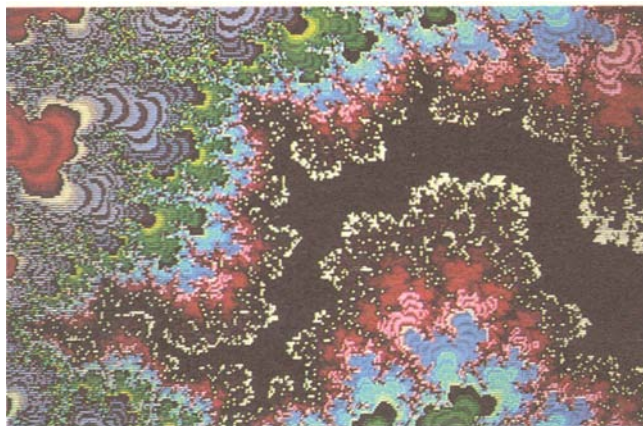
$$(x, y)2 + (a, b).$$

Что означает эта формула? Член $(x, y)2$ - это лишь условное обозначение точки, имеющей координаты $x^2 - y^2$ и $2xy$. Прибавление (a, b) к $(x, y)2$ означает, что следует прибавить a к первой координате, а b - ко второй. Таким образом, если мы еще не утомили наших читателей, в результате этих нехитрых арифметических операций получатся такие координаты: $(x^2 - y^2 + a, 2xy + b)$. Где находится эта точка? Чтобы найти ее, подставим в формулу координаты x и y предыдущей остановки, а также координаты a и b первой остановки.

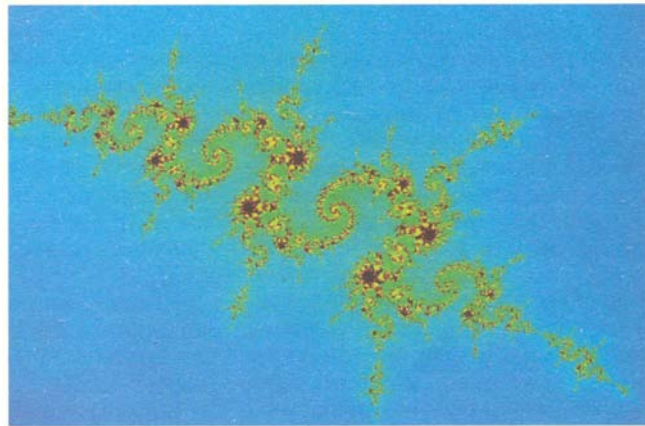
Манделобус всегда стартует из начала координат $(0,0)$ и затем сразу оказывается в точке (a, b) . Чтобы убедиться в этом, читателю нужно лишь подставить нуль вместо x и y в приведенной выше формуле. Все квадраты и удвоенное произведение x и y сразу исчезают, остаются лишь a и b - координаты новой точки. Чтобы определить место следующей остановки, нужно просто подставить значения a и b вместо x и y , т. е. точка,



2



4



Примеры изображений множества Мандельброта

где делается вторая остановка, всегда имеет координаты $(a^2 - b^2 + a, 2ab + b)$.

Дорога, по которой следует манделобус, очень извилиста. Чтобы читатель получил представление о ней, на с. 82 приведены траектории двух возможных маршрутов, показанных как бы с высоты птичьего полета. В первом случае манделобус, отправляясь из начала координат, останавливается, чтобы подобрать читателя, а затем совершает странную последовательность остановок, которые по спирали ведут его обратно к точке старта. Во втором случае читатель последовательно посещает ряд пунктов, которые сначала располагаются неподалеку друг от друга, но потом расстояние между ними растет, и в конце концов они убегают в бесконечность. Если вы попали на такой рейс, то лучше, наверное, соскочить на ближайшей остановке.

Хотя эти два маршрута так непохожи друг на друга, каждый из них был полностью определен первой остановкой, т. е. точкой с координатами a и b и формулой. Допустим, что в первом случае читатель сел на манделобус в точке $(0,300; 0,1(0))$. Подста-

вив эти координаты в формулу, мы получим координаты следующей остановки $(0,380; 0,160)$. Чтобы немало попрактиковаться в процедуре построения множества Мандельброта, полезно вооружиться калькулятором и вычислить координаты третьей остановки, подставив $0,380$ вместо x , $0,160$ вместо y , $0,300$ вместо a и $0,100$ вместо b в приведенной формуле. В результате получим точку $(0,419; 0,222)$. Вот эти простые, повторяющиеся арифметические действия и движут манделобусом в его бесконечном путешествии.

Хотя поездка может продолжаться сколько угодно долго, пока есть желание повторять циклы вычислений, маршрут, по которому движется манделобус, будет либо ограниченным, либо неограниченным. Под этими словами я подразумеваю, что последовательность остановок будет всегда заключена внутри какой-то ограниченной зоны вокруг начала координат (как это имеет место в первом случае) либо выйдет за пределы этой зоны и устремится в бесконечность (как во втором случае).

Что же такое множество Мандельброта? Это просто множество всех

точек (a, b) , в которых манделобус делает остановки на своем маршруте в ограниченной зоне. Множество образует непрерывный континуум в средней части плоскости, вблизи начала координат, с тонкими извивающимися ветвями на периферии. В компьютерных программах, генерирующих изображения множеств Мандельброта, цвет пиксела на экране зависит от того, устремляется ли манделобус в бесконечность из точки (a, b) , представляемой данным пикселом, и если да, то насколько быстро.

Некоторым читателям, наверное, спокойнее путешествовать по ограниченному маршрутам, начинающимся внутри множества Мандельброта, поскольку они содрогаются при мысли о путешествии в бесконечность. Однако ограниченность перемещения во время путешествия, кажется, удручает математиков. Наверное, именно поэтому они закрашивают само множество черным цветом.

Существует доказанная теорема (и следовательно, это безусловно верно), что если манделобус когда-либо достигнет точки, отстоящей от начала координат на две и более единиц,

то он в конце концов уедет в бесконечность. Это справедливо в тех случаях, когда точка (a, b) , где делается первая остановка, лежит за пределами множества Мандельброта. Однако сколько остановок сделает манделобус, уезжающий в бесконечность, прежде чем он удалится от начала координат по крайней мере на две единицы? Это число называется задержкой точки (a, b) .

Когда пытаешься вычислять задержку точки (a, b) , трудно решить, где нужно остановиться. Для некоторых точек манделобусу требуется сделать 100 или даже 1000 остановок, прежде чем он навсегда покинет окрестности начала координат. С другой стороны, точка может оказаться внутри множества Мандельброта и в этом случае, сколько бы мы ни продолжали вычисления, соответствующий пиксел все равно придется окрасить в черный цвет. Вблизи границы множества располагаются точки с очень высокими значениями задержки. Для этих точек иногда приходится сделать миллион итераций, прежде чем манделобус достигнет критического расстояния в две единицы от начала координат. Поэтому программа должна принимать в какой-то мере произвольное решение, когда следует прекратить расчеты по формуле для заданной точки (a, b) . Такие предельные значения, как 100 или даже 50 итераций, приводят к очень красивым и сравнительно точным изображениям множества, несмотря на то, что некоторые пикселы окажутся окрашенными в черный цвет.

Выбор других цветов, помимо черного, также зависит от задержки для той точки, которая соответствует данному пикселу. Например, программист может решить, что цвет пиксела должен быть либо черным, либо фиолетовым, либо зеленым, ес-

ли представляемые им точки имеют задержку соответственно от 100 и выше, от 50 до 99 или от 1 до 49. Цвета и диапазоны задержки, соответствующие каждому цвету, можно выбирать произвольно, однако от этого выбора зависит, получится ли изображение красивым (как на приведенных иллюстрациях) либо с художественной точки зрения оно окажется непривлекательным (к чему, как я подозреваю, привел бы мой собственный выбор цветовой гаммы). На самом деле половина задачи, стоящей перед программистом, заключается в том, чтобы выбрать цвета для точек, лежащих за пределами множества, а другая половина - в том, чтобы выбрать интересные области на плоскости для построения изображения. Следует отметить, что между этими двумя выборами существует взаимная зависимость, потому что именно благодаря выбору цвета становятся видимыми области, получившие такие названия, как Долина морского конька и Самый дальний запад (где обитают удивительнейшие существа).

Чтобы заполнить весь экран компьютерного дисплея цветными элементами, принадлежащими Мандельброта, нужно поочередно взять в качестве значений a и b координаты каждого пиксела на экране из заданного диапазона значений a и b . Это можно сделать при помощи двух циклов. Водном цикле варьирует a , принимая значение через каждую 11200 в пределах заданного диапазона. Вторым циклом, в который вложен первый, изменяет значение b для такого же количества шагов в диапазоне, ограничивающем значения b . Число шагов в каждом цикле должно соответствовать числу пикселов по горизонтали (для a) и по вертикали (для b) с уче-

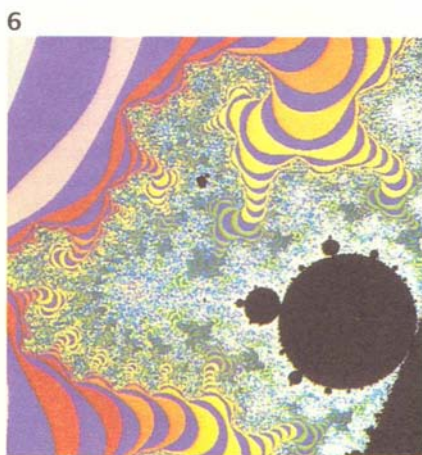
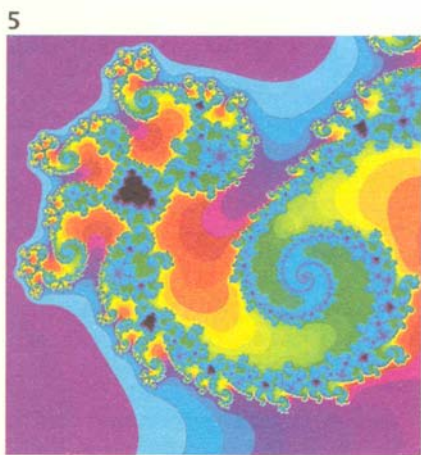
том размера экрана того компьютера, на котором строится изображение.

Поскольку каждое изображение содержит лишь конечную выборку точек в какой-то области множества Мандельброта, оно никогда не сможет отразить всех деталей реальной картины. Однако, сужая диапазоны измерения a и b , можно повысить степень «увеличения». В действительности множество Мандельброта имеет уйму сложных деталей на всех уровнях увеличения. Поэтому одной из самых популярных игр для всех, увлеченных множеством Мандельброта, является увеличение отдельных областей множества до пределов, допускаемых возможностями аппаратуры, программы и просто человеческого терпения.

Увеличение заданной области изображения можно рассчитать следующим образом. Допустим, что мы строим на плоскости изображение квадратной области со стороной s . В таком случае увеличение для данного изображения будет равно $1/s$. Так, квадратное изображение со стороной 0,02 единицы, например, при построении на всем экране будет иметь увеличение 50.

У меня часто возникает соблазн самому сесть в манделобус и переключить его управление с автоматического режима на ручной. Думаю, было бы увлекательно прокатиться по завиткам множества Мандельброта, осматривая их окрестности. Например, уже вдали от множества можно встретить его миниатюрные копии, как бы свободно плавающие на плоскости. По утверждениям математиков, множество Мандельброта на самом деле связано, так что можно доходить на манделобусе до каждой мини-копии множества. Однако маршрут не будет похож ни на одну земную дорогу. Если последовательно увеличивать практически любую из ветвей, окружающих множество Мандельброта, то видны будут лишь цепочки крошечных черных островков, которые кажутся не связанными друг с другом. Конечно, мы найдем цепочки более мелких островков между крупными островами, однако непрерывная дорога встречается редко или вообще не обнаруживается ни при каком увеличении.

А теперь я уступаю роль гида некоторым из наших читателей, которые после многочасовых исследований и тонкой художественной настройки создали замечательные изображения множества. Так, У. Стриклер из Баулдера (шт. Колорадо) прислал изображение под номером 1. Названное «павлином», оно было построено



«Спираль» (слева) и «мини-Мандельброт» (справа)

программой, которую Стриклер написал для своего компьютера «Амига». Значения a в его программе менялись в пределах от $-0,750$ до $-0,746$, а значения b - от $0,0986$ до $0,1014$. Степень увеличения для изображения, полученного Стриклером, нетрудно подсчитать по вышеприведенной формуле. Меньшая сторона прямоугольника, в котором разместилось изображение, имеет длину $0,0028$. Подсчитав обратную величину ($1/0,0028$), получим увеличение, примерно равное 357 .

Изображения 2, 3 и 4 заимствованы из журнала «Amugdala», издаваемого Р. Силвером в Сан-Кристобале (шт. Нью-Мексико). На изображении 2, построенном Дж. Джонсом из Бернаби (Британская Колумбия), в увеличенном виде показана хвостовая часть «морского конька». Морские коньки являются неотъемлемым элементом мини-копий множества Мандельброта, очерчивающих линию, которая отделяет восточную часть от западной части множества. Практически любой морской конек даст аналогичное изображение, если правильно подобрать увеличение и цвета.

Изображение 3 названо «каналом любви» и было получено А. Ламансом из Вартбурга (шт. Теннесси). Думаю, что это название относится к одному очень загрязненному месту неподалеку от Ниагара-Фолса (шт. Нью-Йорк). Черная часть множества Мандельброта напоминает сточную канаву, наполненную токсичными веществами, в которой пытаются выжить странного вида водоросли. Центр этого изображения находится в точке с координатами $(0,235125; 0,82722)$ и показано оно при колоссальном увеличении в $24\ 800$ раз.

К. Филип из Фэрбанкса (Аляска), еще один из издателей журнала «Amugdala», достиг увеличения 54000 в изображении под номером 4, показывающем один из маленьких объектов, похожих на скипетр и разбросанных около морских коньков. Читатели, которые пожелают сами исследовать эту область, должны быть готовы к большой вычислительной работе. Центр данного изображения находится в точке $(-1,26446153; 0,04396696)$.

М. Адлер воспользовался сетью ЭВМ в исследовательском центре Аполло в Челмсфорде (шт. Массачусетс), чтобы рассчитать орнамент из спиралей на изображении 5. Читатели, желающие воспроизвести эту часть множества Мандельброта, должны будут выбрать подходящие цвета для значений a и b , изменяющихся соответственно в диапазонах между $0,31186$ и $0,31458$ и между



Россыпи драгоценных камней в изображении, полученном Дж. Крамом

$0,75322$ и $0,75594$. Чтобы построить такое изображение, необязательно прибегать к сети ЭВМ (увеличение здесь равно 368), если, конечно, вам не нужно, чтобы оно было построено за несколько секунд.

Изображение 6 получено Р. Спрутом и сфотографировано Р. Макколи из Сан-Франциско (шт. Калифорния). Изображение показывает одну из мини-копий множества Мандельброта, отпочковывающихся от родительского тела по бокам. Увеличение здесь приблизительно равно 20 .

Печатая фрагменты множества Мандельброта на бумаге, можно получить такие же красивые изображения, как и на экране дисплея. На картинке 7 видно, как Дж. Краму, научному сотруднику из Луисвилла (шт. Огайо), удалось запечатлеть россыпи рубинов, изумрудов, аметистов и других драгоценных камней, свидетельствующих о неисчерпаемых богатствах множества Мандельброта, таящихся неподалеку от той области, которую показывает изображение, полученное Спрутом. Однако в данном случае Крам решил не закрашивать черным цветом точки, принадлежащие самому множеству. В правой части изображена мини-копия множества Мандельброта, покрытая серыми полосами.

Теперь любители могут получать подобные изображения значительно быстрее, чем это раньше было возможно при использовании домашнего компьютера. Например, можно применить алгоритм Мариани, назван-

ный по имени Р. Мариани, работавшего программистом в Научно-исследовательском центре провинции Онтарио в Торонто (Канада). В основе алгоритма лежит простая идея: если пиксели, находящиеся на границе прямоугольной области, уже окрашены черным цветом (т. е. в отношении соответствующих им точек установлено, что они являются членами множества Мандельброта), то все пиксели, лежащие в ограниченном ими квадрате, также будут черными. Другой «быстрый» алгоритм был описан У. Фишером в его замечательной новой книге «Наука фрактальных изображений» («The Science of Fractal Images»), вышедшей под редакцией Х.-О. Пайтгена и его коллеги Д. Зупе из Бременского университета. Быстрота этого алгоритма объясняется тем, что он не вычисляет точки, принадлежащие множеству Мандельброта. Вместо этого он разбивает прилегающую к нему зону на тысячи дисков неодинакового размера и ограничивает вычисления только этими дисковыми областями.

Тем американским читателям, у кого нет времени или желания исследовать множество Мандельброта на своих собственных компьютерах, можно порекомендовать видеокассету под названием «Только увеличения» («Nothing but Zooms»), выпущенную компанией ART MATRIX в Итаке (шт. Нью-Йорк). Она содержит потрясающие фрактальные изображения, на которые было затрачено более 40 тыс. долл. в уплату за ма-

шинное время, потребовавшееся для их построения в Корнеллском национальном центре суперкомпьютеров.

В НАШЕЙ декабрьской статье, посвященной шифровке и расшифровке сообщений, утверждалось, что зашифрованный текст одним человеком (или машиной) может быть расшифрован другим человеком (другой машиной). На самом деле существует одно хорошо известное исключение из этого правила, но в той статье уже не было места, чтобы сказать об этом. Незашифрованное сообщение, полученное мною от Дж. Шуи, студента из Такома-Парка (шт. Мэриленд), напомнило мне о так называемом одноразовом блокноте. В простой версии этой системы кодирования используется цепочка случайных целых чисел от 0 до 25, при помощи которых кодируется каждая буква алфавита в исходном тексте сообщения. При этом *i*-я буква сообщения кодируется числом со сдвигом на *n* позиций по алфавиту, где *n* определяется как *i*-е случайное число кодирующей цепочки.

Криптографы называют такую цепочку случайных целых чисел блокнотом: он «одноразовый», потому что, закодировав сообщение, им больше не пользуются. Конечно, получатель текста, зашифрованного этим способом, также должен располагать точно таким же блокнотом. Подобный код расшифровать невозможно, потому что в зашифрованном сообщении нельзя уловить ни малейшей закономерности. Сам Шуи генерирует одноразовые блокноты по представлению букв алфавита внутри компьютера.

По мнению Дж. Миченера из Принстона (шт. Нью-Джерси), существуют довольно простые алгоритмы кодирования, отличающиеся от метода одноразовых блокнотов, которые не только можно применять в программах для домашнего компьютера, но с их помощью получать коды, чрезвычайно трудно поддающиеся расшифровке. Эти алгоритмы основаны на удалении лишней информации из сообщения и сжатия его в минимально возможную цепочку битов. Затем сжатое сообщение подвергается операциям перестановки и замены битов. Миченер, написавший несколько научных статей по криптологии, утверждает, что «такой код будет слишком сложным, для того чтобы какой-нибудь любитель (или даже профессионал) смог расшифровать сообщение».

Несколько читателей указали на два солидных издания, которые могут заинтересовать нашу аудиторию. Первое - это книга под названием

«Машинная криптография и современный криптоанализ», написанная С. Девуарсом и Л. Кру (С. А. Deavours, L. Kruh. «Machine Cryptography and Modern Cryptanalysis»). Второе - это ежеквартальный журнал «Криптология», одним из редакторов которого является тот же Кру.

И наконец, говоря о публикациях, нельзя не упомянуть о периодическом издании «REC», посвященном всевозможным головоломкам. Журнал «REC» (от слов Recreational and Educational Computing - занимательные и познавательные вычисления) выходит в США под редакцией М. Эккера.

Наука и общество

Мыши на продажу

В ЭТОМ году в мышинном питомнике Чарльз-Ривер появились новые обитатели - так называемые онкомыши. Скоро там будет несколько сотен генетически идентичных особей. Эти животные, которые являются продуктом генетической инженерии, прямо-таки выпрыгнули из научных лабораторий на первые страницы газет по всей стране прошлой весной, когда Бюро патентов и коммерции США выдало Гарвардскому университету первый патент на трансгенное животное. Данная линия мышей обладает врожденной предрасположенностью к развитию рака в результате того, что в геном внесен соответствующий ген. Ученые рассчитывают, что с помощью таких животных можно будет проверять новые методы лечения рака и, поскольку они представляют собой лучшую модель заболевания, это позволит сократить расход лабораторных животных.

Новая линия получена сотрудниками Гарвардского университета Ф. Ледером и Т. Стюартом. Они ввели онкоген в мышинный эмбрион вскоре после зачатия. Свои исследования Ледер осуществил в основном на средстТВА компании Ои Pont (которая ранее занималась химическими препаратами), так что ей принадлежат коммерческие права на результаты его работы. Однако, по словам сотрудника Ди Pont А. Формана, который является менеджером по производству онкомышей, руководство компании *не ожидало, что в результате контракта с учеными будет* выведено «патентованное» животное. «Узнав о получении патента, я тотчас задался вопросом: как из этого сделать бизнес?» - вспоминает он.

Прошло около полугода и серьезные торговые сделки убедили администрацию Ди Pont в том, что онкомыши отлично вписываются в специализацию компании. Сказано - сделано. Из лаборатории Ледера взяли четырех таких животных и занялись их разведением. Как сказал Форман, «Ледер делает, мы извлекаем выгоду».

В Ди Pont начали с гетерозиготных особей (т. е. таких, в геноме которых содержится одна копия онкогена) и, скрещивая их, создали «племенное стадо» проверенных гомозиготных животных, несущих по две копии данного гена. В январе прошлого года на Чарльз-Ривер вплотную принялись за работу. Животных на продажу производят путем скрещивания самцов инбредной линии гомозиготных онкомышей с самками нормальных мышей также инбредной линии. В результате инбридинга получается генетически идентичное гетерозиготное потомство. Животных содержат в стерильном помещении, условия в котором контролируются автоматизированной системой. На тот случай, если данная линия спонтанно мутирует, ряд линий «законсервирован»: соответствующие эмбрионы хранятся в жидком азоте. Мышей транспортируют на автомашинах в специальных камерах, в которых поддерживаются определенные условия.

Компания Ди Pont вначале поставит онкомышей некоммерческим исследовательским группам и университетам по цене примерно 50 долл. за одну особь (со скидкой при закупке больших партий). По цене онкомыши конкурентоспособны с другими специальными линиями мышей, обычные же животные стоят гораздо дешевле - вплоть до 1 долл. за особь.

Конечно, отмечает Форман, ничто не препятствует исследовательским лабораториям самим разводить онкомышей. Но хотя в Ди Pont рассматривалась возможность продавать животных только одного пола или стерилизованных с целью охраны своих патентных прав, в конце концов было принято решение положиться на честность и на то, что очень часто в исследованиях необходима уверенность в генетической однородности используемых животных.

Поскольку патент распространяется на всех возможных трансгенных млекопитающих (кроме человека) с онкогенами, а таких генов известно около 40, Форман полагает, что трансгенные мыши - только начало

этого направления деятельности Du Pont. Компания планирует связаться с исследователями, получившими собственных онкомышей, с одной стороны, с целью потребовать от них уплаты лицензионной пошлины, а с другой - предложить им сотрудничество в производстве трансгенных животных. Так или иначе Du Pont не намерена ставить ученым палки в колеса, заявил Форман.

Первые впечатления

САЛЬВАДОР ДАЛИ, желая получить на медной панели необычный рисунок, однажды взорвал на ней взрывное устройство, начиненное гвоздями. Многие из художников также используют взрывчатые вещества при создании своих работ, однако получаемые ими результаты обычно непредсказуемы. И вот Эвелин Розенберг - скульптор, работающая в институте горного дела и технологии в шт. Нью-Мексико, удалось использовать энергию взрыва для создания барельефов из латуни, меди и нержавеющей стали.

В одном из недавних номеров журнала «Леонардо», специализирующегося на описании технических средств, применяемых в изобразительном искусстве, помещена статья Розенберг, где она пишет, что ее первые попытки были неудачными. Иногда при взрыве в металлических листах образовывались дыры или они вообще разлетались на куски. После 80 попыток ей наконец удалось контролировать такие переменные, как толщина слоя металла и энергия взрыва, что необходимо для создания барельефов, которые Розенберг называет детонографами. Она уже изготовила 70 детонографов, 7 из которых в настоящее время висят над входом в Музей национальной истории в Альбукерке (шт. Нью-Мексико).

Создавая детонографы, Розенберг сначала вылепливает барельеф в гипсе, служащий ей шаблоном, затем она покрывает шаблон листом из латуни, меди или нержавеющей стали размером 0,9 х 1,2 м, на которую иногда помещает металлическую фольгу, кусочки ткани, бечевку и листья. В том месте, где производится взрыв (Сокорро, шт. Нью-Мексико), техник покрывает слои названных материалов пластиковым взрывчатким веществом марки C-I Datasheet, производимым концерном «Дюпон де Немур» и состоящим из тетранитрата пентаэритрита, нитрата целлюлозы и пластичного связующего вещества.

При взрыве, порождающем огненный шар диаметром 6 м, металлический лист вдавливаются в форму, в ре-



БАРЕЛЬЕФ, носящий название «Силы и знаки», изготовлен из нержавеющей стали, меди и латуни «взрывным» методом Эвелин Розенберг. Ширина барельефа, который находится в настоящее время в одной из средних школ шт. Мэриленд, составляет 1,2 м. (Фотография Джерри Гоффе.)

зультате образуется металлический барельеф, сама же форма разрушается. За счет огромного давления, возникающего при взрыве, цветная фольга впрессовывается в металл, придавая барельефу цветную окраску. Кусочки ткани, бечевка и листья при взрыве ударяются о панель со скоростью 6800 м/с и сгорают, оставляя на ней следы, благодаря чему барельеф имеет текстурированную поверхность. Создание детонографа завершается его очисткой и полировкой поверхности.

Хотя изделия, подобные детоно-

графам, можно изготавливать методом объемной штамповки (используя листы из мягкого металла), Розенберг считает, что ее метод более подходит для создания авторских работ, кроме того, он относительно недорогой и требует меньших затрат времени. Ее метод позволяет также впрессовывать один вид металла в другой, что невозможно при использовании других способов. Розенберг замечает: «я ощущаю себя не только скульптором, но и человеком, которому подвластна чудесная и неисчерпаемая энергия взрыва».

Приливы и отливы; ядовитые морские животные; тайна зомби



ФИЛИП МОРРИСОН

ПРИЛИВЫ: 1989 г. (четыре книги: Северная Калифорния, Южная Калифорния, побережье шт. Массачусетс и залив Пьюджет-Саунд). Графики и подбор материала *Марка Алана Борна*. Данные по приливам: Национальная океанская служба, Национальное управление по исследованию океана и атмосферы; астрономические данные: Обсерватория ВМС США.

TIDELOG 1989 (four editions: Northern California, Southern California, the Massachusetts Coast and Puget Sound). Graphics and original compilation by *Mark Alan Bom*, tide data from the National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, astronomical data from U.S. Naval Observatory. Pacific Publishers (\$9.95).

ВРИТМЕ приливов и отливов слышится небесная музыка, исполняемая планетами. Однако если силам, вызывающим приливы, присуща гармония небесных сфер, то сами приливы и отливы «загрязнены» шумами: меняются их величина и время появления, они зависят сложным образом от рельефа берега и подвержены, хотя и немного, влиянию давления и ветра. Знание этих «шумов» на каждый день совершенно необходимо тем, кто хотя бы ненадолго выходит в море.

С таблицами приливов мы знакомы. Составленные в результате долгих наблюдений над ритмами приливообразующих сил и вычислений отклика океана \sim смело предсказывают \sim с небольшими ошибками из-за сюрпризов погоды - высоты приливов для бухт и судоходных путей вблизи всех населенных побережий. Длинные столбцы цифр, рассчитанных на много дней вперед для разных районов, незаменимы для моряков, но едва ли могут порадовать глаз рядового читателя. Причина - в технологии печати: набор цифр напечатать легко, изобразить графики до сих пор было гораздо труднее. Долгое время побеждало именно это практическое соображение, хотя на самом деле графический

способ лучше подходит для интерполяции и прогнозов.

Конечно, в таблицах высот приливов и отливов незримо присутствуют волнообразные линии, описывающие их зависимость от времени. В наши дни нарисовать с помощью компьютера эти красивые кривые стало делом несложным. Марк Алан Борн подобрал предсказания высот приливов по часам и дням текущего года для нескольких портов и представил расчеты в виде элегантных кривых (оставив рядом с ними место для заметок введливому читателю). На рисунках также указано время восхода и захода Солнца и Луны, фазы Луны и приблизительное положение и яркость «четырёх навигационных планет», даны сведения о таких небесных явлениях, как затмения и метеорные потоки. На кривых проставлены и значения скоростей течений при приливах и отливах.

В том, как приливы нарастают и убывают в течение года, усматривается сложная закономерность. В день рождения Джорджа Вашингтона (22 февраля) и 16 августа в этом году произойдут лунные затмения; в эти дни моряки должны быть внимательны: величина прилива будет очень небольшой, хотя и не самой маленькой в году. В отдельные дни колебания уровня моря теряют свою регулярность (два прилива и два отлива в сутки).

Построенные Борном кривые привлекают внимание, благодаря тому, что они даны на волнистой черно-белой сетке, взятой из космических гравюр М.С. Эшера. Вся информация, которая требовалась истари для плавания у побережья, дана в наглядном виде и позволяет представить, как ведут себя приливы и какие небесные явления им сопутствуют. Каждая из четырех книжек - это помимо прочего необычный содержательный календарь для тех, кто останется на суше, чтобы наблюдать за небом. Остается только надеяться, что большие официальные таблицы приливов и отливов в скором времени тоже превратятся в графики.

Брюс В. Холстед. ЯДОВИТЫЕ МОРСКИЕ ЖИВОТНЫЕ МИРА. Второе дополненное издание. POISONOUS AND VENOMOUS MARINE ANIMALS OF THE WORLD, By Bruce W. Halstead. Second revised edition. The Darwin Press, Inc. Princeton, N.J. (\$250).

Уэйд Дэвис. ПУТЬ ЧЕРЕЗ ТЬМУ: ЭТНОБИОЛОГИЯ ЗОМБИ ГАИТИ PASSAGE OF DARKNESS THE ETHNOBIOLOGY OF THE HAITIAN ZOMBIE, by Wade Davis. The University of North Carolina Press (\$29.95; paperback, \$9.95).

МОНОГРАФИЯ о морских животных - солидный научный труд, наподобие тех объемистых трактатов XIX в., которые традиционно писали по-немецки, - следует лучшим образцам. Издания такого рода ныне весьма редки, но еще появляются. Эта книга, написанная на английском языке, полнотой охвата материала удовлетворит даже самого скрупулезного читателя, который найдет в ней немало ценных малоизвестных сведений. Основанная на полевых, лабораторных и литературных данных, она снабжена множеством иллюстраций; 300 страниц заняты красочными рисунками; 1200 страниц текста содержат описания типов и классов всех царств морских организмов, от водорослей до моржей (здесь не рассматриваются экосистемы рек и озер).

Д-р Холстед начал свою работу во время второй мировой войны, когда он занимался поисками средств защиты военнослужащих США от малоизученных биотоксинов в океанах Австралоазиатского региона. Первый вариант книги (он представлял собой трехтомник) имел чисто практический интерес и был издан в одной из типографий правительства США. Теперешнее издание - самый последний и полный вариант - появилось благодаря щедрости двух частных лиц. Оставшиеся неточности напоминают читателю, как много времени заняло составление монографии.

Приведем два показательных примера из обширного материала о море. Первый пример - таинственная интоксикация, называемая цигуатерией. Список рыб, в которых обнаружен цигуатоксин, занимает 22 страницы; вполне вероятно, что у любой рыбы в тех или иных случаях можно найти это вещество. На основании ряда косвенных данных предполагают, что яд не вырабатывается самой рыбой, а приобретает ее от водородового звена пищевой цепи. Нетоксичные рыбы-хирурги, которые в аквариуме в течение полутора лет питались мясом токсичных рифовых красных

снэпперов, остались здоровыми, а у мангустов, евших мясо таких рыб-хирургов, наблюдалось отравление. Цигуатоксин химически не идентифицирован, и ни специфические противоядия, ни простые средства защиты неизвестны.

Жители атоллов очень боятся этой болезни и потому лучше всех знают, как ее избежать. На Гавайях разрабатывается иммунологический тест *in vitro* с использованием овечьих антител к токсину. А пока что рекомендуемый тест - дать кусочек подозрительной рыбы котенку. Отравление редко бывает смертельным. Во Французской Полинезии зарегистрированы только 3 смертных случая на 3000 человек с симптомами отравления. Легкие случаи сводятся к желудочно-кишечным расстройствам; более тяжелые сопровождаются поражением нервной системы, что проявляется в параличе, онемении, судорогах и необычном нарушении чувствительности - пострадавшие путают горячее и холодное (известен случай с морским офицером, который через 4 недели после острой цигуатерии дул на мороженое, желая охладить, так как ему казалось, что мороженое жжет язык).

Тетродотоксин встречается в основном у иглобрюхих рыб (четырёхзубых из семейства Tetraodontidae), но не только у них. Он обнаружен, например, в яйцах тритона, коже лягушки и у осьминога *Halalochlaena maculosa*. Употреблять в пищу рыб-собак и иглобрюхов опасно. Однако в США атлантические иглобрюхи издавна продаются. А в Японии один из родов иглобрюхих, известный под названием фугу, подают как деликатес в ресторанах. Для японцев фугу более серьезная угроза, чем ядовитые грибы или молнии: ежегодно происходит более 100 случаев отравления тетродотоксином и свыше 30070 из них кончаются смертельным исходом. Правда, считается, что если удалить кожу, печень и яичники, то в руках умелого повара фугу не ядовита. Однако настоящие любители этой рыбы, как говорят, испытывают от нее такое наслаждение, что готовы есть даже потенциально опасную печень.

Тетродотоксин был выделен и полностью охарактеризован 25 лет назад, а позже его удалось синтезировать. Молекула этого соединения сравнительно невелика: она состоит примерно из 50 атомов С, N, O и H. Упрощенно ее структуру можно представить как несколько причудливо соединенных колец. Механизм действия токсина состоит в том, что он избирательно блокирует натриевые каналы в мембранах нервных клеток. Смер-

тельная для человека доза - порядка миллиграммов. Такой же токсичностью обладает другой паралитической Яд, содержащийся у некоторых моллюсков, которые приобретают его от фитопланктона красного прилива. Этот нейротоксин, молекула которого еще меньше, подавляет синтез нейромедиатора ацетилхолина в местах нервно-мышечных контактов.

Тетродотоксин вызывает смерть в результате восходящего паралича, заканчивающегося асфиксией. Суть конечного этапа такой постепенной потери подвижности не ясна. В 1880 г. в Японии произошли два необычных случая: отравившиеся фугу люди, которых сочли умершими и по каким-то причинам несколько дней не хоронили, неожиданно успели ожить, причем заявили, что все это время были в сознании. Есть и современные сообщения о сходных инцидентах, в частности один из них случился в Австралии.

ОТГОЛОСКИ сверхъестественного слышатся в книге этнобиолога Уэйда Дэвиса, описавшего зомби Гаити. Он рассказывает о случаях, когда людей умышленно отравили («убили порошком») и быстро похоронили. И хотя «смерть» была подтверждена врачами (правда, без проверки - ни древним методом на разложение, ни

современным методом на отсутствие активности головного мозга), они воскресли! Дэвис внимательно наблюдал за ходом этого пышного религиозно-социального обряда и заметил, что в приготовлениях всегда есть один постоянный компонент - мясо местного иглобрюха. Служители культа зомби утверждают, что не используют никакого секретного противоядия. Как считает автор, медленно и осторожно введенная доза тетродотоксина самопроизвольно исчезает из организма через несколько дней после похорон. Если все прошло удачно, воскресшую жертву, испытывшую ужас быть заживо погребенной в могиле, немедленно кормят блюдом из растения, называемого огурцом зомби и содержащего такие вещества, как скополамин, которые вызывают потерю памяти и способности к ориентированию. Поскольку жизнь человека была прекращена «высшими силами» и его похоронили, он для общества мертв и в общем-то не может протестовать против роли зомби - существа, полностью зависимого, раба своих повелителей. «В результате отравления (одурманивания) зомби переходит в новую форму существования». Фармакологический процесс поддерживается древним культом. Зомби как бы выращивают на нейротоксинах.

Наука и общество

Будущее термоядерных реакторов

СУДЯ ПО ВСЕМУ в исследованиях, связанных с получением термоядерной энергии, наступило затишье. Никогда не были столь очевидными опасные последствия сжигания природного топлива, когда в атмосферу выбрасываются газы, влияющие на изменение климата, и применения реакций деления ядер, в результате которых образуются опасные для жизни и долгоживущие радиоактивные ОТХОДЫ в то же время никогда раньше ученые, ведущие исследования в области термоядерного синтеза, не были столь уверены, что им удастся разработать реакторы, которые будут производить энергии больше, чем потреблять. Но даже наиболее оптимистично настроенные специалисты считают, что перспективы в отношении практического использования термоядерной энергии далеко не ясны. «Нет сомнения в том, что мы сможем использовать термоядерную энер-

гию, - заявил В. Стодик из Принстонской лаборатории физики плазмы, специалист с 30-летним стажем. - Вопрос в том, не окажется ли это слишком сложным и дорогим делом».

Когда-то полагали, что термоядерные реакторы будут работать на дешевом неисчерпаемом по своим запасам топливе и что они будут почти безопасными. Оказалось, однако, что такие генератор энергии потребуют для своей работы необычных дорогостоящих видов топлива и будут создавать огромные количества радиоактивных отходов. Кроме того, самые малые термоядерные реакторы, какие только можно построить, по размерам и сложности были бы почти такими же, как и самые большие современные атомные реакторы, а возможно, они были бы даже больше. Похоже, что в ближайшее время правительства США и других стран вряд ли согласятся выделить несколько миллиардов долларов, необходимых для строительства опытных образцов огромных генераторов; в более отда-

ленном будущем, даже если эти опытные образцы окажутся работоспособными, предприятия общественного пользования могут предпочесть вкладывать свои средства в менее грандиозные, но более надежные технологии.

Большинство крупных промышленно развитых стран, в том числе США, СССР, Япония и сообщество европейских стран, продолжают вести исследования в области термоядерной энергетики, но расходы на эти цели постоянно сокращаются. В США, где программа всегда была самой действенной, финансирование на эти цели сократилось почти вдвое со времени наиболее активных работ по данной программе в конце 70-х годов, когда арабские страны ввели эмбарго на экспорт нефти, и в нынешнем году составят немногим более 500 млн. долл. В этих условиях в конкурирующих исследовательских организациях, естественно, возникли разногласия в отношении того, как следует расходовать ограниченные средства. «Сейчас среди тех, кто причастен к этой области, выска-

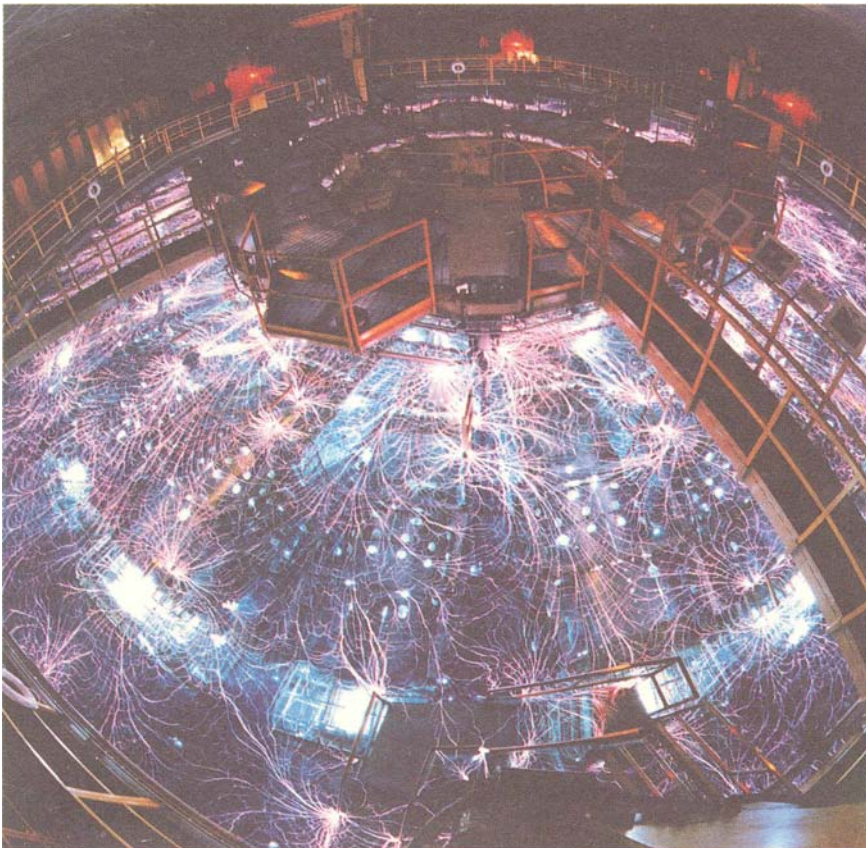
зывается немало взаимных упреков, - признает Дж. Кларк, курирующий термоядерные исследования по заказам министерства энергетики США, - но специалисты делают все от них зависящее.

Все исследователи стремятся к одной и той же цели: обуздать энергию, которая заставляет светиться звезды и взрываться термоядерные бомбы. В отличие от реакции деления ядер, происходящей при распаде ядер тяжелых элементов, таких как уран, реакция синтеза происходит в тех случаях, когда два ядра - обычно легких элементов, например, водорода или гелия - сливаются в одно; этот процесс сопровождается выделением энергии. В течение последних 40 лет предлагалось немало схем, которые, по мнению ученых, должны были вызывать синтез ядер, но из-за недостатка средств исследования в этой области свелись к рассмотрению двух вариантов, считавшихся потенциально наиболее обнадеживающими: традиционного метода, основанного на

магнитном удержании плазмы, и бурно взявшего старт в начале 60-х годов метода инерциального удержания.

Метод магнитного удержания начал развиваться в начале 50-х годов и до сих пор этот подход остается наиболее широко исследуемым - на эти цели расходуется более двух третей всех средств, отпущенных в США на научные исследования, а в мировой практике их доля еще выше. Он применяется для нагревания и сжатия плазмы (газа, в котором молекулы лишены электронов), удерживаемой магнитным полем. Изобретение советскими физиками тороидальной камеры, называемой токамаком, послужило переломным моментом в исследованиях в данной области в конце 60-х годов. Несколько токамаков, включая испытательный термоядерный реактор-токамак TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor) в Принстоне и токамак JET (Joint European Torus), созданный совместно европейскими странами и находящийся в Калхеме (Великобритания), работают на плазме, температура которой превышает температуру в недрах Солнца, но ни один из них не способен удерживать плазму более чем на мгновение, после которого она разлетается, ее давление и температура падают и в ней появляются нежелательные примеси за счет контакта со стенками рабочей камеры. Кроме того, все эти установки не достигают по крайней мере на порядок точки зажигания - температуры, при которой в реакции синтеза создается достаточно энергии для развития самоподдерживающейся реакции.

Вплоть до настоящего времени использовалась плазма преимущественно из дейтерия, тяжелого изотопа водорода, содержащегося в морской воде и не являющегося радиоактивным. Когда-то ученые надеялись, что дейтерий будет вполне пригодным топливом для термоядерных реакторов, но очень скоро стало ясно, что энергии, выделяемой в реакции синтеза дейтерия, недостаточно. Большинство исследователей сейчас отдают предпочтение комбинации дейтерия с тритием, еще более тяжелого изотопа водорода, используемого в термоядерных бомбах. При реакции синтеза в дейтерий-тритиевой среде может выделяться энергии в 200 раз больше, чем в дейтериевой среде. Хотя тритий в природе встречается редко, его можно получать в так называемых реакторах-размножителях путем облучения лития потоком высокоэнергичных (быстрых) нейтронов. Поскольку при реакции дейтерия с тритием образуется большое количество быстрых нейтронов, термоядерный реактор с литиевым покрытием сте-



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ во время генерации импульса легких ионов создают своеобразный узор на поверхности воды системы охлаждения ускорителя пучков элементарных частиц (модель 11) Снимок сделан в Национальных лабораториях в Сандии. Министерство энергетики США рассматривает вопрос о применении такой установки в качестве «драйвера» в усовершенствованной конструкции системы инерциального удержания плазмы. Создаваемые этой установкой пучки с энергией миллион джоулей имеют большую мощность, чем пучки любого лазера, но в то же время их намного труднее сфокусировать.

нок (бланкетом) может сам производить тритий для собственных НУЖД. Тепловая энергия, выделяемая литиевым бланкетом, может использоваться также для получения пара, подводимого к паровым турбинам.

Однако эта схема не лишена недостатков. Получение топлива в самом реакторе вызывает много проблем (они хорошо известны из практики эксплуатации современных реакторов-размножителей, находящихся в ведении военного ведомства США). Создание реактора с литиевым бланкетом представляет собой исключительно трудную конструкторскую задачу, поскольку литий обладает высокой химической активностью и взрывоопасен. Кроме того, сам тритий радиоактивен, а быстрые нейтроны, образующиеся при слиянии его ядер с ядрами дейтерия, в конце концов могут привести к тому, что рабочая камера реактора станет источником радиации. Хотя излучение, испускаемое в этом случае, не столь долгоживущее и не так опасно, как у реакторов деления на современных атомных электростанциях, борьба с ним, как в период работы реактора, так и после его закрытия, значительно увеличит общие эксплуатационные расходы.

Некоторые исследователи, например Б. Коппи из Массачусетского технологического института, являются сторонниками соединения дейтерия с гелием-3, нерадиоактивным изотопом гелия. Эта реакция сопровождается выделением большого количества энергии и является «чистой» с точки зрения радиоактивности: в ней не образуются нейтроны. Гелий-3 мало распространен на Земле, но так же как и тритий, может образовываться при бомбардировке легких элементов быстрыми нейтронами. Некоторые специалисты предлагали также доставлять гелий-3 с Луны, где, как полагают, он образуется в большом количестве в результате воздействия солнечного ветра. Проблема заключается в том, что по сравнению с реакцией синтеза дейтерий - тритий зажигание реакции дейтерий - гелий-3 потребует более высоких температур и, следовательно, придется сооружать мощный и дорогой реактор с надежной защитой от радиоактивного излучения.

Министерство энергетики США планирует построить в Принстоне компактный реактор-токамак (Compact Fusion Tokamak), в котором должна зажигаться дейтерий-тритиевая плазма. Его строительство обойдется по меньшей мере в 400 млн. долл., и он будет готов для проведения экспериментальных работ к 1996 г. Эта установка не будет опытным образцом в

принятом смысле: горение плазмы в ней будет продолжаться всего 5 или 10 с и она не будет оснащена никаким оборудованием, преобразующим энергию синтеза в электрическую энергию. Тем временем США, СССР, Япония и европейские страны рассматривают вопрос о строительстве полномасштабного опытного образца генератора под названием «Международный экспериментальный термоядерный реактор (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor), который, возможно, будет пущен в начале следующего столетия. Предполагается, что международная группа ученых разработает конструкцию этого генератора к концу 1990 г. и тогда страны-участницы решат, стоит ли продолжать работу над проектом.

В отношении основных элементов конструкции ITER уже сейчас существуют разногласия. Большинство разработчиков считают, что нужно строить высокопроизводительный реактор, который был бы оснащен сверхпроводящими электромагнитами и вырабатывал примерно 1000 МВт тепловой энергии, т. е. столько же, сколько и большой современный атомный реактор. Установка, имеющая большие мощность и размеры, представляется слишком огромной для практического использования. Однако П. Ребут, главный конструктор, а теперь и директор европейского токамака JET, который считается одним из самых перспективных в мире, высказывается за строительство очень большого реактора мощностью 3000 МВт с обычными, а не сверхпроводящими магнитами. Реактор меньших размеров и менее защищенный от радиоактивного излучения, как сказал Ребут, возможно, окажется нерентабельным. Что касается США, то для них эта проблема, наверное, будет предметом активных дебатов. По мнению некоторых обозревателей, США вряд ли примут участие в строительстве международного реактора из-за его высокой стоимости (не менее 2 млрд. долл.) и опасности того, что передовая американская технология станет достоянием других стран, особенно Советского Союза.

В отношении метода инерциального удержания, идея которого родилась в середине 60-х годов в результате исследований в области лазерной техники, ведется еще больше дискуссий. Если в основе магнитного удержания лежит стремление воссоздать процессы горения, протекающие в звездах, то при инерциальном удержании нужно в миниатюре воспроизвести термоядерный взрыв. Идея сво-

дится к тому, чтобы взорвать небольшую шарообразную капсулу с дейтерием и тритием, равномерно облучая ее со всех сторон; в результате направленного внутрь взрыва в топливе возникнут плотность и температура, необходимые для зажигания. Официальная цель американской программы инерциального удержания сводится не к тому, чтобы получить новый вид энергии, а к тому, чтобы помочь исследователям в изучении физических процессов, которые могут быть использованы в военных целях. Правительство США засекретило многие аспекты этой программы и наложило запрет на любое сколько-нибудь значительное международное сотрудничество. Большинство специалистов, занимающихся инерциальным удержанием, тем не менее утверждают, что их основная задача заключается в том, чтобы создать то, что можно назвать «источником энергии для всей планеты».

В первые годы исследований в этой области, полные головокружительных надежд, некоторые ученые предполагали, что для достижения зажигания потребуется лазерное излучение с энергией не больше нескольких сот джоулей (лампочка мощностью 100 Вт излучает 100 Дж/с). С течением времени расчетная величина этого показателя увеличилась, одновременно возросли и сомнения относительно возможности технического решения проблемы. Полученные в последнее время результаты секретных экспериментов под кодовым названием "Centurion-Halite", проведенные на испытательном полигоне в шт. Невада, вселили надежду в успех применения инерциального удержания. В этих экспериментах зажигание достигалось путем облучения капсул с тритием и дейтерием рентгеновским излучением от подземных ядерных взрывов. Сторонники инерциального удержания утверждают, что проведенные эксперименты показали то, чего так не достает пока системам с магнитным удержанием, а именно демонстрации правильности принципа. Все, что требуется сделать теперь, - так это построить «драйвер, или источник энергии, который привел бы к таким же результатам. С этой целью, как заявил Д. Бикслер, официальный представитель этого министерства из управления по разработке систем инерциального удержания, министерство энергетики США рассматривает сейчас вопрос о создании в конце 90-х годов лабораторных установок микросинтеза.

Ряд лабораторий соревнуется за первенство в разработке конструкции драйвера. Пока еще не ясно, насколько

ко мощным и какой формы он должен быть. По мнению большинства исследователей, результаты эксперимента "Centurion-Halite" показали, что для зажигания мишеней необходима энергия не более 10 млн. джоулей. Это более чем в 100 раз больше, чем может обеспечить крупнейший в мире лазер на неодимовом стекле «Нова» в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса. Э. Сторм, возглавляющий проводимые в этой лаборатории исследования по инерциальному удержанию, считает, что лазер типа «Нова», но более мощный мог бы быть использован в качестве драйвера в установке микросинтеза. Он отмечает, что усовершенствованный лазер «Нова» будет лучшим драйвером, поскольку из всех существующих драйверов на нем получены наилучшие результаты по сжатию и нагреву мишеней.

Исследователи из других лабораторий указывают, что для данных целей лазеры на стекле малоэффективны (лазер «Нова», например, преобразует менее 1% потребляемой им электрической энергии в световую) и к тому же они могут подвергаться перегреву. Кроме того, лазеры на стекле очень дороги. Лазер «Нова» обошелся более чем в 200 млн. долл., а лазер, превосходящий его по мощности более чем в 100 раз, по расчетам, может стоить не меньше чем в 10 раз дороже. Министерство энергетики США рассматривает возможность применения других драйверов, в том числе криптон-Фторового газового лазера в Лос-Аламосской национальной лаборатории, ускорителя легких ионов в Национальных лабораториях в Сандии, а также ускорителя тяжелых ионов в Лаборатории им. Лоуренса в Беркли, но все эти установки находятся на стадиях предварительных испытаний и, как сообщил Бикслер, не лишены недостатков.

Бывший сотрудник Лос-Аламосской лаборатории физик Л. Машерони, заняв в дебатах по поводу ITER ту же позицию, что и Ребут, заявил, что те, кто считает, будто импульсы мощностью 10 млн. джоулей смогут зажечь мишени, слишком оптимистично интерпретируют результаты эксперимента "Centurion-Halite". По его мнению, если драйвер в установке микросинтеза не сможет обеспечить в 10 раз большую энергию, то полного зажигания никогда не произойдет. Он считает, что самый экономичный способ получить импульсы мощностью 100 млн. джоулей - это использовать фтор-водородный лазер. Машерони, который был уволен в начале прошлого года из Лос-Аламоса за то, что он не поддерживал официальную

линию лаборатории, пытается сейчас довести свою точку зрения до сведения конгресса и официальных правительственных чиновников.

Другим предметом спора является вопрос о том, каким образом достичь высокой степени равномерности облучения мишеней, необходимого для зажигания. В методе, известном как прямое лазерное сжатие, большое число лазерных пучков со всех сторон направляется на мишень. В другом методе, называемом непрямым сжатием, мишень помещается в середину полости, изготовленную из фольги, из золота или другого тяжелого металла. Облучающий пучок входит через отверстие в полость и испаряет металлическое покрытие; в результате падающее излучение преобразуется в рентгеновское, которое нагревает мишень. Поскольку аналогичный метод используется в системе инициирования реакции синтеза в термоядерных бомбах, подробности, касающиеся непрямого сжатия, относятся к секретным данным, однако сторонники этого метода считают, что "Centurion-Halite" и другие эксперименты свидетельствуют о том, что этот способ зажигания наилучший.

Возражают против этого сторонники метода прямого сжатия, в их числе сотрудники Лаборатории ядерной энергетики при Рочестерском университете и Научно-исследовательской лаборатории ВМС США в Вашингтоне. На основе анализа трудностей, с которыми пришлось столкнуться в прошлом при попытке обеспечить равномерное со всех сторон сжатие мишеней, они утверждают, что успехи последнего времени смогут позволить в ближайшем будущем достичь таких же результатов, как и при методе непрямого сжатия. Они далее указывают, что при прямом сжатии, которое не требует преобразования первичного излучения в рентгеновское, энергия используется намного эффективнее и, следовательно, можно применять драйвер меньшей мощности.

Когда эти спорные вопросы будут разрешены, в данной области останутся все же еще некоторые технические проблемы, не имеющие однозначного решения. Если предположить, что Машерони неправ и что мощности драйвера в 10 млн. джоулей окажется достаточно для зажигания плазмы, и если считать, что в режиме зажигания высвобождается в 100 раз больше энергии, чем лазерной энергии, необходимой для зажигания (как считают в Ливерморской лаборатории им. Лоуренса), то тогда при каждом микровзрыве должна выделяться энергия в 1 млрд. джоулей -

это примерно соответствует взрыву 200 кг тринитротолуола. На установке Лаборатории микросинтеза, вероятно, будет производиться лишь один такой акт в день, как указывает Бикслер, в то время как на настоящем реакторе, по-видимому, их должно быть 5-6 в секунду. Какой же должна быть рабочая камера реактора, чтобы выдержать такие огромные повторяющиеся нагрузки? Было предложено несколько конструктивных вариантов, в том числе и такой, в котором предусматривалось омывание камеры потоком сжиженного лития. Но тогда, как и в случае с магнитным удержанием, встает вопрос о размерах реактора. Реактор, который производит, например, пять микровзрывов в секунду с энергией 1 млрд. джоулей, во много раз должен превосходить даже ту гигантскую установку, которую предложил Ребут.

Официальные представители министерства энергетики США твердо придерживаются мнения, что до тех пор, пока не будет найден какой-нибудь другой лучший источник энергии, исследования в области как магнитного, так и инерциального удержания плазмы должны продолжаться. Кларк даже предсказывает, что при достаточном финансировании со стороны правительства реакторы с магнитным удержанием плазмы могут появиться к 2020 г., а спустя 10-20 лет в качестве их конкурентов в строй войдут реакторы с инерциальным удержанием. А если кто-то изобретет дешевый и эффективный источник, преобразующий солнечную энергию? «Я думаю, что это было бы как раз то, к чему мы стремимся», - ответил Кларк.

Суперкомпьютеры: проблемы на пути к прогрессу

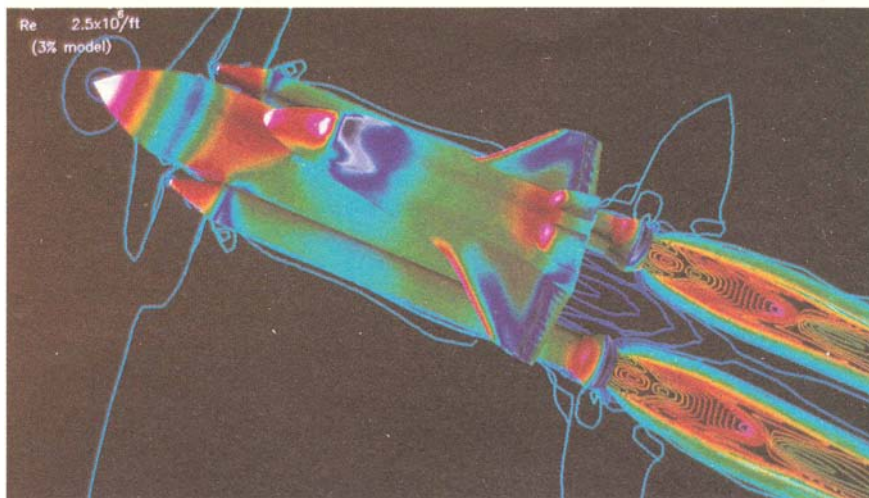
~Обычна, если у кого-нибудь возникло желание приобрести самый быстродействующий в мире компьютер, он отправлялся в Чиппева-Фолс (шт. Висконсин) побеседовать с Сеймуром Крэйем. Ставший легендарным уже для своих современников, Крэй по-прежнему конструирует и продает суперкомпьютеры, машины, стоящие многие миллионы долларов и решающие сложные расчетные задачи быстрее любой другой машины. К 1986 г., спустя десятилетие после того, как первый суперкомпьютер был выпущен компанией Cray Research, она уже получала неплохие прибыли - почти 125 млн. долл. в год - и установила более 120 машин, главным образом в государственных научно-исследовательских центрах США.

Компания Cray Research 80% выпускаемых ею суперкомпьютеров продает другим странам кроме Японии. Однако теперь ей приходится сталкиваться с усиливающейся конкуренцией в основном со стороны японских компаний, производящих машины, по быстродействию не уступающие самым мощным компьютерам "CRA У". Таким компаниям, как Cray, Control Data (которая тоже производит суперкомпьютеры) и другим стремящимся выйти на рынок, придется приложить немалые усилия, чтобы соперничать с гигантскими японскими производителями электронной техники, которые сами изготавливают необходимые компоненты, оснащены передовым технологическим оборудованием и обладают достаточными финансовыми средствами, чтобы уверенно выдерживать взлеты и падения спроса на суперкомпьютеры. Из американских компаний, пожалуй, лишь корпорация IBM, снова занявшая суперкомпьютерами, располагает для этого необходимыми ресурсами.

Заметим также, что, за исключением нескольких аэрокосмических, нефтяных и автомобильных компаний, американские промышленные предприятия пока относятся к суперкомпьютерам без особого энтузиазма. Потенциальные заказчики настаивают сейчас на комплектации этой техники разносторонним программным обеспечением, простыми в использовании системами и сетями передачи данных, которые сделали бы суперкомпьютеры доступными для большого числа исследователей. «Мы должны отказаться от старых подходов, когда целью было просто создание быстродействующих аппаратных средств, разрабатывавшихся в изоляции от всего остального мира, - говорит Дж.А. Роллваген, председатель правления фирмы Cray Research. - Быстродействующая техника является необходимым, но не достаточным условием успеха.

Для создания самых быстродействующих машин требуется не только сложнейшее оборудование, но и программное обеспечение. Высокопроизводительные интегральные микросхемы памяти, процессоры и другие компоненты должны быть очень плотно упакованы, чтобы максимально снизить расстояния, проходимые сигналами; алгоритмы, определяющие, как будет работать машина, и прикладные программы также должны быть эффективными.

До сих пор американские компании во главе с фирмой Cray и их японские конкуренты шли разными путями в разработке технических средств.



ДАВЛЕНИЕ ВОЗДУХА НА ПОВЕРХНОСТИ космического корабля многоразового использования типа "шаттл", возникающее менее чем через минуту после запуска. Расчет произведен на суперкомпьютере "CRA У-2", при надлежном Национальному управлению по авиации и исследованию космического пространства и установленном в исследовательском центре Эймса в Моффет-Филдсе (шт. Калифорния). Потребовалось 20 ч, чтобы выполнить расчеты по модели, включающей около 1 млн. точек.

Американские конструкторы повышают быстродействие своих машин, связывая в единую систему процессоры, одновременно решающие различные части задачи. Например, компьютер "CRA У-3", поставки которого начнутся в 1990 г., будет иметь 16 процессоров, что позволит достигать пика производительности в 16 млрд. операций с плавающей запятой в секунду. Однако, чтобы в полной мере использовать преимущества, связанные с таким быстродействием, пользователи должны будут научиться разбивать задачи на части так, чтобы они эффективно решались несколькими одновременно работающими процессорами. В современных японских суперкомпьютерах, напротив, упор делается на один специальный «векторный» процессор в сочетании с другими аппаратными средствами и программным обеспечением, позволяющими отыскивать идентичные операции в программе и выполнять их практически одновременно. (Американские компании в меньших масштабах используют средства векторной обработки.)

Подходы к программному обеспечению также различаются. В США изготовители суперкомпьютеров все больше ориентируются на операционные системы, основанные на широко распространенной системе "UNIX". На ней основано также множество прикладных программ, что позволяет (хотя и не без трудностей) выполнять эти программы на различных машинах. С другой стороны, японские компании Fujitsu, NEC и Hitachi создали

суперкомпьютеры со своими собственными операционными системами, чтобы обеспечить тем самым совместимость с большими универсальными компьютерами, выпускаемыми этими же фирмами. Как объясняет К. Миура, вице-президент фирмы Fujitsu America, такая практика помогает клиентам совершить главный переход от универсальных компьютеров к суперкомпьютерам. Но это означает также, что на японских машинах нельзя выполнять прикладные программы, основанные на операционной системе "UNIX". В настоящее время японские фирмы готовятся к использованию операционных систем, основанных на "UNIX".

У японских суперкомпьютеров диапазон чисел более ограниченный по сравнению с машинами фирмы Cray, но зато у них выше точность представления чисел. Способность оперировать очень большими числами-приобретает все более важное значение по мере того, как усложняются решаемые задачи.

Широкий ассортимент продукции, выпускаемой японскими компаниями, которые производят суперкомпьютеры, означает также, что они могут самостоятельно изготовлять все необходимые для своих машин компоненты. Cray и другие американские компании вынуждены полагаться на поставщиков, включая японских конкурентов, чтобы обеспечить свое производство комплектующими изделиями. С.С. Чен, бывший главный конструктор Cray Research, организовавший в 1987 г. свою собственную компанию

по производству компьютеров и получивший финансовую поддержку корпорации IBM, жаловался, что многие важнейшие компоненты, в которых он нуждается, не производятся американскими компаниями.

Роллваген отмечает, что пока компания Fujitsu проявила себя надежным поставщиком различных узлов для фирмы Сгау. В отделе полупроводниковых приборов компании Fujitsu ему сказали, что они предпочитают испытывать новые интегральные микросхемы в системах CRAY, а не в своих собственных компьютерах. Если бы японские поставщики отдавали предпочтение своим фирмам, то они без труда «задали бы нас, мы находимся в зависимости от них и, откровенно говоря, не имеем никаких альтернатив.

Недостаток квалифицированной рабочей силы и опыта в освоении современной технологии производства - еще один камень преткновения для фирмы Сгау. Аналогичные трудности будут, по-видимому, испытывать и более мелкие американские компании. Например, процессорные модули машины "CRAY-3", имеющие размер около 100 см², должны соединяться с другими модулями посредством 12000 проводов; только роботизированный сборочный конвейер может обеспечить точное изготовление подобных систем. Из-за трудностей, возникших при сооружении сборочной линии, выпуск компьютеров "CRAY-3" задержался более чем на 6 месяцев.

Задержка поставок продукции не только разочаровала клиентов; на нее остро прореагировала биржа Уолл-стрита. В конце октября стоимость акций фирмы Сгау упала на 17%, когда на бирже стало известно не только о снижении квартальных доходов, но и срыве поставок, а также о проблемах, возникших при разработке логических интегральных микросхем для "CRAY-3" и означавших, что компании придется затратить дополнительно около 10 млн. долл.

Несмотря на то, что компания Сгау и другие американские компании борются с нарастающей конкуренцией, для многих пользователей суперкомпьютеров, по-видимому, не так уж важно, какая фирма (или страна) производит самые быстрые компьютеры. Их продажа не повлияет на торговый дефицит. В 1988 г. сумма, полученная от продажи суперкомпьютеров во всем мире, составила около 1 млрд. долл. - менее четверти суммы, вырученной в США от продажи билетов в кинотеатры. «Выгоды, связанные с суперкомпьютерами, обусловлены не производством машин, а их использо-

ванием, - сказал сенатор от шт. Теннесси А. Гоур-младший на симпозиуме, состоявшемся осенью прошлого года в Национальной академии наук США.

Огромное быстродействие суперкомпьютеров, более чем в 1000 раз превышающее быстродействие мощного персонального компьютера, позволяет исследователям решать сложные задачи, которые иначе они вынуждены были бы излишне упрощать или вообще отказаться от их решения. К таким задачам относятся, например, моделирование воздушных потоков вокруг крыла самолета, локализация скрытых нефтяных залежей на основе обработки колоссального количества сейсмических данных или построение карты хромосомного набора человека. Более того, эти машины способны быстро превращать потоки данных в трехмерные изображения, благодаря которым исследователи могут неожиданно возникать новые решения. По словам С. Кейрина, директора суперкомпьютерного центра Калифорнийского университета в Сан-Диего, суперкомпьютеры - это «инструменты воображения. Главное, чтобы люди имели доступ к самым быстрым машинам, как добавляет Кейрин, и для них не так уж важно, где они сделаны».

«В свое время говорили, что нам не нужно производить электронные приборы широкого потребления или микросхемы динамической памяти с произвольной выборкой, - сказал А.К. Макадамс, экономист Джонсоновской высшей школы менеджеров при Корнеллском университете; теперь же наблюдатели с сожалением отмечают утрату позиций в этих отраслях промышленности.» Летом прошлого года Макадамс участвовал в подготовке доклада для Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (IEEE), в котором проводил мысль о том, что США должны иметь собственную сильную промышленность по производству суперкомпьютеров, если страна собирается стать основным пользователем этих машин.

Возможно, труднее всего будет добиться, чтобы суперкомпьютеры начали приобретать американские частные компании, независимо от страны, где они были произведены. Роллваген отмечает, что из 50 заказов на суперкомпьютеры фирмы Сгау, сделанных за 11 месяцев 1988 г., лишь 4 или 5 поступили от американских компаний; университеты закупили 18, правительственные учреждения - 15 и иностранные компании - 12.

Поскольку одно лишь программное обеспечение для высококлассного

суперкомпьютера может обойтись в 20 млн. долл., решиться на такую покупку очень нелегко. «Однако главная проблема, стоящая перед нами, заключается в том, чтобы приучить людей пользоваться суперкомпьютерами, - заявил К.Р. Перри, руководящий исследовательскими программами фирмы Eastman Kodak Research Laboratories. Робея перед суперкомпьютерами, научные работники по-прежнему предпочитают работать с компьютерами, к которым они уже привыкли. Как отмечает Э.А. Мэйсон, вице-президент в Атосо, партнерство с университетскими суперкомпьютерными вычислительными центрами предоставило бы сотрудникам частных компаний хорошую возможность научиться работать с этой техникой. Однако еще лучше, если мы добьемся того, чтобы программы одновременно выполнялись как на настольном компьютере, так и на суперкомпьютере; тогда работающие в различных частях страны специалисты при помощи сетевого оборудования могли бы пользоваться мощными средствами того или иного суперкомпьютера, независимо от места его расположения и от того, какой сети он принадлежит.

Неясное будущее

ПРОБЛЕМА глобальных изменений окружающей среды требует неотложного внимания. Это утверждение содержится в новом большом докладе «К вопросу о глобальных изменениях Национального совета по научным исследованиям (НСНИ). НСНИ, доклад которого известен тщательной проработкой тем, настроен пессимистично, поскольку процессы, происходящие в окружающей среде в результате деятельности человека, могут «угрожать экологии Земли».

Исследования по глобальным изменениям окружающей среды, возглавляемые Г. Муни из Станфордского университета, были проведены в тесном сотрудничестве с Федеральными организациями. На рассмотрение вынесен ряд первоочередных проектов, над которыми начнут работать американские ученые на начальном этапе Международной программы по геосфере и биосфере (МПГБ). МПГБ, разрабатываемая сейчас Международным советом научных обществ, начнет осуществляться в 1992 г. и продлится несколько десятилетий.

Единодушие, выраженное в докладе НСНИ, основывается на большом объеме собранных данных. Исследования, которые укрепили в обществе убеждение в существенном изменении

климата в ближайшие десятилетия, базируются в основном на моделях атмосферных процессов. В них учитываются два основных фактора: во-первых, усиливающийся «парниковый эффект», т. е. повышение температуры у поверхности Земли, вызываемое газовыми выбросами, во-вторых, уточнение стратосферного озонового слоя под воздействием хлорфторуглеродов и, как следствие, увеличение потока ультрафиолетового излучения, достигающего поверхности Земли.

В моделях использованы некоторые простые предположения о том, как будут реагировать на изменения климата водные бассейны, суша и живые организмы. Чтобы повысить точность прогнозов, необходимо проводить дальнейшие исследования, так как все части экосистемы связаны между собой потоками энергии и вещества: изменения в какой-либо одной из них вызывают изменения во всей системе.

НСНИ признал необходимым продолжать исследование влияния человеческой деятельности на окружающую среду и наоборот. Подчеркнута важность изучения истории климата Земли, геофизических процессов и реакции атмосферы на изменения потока солнечной радиации.

Правительства также начинают задумываться над проблемой антропогенных воздействий на климат. В ноябре 1988 г. в Женеве собралась межправительственная комиссия по климатическим изменениям, созданная по инициативе Всемирной метеорологической организации в соответствии с программой ООН по охране окружающей среды. Были организованы рабочие группы, призванные пересмотреть научное понимание этой проблемы и ее социально-экономические аспекты, а также выработать стратегию в этой области; состоялись и дискуссии о конвенции по защите атмосферы. В США к этому активно подключилась комиссия по наукам о Земле Федерального координационного совета по науке и технике: она рассмотрела вопрос об ассигнованиях на научные исследования и оказала содействие группе, руководимой Г. Муни.

Что касается федеральных ассигнований на эти исследования, то они невелики. На 1989 финансовый год сумма, выделенная для этих программ, составила 134 млн. долл., а с учетом сопутствующих Исследовательских работ - 1 млрд. долл. Исследования в таких областях, как меры по экономии энергии, практически не ведутся: в текущем году министерству энерге-

тики выделено на эти цели только 166 млн. долл. В то же время спутниковые системы, столь необходимые для контроля за изменением окружающей среды, такие как создаваемая НАСА Earth Observing System, могут стоить сотни миллионов. На некоторые действующие международные программы по исследованию изменений климата ассигнования могут быть даже урезаны.

Некоторые высказывания нового президента США Д. Буша относительно охраны окружающей среды вселяют надежду в ученых. Вместе с тем при нынешнем дефиците федерального бюджета выделить значительные средства на эти исследования

будет сложно. По мнению некоторых участников конференции по климату, проходившей в Вашингтоне в декабре 1988 г., США отстают почти от всех западных стран в отношении эффективности использования энергии. На конференции предлагалось ввести налог на выбросы углерода в качестве временной меры, чтобы уменьшить воздействие «парникового эффекта». Однако здесь все упирается в политические проблемы: во время своей предвыборной кампании Буш с одной стороны утверждал, что он стоит за охрану окружающей среды, с другой - что он против новых налогов. Будущее покажет, сумеет ли он разрешить эту дилемму.

Книги издательства „Мир“

Дж. Касселс
**Рациональные
квадратичные
формы**

1982, 23 л. Цена 3 р. 40 к.

В. Клингберг
**Лекции
о замкнутых
геодезических**

1982, 27 л. Цена 3 р. 40 к.

У. Флайгер
**Строение
и динамика
молекул.**

В 2-х томах

1982, 51 л. Цена 7р. 10 к.

**Методы
Монте-Карло
в статистической
физике**

1982, 26 л. Цена 2 р. 80 к.

**Оптическая
голография**
В 2-х томах

1982, 44 л. Цена 3 р. 80 к.

А. Пич
**Операторные
идеалы**

1982, 30 л. Цена 3 р. 80 к.

Х. Минк
Перманенты

1982, 12 л. Цена 1 р. 50 к.

Эти книги вы можете получить наложенным платежом,
направив заказ по адресу:
125315 Москва, Ленинградский проспект, 78,
магазин №19 «Мир»

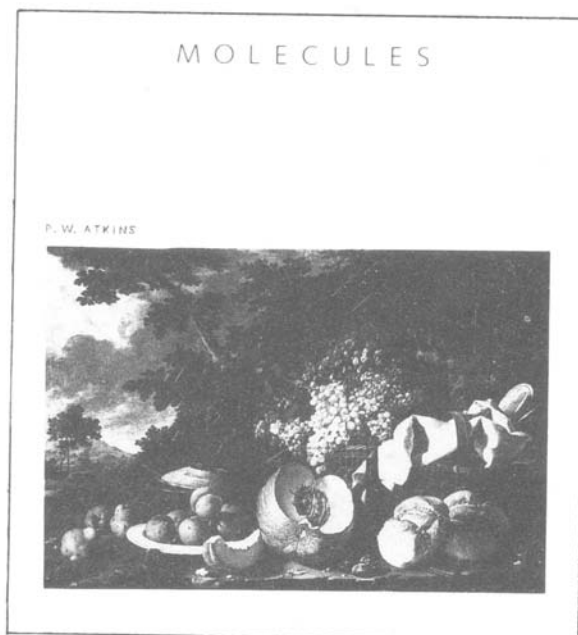


Вниманию читателей!

П. Эткинс

МОЛЕКУЛЫ

Перевод с английского



Многочисленные достоинства книги определяются прежде всего талантом ее автора ~ профессора Оксфордского университета П. Эткинса. Автор много и плодотворно работает в области физической химии. Ряд его трудов, в частности прекрасный учебник «Физическая химия» (М: Мир, 1980), оригинальная книга-словарь «Кванты» (М: Мир, 1977), переведены на русский язык и широко используются советскими химиками. Но П. Эткинс известен не только как автор «серьезной» научной литературы, но и как отличный популяризатор, умеющий доходчиво, наглядно, остроумно излагать и объяснять самые сложные понятия. Книга «Молекулы» читается легко и интересно, а хорошо выполненные и со вкусом подобранные многочисленные красочные иллюстрации помогают наглядно представить, о чем говорит автор.

Книга интересна и специалисту химику(он может почерпнуть из нее интересные примеры для своих лекций, семинаров, уроков в школе), и массовому читателю, практически почти не знакомому с предметом. Хорошо изданная книга будет отличным подарком для любого читателя.

18 л. Цена 2 р. 70 к.

На книги, выходящие в 1990 г., магазины научно-технической литературы принимают заказы с апреля - мая 1989 г.

Издательство заказы не принимает.





ФЕВРАЛЬ 1939 г. «Разработана новая технология производства металлических изделий. Без плавки и литья можно получать металлические «сплавы», а также необычные соединения таких разнородных материалов, как, например, металлы и абразивы. Эта, так называемая порошковая, металлургия - спекание материалов в твердом состоянии - уже начинает внедряться в производство».

«Безоблачная ночь никогда не бывает по-настоящему темной. На открытой местности ночью трудно ориентироваться лишь в тех случаях, когда облака полностью закрывают небо. Откуда же берется этот «ночной свет»? Фотометрические измерения показывают, что звезды светят слишком слабо. Согласно спектроскопическим исследованиям, разгадка лежит в верхних слоях атмосферы, где содержится большое количество атомов натрия, испускающих характерное излучение. В атмосферу же натрия попадает, по-видимому, с метеоритами, множество которых, как известно, сгорает на больших высотах».

«Среди технических устройств из алюминия появилось нечто необычное: предохранительный клапан Кристиансена для коров. Коровы зачастую так неумеренно поглощают люцерну, что наедаются до вздутия живота и могут даже погибнуть. Предохранительный клапан вшивается в бок животного на постоянный срок. Корова, «снабженная» этим устройством, может буквально проесть дорогу в поле люцерны без каких-либо нежелательных явлений: слышно только легкое посвистывание газов, выходящих через клапан».

«В промышленности все чаще используется сверхскоростная фото съемка, разработанная Гарольдом Эджертоном из Массачусетского технологического института. Например, фотография, приведенная на этой странице, может многое сказать специалистам по производству мячей и клюшек для гольфа. Затвор фотокамеры в данном случае оставался открытым, а в тот момент, когда игрок начал выполнять удар, замигали интенсивные вспышки света, каждая из которых фиксировала новое положение клюшки».

«Western Electric Company недавно объявила о создании переносного телефонного аппарата, в котором единственным источником питания служит голос говорящего. Секрет его действия - в маленьком, но мощном магните. «Голосовые токи» возбуждаются, когда в поле этого магнита под влиянием звуковых волн вибрируют металлические диафрагмы. Каждый аппарат снабжен маленьким рычажком для того, чтобы создавать звуковой сигнал (звонок) на другом конце линии».

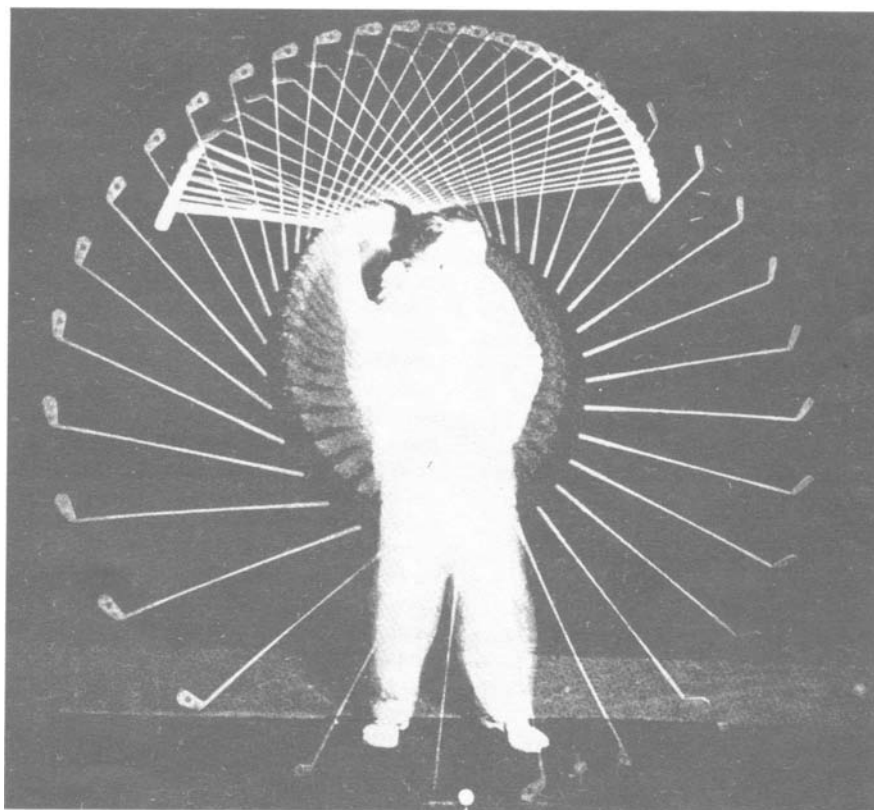


ФЕВРАЛЬ 1889 г. «Д-р М. Магинн, инженер-механик, разработал устройство для эффективного использования энергии движущейся воды и намерен использовать его на Ниагарском водопаде. В нижней части скалы, с которой падает вода, изобретатель предполагает проделать штрек такого размера, чтобы в нем уместились необходимые механизмы. В этой нише нужно установить на неподвижной основе подвижную раму, достаточно крепкую, чтобы выдержать стальное водяное колесо диаметром

60 футов с ведущей осью и цилиндрическими прямозубыми шестернями. К этому устройству будут подсоединены четыре гигантские динамо-машины, мощностью приблизительно по 2500 л.с. каждая. Подвижная рама может выдвигаться наружу или вдвигаться в штрек, что позволит регулировать количество воды, падающее на колесо».

«Многие улицы Астории (шт. Орегон) по своей крутизне не уступают улицам «холмистых» городков Новой Англии и создают все условия для такой старинной забавы, как катание с горок. Снег здесь выпадает редко, но климат настолько влажный, что если ночью подморозит, утром мостовые покрываются толстым слоем инея и превращаются в горки для катания».

«Компания Consolidated Gas Light, прокладывая несколько лет назад газовые трубы, воспользовалась возможностью провести внутри них телефонный провод, подвешенный на изоляторах. Результат превзошел все ожидания. Недавно при вскрытии газовой магистрали было обнаружено, что телефонный провод покрыт нафталином. Такая линия не боится самых сильных метелей и обеспечивает связь при любой погоде».



Высокоскоростная фото съемка по методу Гарольда Эджертона позволяет увидеть все детали удара при игре в гольф

Эссе

Президенту необходим эффективный научно-технический консультативный аппарат



УИЛЬЯМ Т. ГОЛДЕН

ИЗВЕСТНО, сколь большую роль играет наука и техника в жизни общества, поэтому бесспорно, что у президента должны быть консультанты по вопросам науки и техники, чьи рекомендации помогли бы ему принимать решения по широкому спектру вопросов, включая внешнеполитические. Такие консультанты нужны также конгрессу, системе судебных и административных органов. Кто-то метко заметил, что отсутствие знания у руководителя не лишает его возможности иметь свою точку зрения и поступать в соответствии с ней, оно лишь не позволяет ему иметь верную точку зрения. Это осознали руководители других стран и многие из них основали у себя консультативные организации, чтобы быть осведомленными в вопросах науки и техники.

За исключением короткого периода (конечный этап правления администрации Никсона - начальный период правления администрации Форда), все президенты США начиная с Трумэна, имели научно-техническую консультативную систему (НТКС). Впервые такая система была основана Трумэном после начала войны в Корее в 1950 г. В 1957 г., после запуска Советским Союзом первого искусственного спутника Земли, президент Эйзенхауэр укрепил структуру НТКС, которая впоследствии претерпела ряд изменений. В настоящее время все большее число экспертов считает, что нынешняя научно-техническая консультативная система, которой пользуется президент, перестала отвечать современным требованиям.

В своем историческом развитии человечество шло как путями мира, так и путями войны. Война или угроза войны приводят ко многим изменени-

ям в жизни Homo sapiens, точно также, как борьба за существование многое определяет в развитии других видов.

Как бы то ни было, создание научно-технических консультативных организаций в США, а затем в других странах в немалой степени было обусловлено второй мировой войной, войной в Корее и угрозой третьей мировой войны. В 50-х годах первостепенное значение имели вопросы национальной безопасности. В настоящее время вряд ли какие-либо из социально-политических проблем не связаны с вопросами научно-технического характера, будь то проблемы образования, обеспечения конкурентоспособности на мировом рынке, проблемы экономики, здравоохранения, борьбы с наркоманией и преступностью или ограничения вооружений.

Мир, несомненно, становится все более единым, а экономика - глобальной, и прежде всего, благодаря современным средствам связи и транспорта. Проблемы загрязнения окружающей среды и истощения природных ресурсов уже не являются локальными или внутрисударственными: экологическое состояние нашей планеты вызывает обеспокоенность у всех народов, равно как и быстрый рост населения Земли, который грозит некоторым странам обнищанием и может стать дестабилизирующим фактором в мире, порождая волнения и военные конфликты.

В США проблема реорганизации правительственной научно-технической консультативной системы становится все более острой и решать ее предстоит нынешней администрации. Какой должна быть эта система?

По мнению многих, необходимо повысить статус поста советника президента по науке с тем, чтобы лицо, занимающее этот пост, могло высказывать свои рекомендации непосредственно президенту, минуя бюрократический «фильтр» аппарата Белого дома. Предлагается, чтобы советник по науке имел статус помощника президента или министра по науке без портфеля, а сам советник был свободен от административных обязанностей. Это избавило бы его от многих забот, связанных с административной деятельностью, например, ему не пришлось бы заниматься вопросами финансирования или выбивания фондов, соперничая с членами кабинета, возглавляющими министерства.

Советник по науке мог бы давать президенту объективную оценку часто противоположных точек зрения, отстаиваемых различными мини-

стерствами и управлениями. Он или она могли бы также информировать о точке зрения президента в отношении таких проектов, как СОИ или исследование генома человека.

Советник по науке должен иметь необходимый штат сотрудников. Это потребует расширения нынешнего управления научно-технической политики и заполнения четырех вакансий в директорате этого управления. Кроме того, необходимо будет создать консультативный совет ученых и инженеров, члены которого назначались бы президентом. Этот совет, который поддерживал бы связь с научным миром, мог бы называться консультативным комитетом по науке и технике при президенте. Возможность быть назначенным в консультативный комитет самим президентом привлекла бы многих известных специалистов. В консультативном комитете такого же типа, который существовал при президентах Эйзенхауэре и Кеннеди, возможность утечки секретной информации значительно снижается.

Не следует думать, что советник по науке и члены консультативного комитета должны избираться непременно из научных кругов. Кто бы они ни были, они должны будут служить президенту, чтобы он мог служить народу.

Прошрое является необходимым, но не достаточным «проводником» в будущее. Нью-Йоркской корпорацией «Карнеги», возглавляемой Дэвидом А. Хамбургом, была основана независимая комиссия Карнеги по вопросам науки и техники и деятельности правительства. Ее сопредседателями являются Джошуа Ледерберг, нобелевский лауреат и ректор Рокфеллеровского университета, и я. Комиссия щедро финансируется и имеет представительный состав, включая бывших президентов Форда и Картера (являющихся членами ее консультативного совета).

Комиссия Карнеги непредвзято рассмотрит все точки зрения и будет стимулировать дискуссии и выработку эффективных подходов, нацеленных на создание эффективной научно-технической консультативной организации. Комиссия представит президенту Бушу конструктивные предложения по этому вопросу. Но многие уверены в том, что президент не станет дожидаться нашего заключительного отчета и со своей стороны обратится также за рекомендациями к наилучшему «консультативному органу» - сообществу ученых и инженеров, работающих над решением главных научно-технических проблем нашего времени.

Вниманию читателей

Издательство «Мир» имеет 12 магазинов — опорных пунктов, в которых вы можете оформить предварительный заказ или приобрести уже выпущенные в свет книги. Их адреса:

480064 Алма-Ата,
пр. Абая, 35,
магазин «Прогресс»

232000 Вильнюс,
просп. Ленина, 29,
магазин «Техника»

603003 Горький,
ул. Горького, 156,
магазин № 29 «Наука»

375019 Ереван,
ул. Барекамутиян, 24-а,
магазин № 29

250001 Киев,
Крещатик, 44,
магазин № 12

660036 Красноярск,
Академгородок,
магазин № 101

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

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

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

440605 Пенза,
просп. Победы, 4,
магазин № 1

620014 Свердловск,
ул. Малышева, 31-а,
магазин № 8
«Техническая книга»

634034 Томск,
ул. Нахимова, 15/1,
магазин № 15



Библиография

О СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЕ

THE HEAVENS AND THE EARTH; A POLITICAL HISTORY OF THE SPACE AGE. Walter A. MacDougal. Basic Books, Inc., 1985.

SOVIET SPACE STATIONS AS ANALOGS. B. J. Bluth and Martha Heliipi. System Engineering and Integration Group, Distributed System Branch, SSE, NASA; August, 1986.

THE SOVIET MANNED SPACE PROGRAM. Phillip Clark. Orion Books, 1988.

SOVIET SPACE PROGRAMS 1981-1987: PART 1. U. S. Congress, Senate Committee on Commerce, Science, and Transportation. U. S. Government Printing Office, 1988.

THE SOVIET YEAR IN SPACE 1988. Nicholas L. Johnson. Teledyne Brown Engineering, Colorado Springs Office, 1250 Academy Loop, Suite 240, Colorado Springs, Colo. 80910; 1989.

Газенко О. Г. Человечество и космос.- М.: Наука, 1987.

Зайцев Ю. И. На рубеже тысячелетий: космическая программа СССР до 2000-ного года.- М.: Знание, 1989.

Космонавтика СССР (монография).- М.: Машиностроение, 1987.

ГЕНЫ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

THREE-PIGMENT COLOR VISION. Edward F. MacNichol, Jr., in *Scientific American*, Vol. 211, No. 6, pages 48-56; December, 1964.

THE MOLECULAR BASIS OF VISUAL EXCITATION. George Wald in *Nature*, Vol. 219, No. 5156, pages 800-807; August 24, 1968.

MOLECULAR GENETICS OF HUMAN COLOR VISION: THE GENES ENCODING BLUE, GREEN, AND RED PIGMENTS. Jeremy Nathans, Darcy Thomas and David S. Hogness in *Science*, Vol. 232, No. 4747, pages 193-202; April 11, 1986.

MOLECULAR GENETICS OF INHERITED VARIATION IN HUMAN COLOR VISION. Jeremy Nathans, Thomas P. Piantanida, Roger L. Eddy, Thomas B. Shows and David S. Hogness in *Science*, Vol. 232, No. 4747, pages 203-210; April 11, 1986.

ГИГАНТСКИЕ ВОДОПАДЫ В ОКЕАНЕ

AN ATTEMPT TO MEASURE THE VOLUME TRANSPORT OF NORWEGIAN SEA OVERFLOW WATER THROUGH THE DENMARK STRAIT. L. V. Worthington in *Deep-Sea Research*, Vol. 16, Supplement, pages 421-432; August 1, 1969.

A STREAMTUBE MODEL FOR BOTTOM BOUNDARY CURRENTS IN THE OCEAN. Peter C. Smith in *Deep-Sea Research*, Vol. 22, No. 12, pages 853-873; December, 1975.

THE FLUX AND MIXING RATES OF ANTARCTIC BOTTOM WATER WITHIN THE NORTH ATLANTIC. J. A. Whitehead, Jr., and L. V. Worthington in *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 87, No. C10, pages 7903-7924; September 20, 1982.

GEOSECS ATLANTIC, PACIFIC, AND INDIAN OCEAN EXPEDITIONS, VOL. 7: SHORE-BASED DATA AND GRAPHICS. GEOSECS Executive Committee, H. Gote Ostlund, Harmon Craig, Wallace S. Broecker and Derek W. Spencer. National Science Foundations, U. S. Government Printing Office, 1987.

НОВЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

APPLICATIONS OF HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTIVITY. A. P. Malozemoff, W. J. Gallagher and R. E. Schwall in *Chemistry of High Temperature Superconductors*, edited by D. L. Nelson, M. S. Wittingham and T. F. George. American Chemical Society, 1987.

HIGH T_c SUPERCONDUCTORS AND POTENTIAL APPLICATIONS. Commission of the European Communities, 200 Rue de la Loi, B-1049, Bruxelles; July, 1987.

ADVANCES IN APPLIED SUPERCONDUCTIVITY: A PRELIMINARY EVALUATION OF GOALS AND IMPACTS. A. M. Wolsky et al. Argonne National Laboratory, Argonne, Ill. 60439; 1988.

SUPERCONDUCTIVITY RESEARCH: A DIFFERENT VIEW. John M. Rowell in *Physics Today*, Vol. 41, No. 11 pages 38-46; November, 1988.

ОТ ПЕНИЯ ПТИЦ К НЕЙРОГЕНЕЗУ

NEURONS GENERATED IN THE ADULT BRAIN ARE RECRUITED INTO FUNCTIONAL CIRCUITS. John A. Paton and Fernando Nottebohm in *Science*, Vol. 225, No. 4666, pages 1046-1048; September 7, 1984.

HORMONAL REGULATION OF SYNAPSES AND CELL NUMBER IN THE ADULT CANARY BRAIN AND ITS RELEVANCE TO THEORIES OF LONG-TERM MEMORY STORAGE. Fernando Nottebohm in *Neural Control of Reproductive Function*, edited by Joan M. Lakoski, J. Regino Perez-Polo and David K. Rassin. Alan R. Liss, Inc., 1988.

MIGRATION OF YOUNG NEURONS IN ADULT AVIAN BRAIN. Arturo Alvarez-Buylla and Fernando Nottebohm in *Nature*, Vol. 335, No. 6188, pages 353-354; September 22, 1988.

Книги
издательства
„Мир“

ОБСТАНОВКИ
ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ
И ФАЦИИ.

В 2-х томах

Под редакцией Х. Рединга

Перевод с английского

В книге известных геологов Великобритании, США и Норвегии приводятся результаты фундаментальных исследований и обширный новейший материал по главным типам глобальных осадочных обстановок верхней оболочки Земли. Рассматриваются соотношения различных фациальных типов осадков в разрезе и на площади, контакты и переходы между фациями, комплексы фаций и объединение фаций в группы и серии, а также факторы, контролирующие природу и распространение фаций. Анализируется взаимосвязь между осадкообразованием и тектоникой. В 1-м томе освещены обстановки, свойственные им фации и процессы аллювиальных отложений, дельт, озер, пустынь, прибрежных мелководных морских образований. Во 2-м томе освещены осадочные обстановки и свойственные им фации морских мелководных карбонатных образований, глубоководных пелагических и кластогенных отложений, а также обстановки современного и древнего ледового литогенеза. Для всех разделов книги даны прекрасные иллюстративные схемы, рисунки и фотографии, делающие её особенно доступной для конкретного применения при полевых исследованиях.

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

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



ХИМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ
УЛЬТРАЗВУКА

ULTRASOUND IN SYNTHESIS. Kenneth S. Suslick in *Modern Synthetic Methods*, Vol. 4, pages 1-60; 1986.

SYNTHESIS WITH ULTRASONIC WAVES. Philip Boudjouk in *Journal of Chemical Education*, Vol. 63, No. 5, pages 427-429; May, 1986.

SONOLUMINESCENCE FROM NON-AQUEOUS LIQUIDS. Kenneth S. Suslick and Edward B. Flint in *Nature*, Vol. 330, No. 6148, pages 553-555; December 10, 1987.

ULTRASOUND: ITS CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL EFFECTS. Edited by Kenneth S. Suslick. VCH Publishers, Inc., 1988.

Маргулис М. А. ОСНОВЫ ЗВУКОХИМИИ. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ В АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЯХ.- М.: Высшая школа, 1984.

Маргулис М. А. ЗВУКОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И СОНОЛУМИНЕСЦЕНЦИЯ.- М.: Химия, 1986.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОЦЕССА
ЗАСЕЛЕНИЯ АЗИИ
ПЕРВОБЫТНЫМ ЧЕЛОВЕКОМ:
ОДОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД

OUT OF ASIA; PEOPLING THE AMERICAS AND THE PACIFIC. Edited by Robert Kirk and Emole Szathmary. Journal of Pacific History, Inc., Australian National University, 1985.

DENTOCHRONOLOGICAL SEPARATION ESTIMATES FOR PACIFIC RIM POPULATIONS. Christy G. Turner 11 in *Science*, Vol. 232, No. 4754, pages 1140-1142; May 30, 1986.

THE SETTLEMENT OF THE AMERICAS: A COMPARISON OF THE LINGUISTIC DENTAL, AND GENETIC EVIDENCE. Joseph H. Greenberg, Christy G. Turner 11 and Stephen L. Zegura in *Current Anthropology*, Vol. 27, No. 5, pages 477-497; December, 1986.

LATE PLEISTOCENE AND HOLOCENE POPULATION HISTORY OF EAST ASIA BASED ON DENTAL VARIATION. Christy G. Turner 11 in *American Journal of Physical Anthropology*, Vol. 73, No. 3, pages 305-321; July, 1987.

THE DEVELOPMENT OF PUNCH CARD TABULATION IN THE BUREAU OF THE CENSUS, 1890-1940. Leon E. Truesdell.

U. S. Government Printing Office, 1965.

HERMAN HOLLERITH: FORGOTTEN GIANT OF INFORMATION PROCESSING. Geoffrey D. Austrian. Columbia University Press, 1982.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE PHYSICS OF TRAFFIC ACCIDENTS. Peter Knight in *Physics Education*, Vol. 10, No. 1, pages 30-35; January, 1975.

EFFECT OF WEIGHT TRANSFER ON A VEHICLE'S STOPPING DISTANCE. Daniel P. Whitmire and Timothy J. Alleman in *American Journal of Physics*, Vol. 47, No. 1, pages 89-92; January, 1979.

AUTOMOBILE STOPPING DISTANCES. L. J. Logue in *The Physics Teacher*, Vol. 17, No. 5, pages 318-320; May, 1979.

INSTABILITY IN AUTOMOBILE BRAKING. W. G. Unruh in *American Journal of Physics*, Vol. 52, No. 10, pages 903-909; October, 1984.

TRAFFIC ACCIDENT INVESTIGATOR'S MANUAL FOR POLICE. J. Stannard Baker and Lynn B. Fricke. The Traffic Institute, Northwestern University, 1986.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

THE BEAUTY OF FRACTALS. H. O. Peitgen and P. H. Richter. Springer-Verlag, 1986.

CHAOS: MAKING A NEW SCIENCE. James Gleick. Viking Penguin, Inc., 1987.

THE SCIENCE OF FRACTAL IMAGES. Edited by Heinz-Otto Peitgen and Dietmar Saupe. Springer-Verlag, 1988.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.03.89.
По оригинал-макету. Формат 60 x 90 1/8.
Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,25 бум. л.

Бумага офсетная № 1.

УСЛ-печ. л. 12,50. Уч.-изд. л. 15,59.

Уел. кр.-орт. 52,36.

Изд. № 25/6782. Заказ 292.

Тираж 27330 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

В/О «Совэкспорткнига»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии, и книжной торговли.

129820, ГСП, Москва, И-10,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимекя, 7

П. Кронберг

**ДИСТАНЦИОННОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЛИ: ОСНОВЫ И МЕТОДЫ
ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ГЕОЛОГИИ**

Перевод с немецкого



Книга посвящена актуальной теме использования аэрокосмической информации в геологии и других областях науки и хозяйственной деятельности. В ней излагаются физические основы дистанционного зондирования, поглощающие свойства атмосферы и особенности излучения земных поверхностей разного типа. Приводятся новые результаты аэрокосмических измерений спектральных характеристик различных природных образований, особенности многозональных фотографических, телевизионных и сканирующих систем в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, а также новые данные по геологической интерпретации аэрокосмических изображений. Описываются новые фотографические методы обработки аэрокосмических изображений, в том числе методы с использованием ЭВМ. Рассматриваемая книга представляет значительный интерес как работа, суммирующая методы и взгляды на космическую геологию, определяющие ее развитие за рубежом.

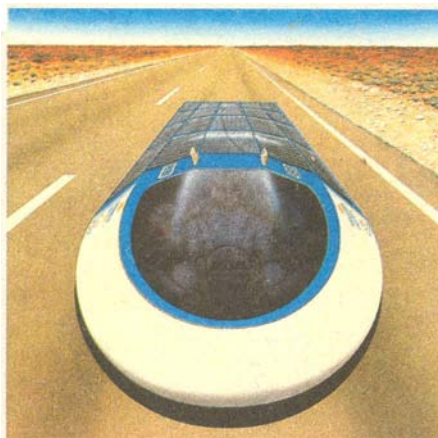
Для широкого круга геологов и специалистов, использующих и создающих средства дистанционного зондирования, а также для преподавателей и студентов геологических специальностей.

1988, 45 л., Цена 7 р. 70 к.

Книгу можно приобрести в магазине №5 «Техническая книга»
по адресу: 191040 Ленинград, ул. Пушкинская, 2



В следующем номере:



РЕШЕНИЕ В США ПРОБЛЕМЫ ВЫХОДА В КОСМОС

**УСТОЙЧИВОСТЬ К ПОЛИВАЛЕНТНОЙ
ХИМИОТЕРАПИИ ПРИ РАКЕ**

ПЛАЗМЕННЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЧАСТИЦ

МАКРОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЛЯРНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

МОДЕЛЬ ГЕОХИМИЧЕСКОГО ЦИКЛА УГЛЕРОДА

**БИОЛОГИЯ НАВЯЗЧИВЫХ СОСТОЯНИЙ И
НАВЯЗЧИВЫХ ДЕЙСТВИЙ**

АВТОМОБИЛИ НА СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЯХ

РИМСКИЙ АКВЕДУК В РИМЕ

МЕХАНИКА РАСКАЧИВАНИЯ НА КАЧЕЛЯХ

О ВИРУСАХ, ЧЕРВЯКАХ И ВОЙНЕ В ПАМЯТИ