

В следующем номере:



ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ОКИСИ АЗОТА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАНДЕМИИ СПИДА

СЛЕПЫЕ ПЯТНА

БИНАРНАЯ ОПТИКА

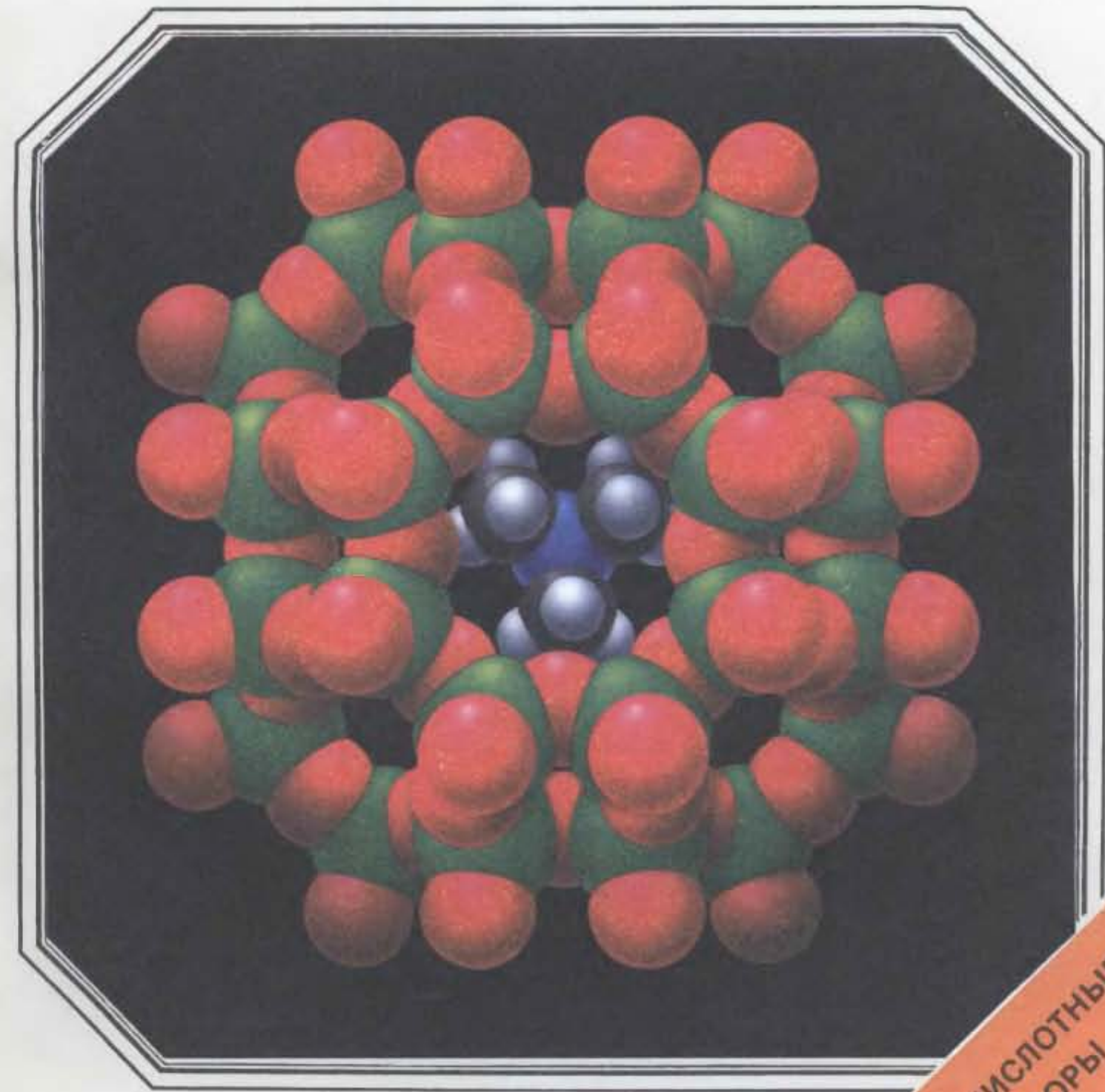
ОДНОЭЛЕКТРОНИКА

ГЕЙЗЕНБЕРГ, ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
И КВАНТОВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

КРАСНОРЕЧИВЫЕ ОСТАНКИ

**SCIENTIFIC
AMERICAN**

Издание на русском языке



Июнь **6** 1992

**ТВЕРДЫЕ КИСЛОТНЫЕ
КАТАЛИЗАТОРЫ**

У ВАС ЕСТЬ ПРОБЛЕМЫ с публикацией Ваших научных статей?

Ваших издателей не устраивает качество набранных Вами формул?
У Вас есть компьютер и нет программы для набора
сложных научно-технических текстов?

ЗНАЧИТ — ВАМ СРОЧНО НУЖЕН T_EX!

T_EX — это универсальная система электронного набора и верстки, в которой ведущие научно-технические издательства мира предпочитают получать от авторов их материалы. В этой системе можно полиграфически безупречно набрать самую замысловатую формулу, даже такую:

$$\sum_{m \geq 0} \left(\sum_{\substack{k_1, k_2, \dots, k_m \geq 0 \\ k_1 + 2k_2 + \dots + mk_m = m}} \frac{S_1^{k_1}}{1^{k_1} k_1!} \frac{S_2^{k_2}}{2^{k_2} k_2!} \dots \frac{S_m^{k_m}}{m^{k_m} k_m!} \right) z^m$$

Вы теперь убедились:

Вам нужен T_EX!

Значит Вам нужна

Ассоциация
пользователей

кириллического T_EX'а

CyrTUG

Вступив в CyrTUG, Вы сможете:

- ★ получить базовые комплекты системы T_EX (public domain);
- ★ обмениваться T_EXнической информацией с нашими и зарубежными пользователями;
- ★ участвовать в конференциях и посещать курсы, организуемые CyrTUG;
- ★ публиковать результаты своих T_EXразработок.

Мы поможем Вам вступить в CyrTUG, если Вы свяжетесь с нами по телефону 286-06-22 или e-mail: cyrtug@mir.msk.su.

Исполнительный директор — Махова Ирина Анатольевна

РОССИЯ, 129820, Москва, 1-й Рижский переулок, д. 2,
Издательство «Мир», CyrTUG, Махова И.А.

Typeset by AMS-T_EX

СТАТЬИ



(Scientific American, April 1992, Vol. 266, No. 4)

Дискуссии: Где возник человек современного типа?

8 Недавнее африканское происхождение людей

Аллан К. Уилсон, Ребекка Л. Канн

Генетические исследования показывают, что нашим общим предком была африканская женщина, жившая 200 000 лет назад

14 Мультирегиональная эволюция человечества

Аллан Дж. Торн, Милфорд Х. Уолпофф

Как ископаемые, так и генетические данные говорят о том, что различные группы людей сформировались там, где они живут в настоящее время



22 Горные пояса и суперконтинентальный цикл

Дж. Брендан Мерфи, Р. Дамиан Нанс

Каждые 500 млн. лет все континенты собираются в единый массив суши. С образованием и распадом таких суперконтинентов связаны тектонические процессы, позволяющие по-новому взглянуть на происхождение горных поясов



32 Суперантигены и болезни человека

Говард М. Джонсон, Джеффри К. Рассел, Карол Х. Понцер

Эти белки вызывают пищевые отравления и токсический шок. Возможно, они участвуют также в развитии артрита и СПИДа. Сейчас начинает проявляться, каким образом суперантигены осуществляют избыточную стимуляцию иммунной системы и индуцируют заболевания



43 Международный термоядерный экспериментальный реактор

Роберт У. Конн, Валерий Алексеевич Чуйнов, Нобуйюке Иное, Доналд Р. Свитмен

Этот международный термоядерный экспериментальный реактор-токамак (ITER), создаваемый четырьмя сторонами — участниками проекта, будет наиболее мощным из когда-либо построенных. С помощью реакций синтеза между ядрами дейтерия и трития ITER будет генерировать больше энергии, чем потреблять



52 Твердые кислотные катализаторы

Джон Мьюриг Томас

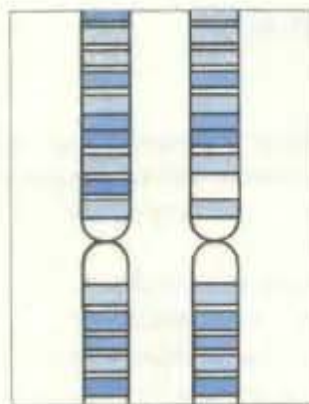
В разработке этих важных промышленных материалов достигнут значительный прогресс. Применение некоторых новых твердых кислотных катализаторов может снизить степень вредного воздействия на окружающую среду получаемых продуктов



62 Фантомные конечности

Роналд Мелзак

Нередко человек, лишившийся руки или ноги, продолжает живо ощущать присутствие этой конечности и может чувствовать в тех или иных частях такого фантома мучительную боль



72 Тенденции развития генетики

Разрезание генома

Дебора Эриксон

В настоящее время ученые пытаются представить заложенную в ДНК человека информацию в компьютерном коде в виде нулей и единиц. Будущее покажет, приведут ли работы по программе «Проект генома» к научным открытиям или они окажутся безрезультатными

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

19, 29, 40, 49,

59, 69, 81, 85,

92 Наука и общество

82 Занимательная математика

88 Книги

98 Эссе

99 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

John J. Moeling, Jr
PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Alan Hall, Michelle Press

Timothy M. Beardsley

Elizabeth Corcoran

Deborah Erickson

Marguerite Holloway

John Horgan

Philip Morrison (BOOK EDITOR)

Corey S. Powell

John Rennie, Philip E. Ross

Ricki L. Rusting, Russell Ruthen

Gary Stix, Paul Wallich

Philip M. Yam

Joan Starwood

ART DIRECTOR

Richard Sasso

VICE-PRESIDENT

PRODUCTION AND DISTRIBUTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Dr. Pierre Gerckens

CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel

CHAIRMAN EMERITUS

© 1992 by Scientific American, Inc.
Товарный знак *Scientific American*, его текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

главный редактор

С. П. Капица

заместитель главного редактора

Л. В. Шепелева

научные редакторы

З. Е. Кожанова, О. К. Кудрявов,

Т. А. Румянцева, А. М. Смотров,

А. Ю. Краснопевцев, А. В. Белых

литературный редактор

О. В. Мошкова

художественный редактор

С. К. Аносов

руководитель группы фотонабора

В. С. Галкин

технический редактор

А. В. Лыткина

оформление обложки русского издания

М. Г. Жуков

шрифтовые работы

В. В. Ефимов

адрес редакции

129820, Москва, ГСП, 1-й Рижский пер., 2

телефон редакции

286.2588

© перевод на русский язык и оформление, «Мир», 1992

На обложке



ТВЕРДЫЕ КИСЛОТНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ

На обложке показана атомная модель твердого кислотного катализатора, называемого цеолит Rho. Такие вещества ускоряют химические реакции и позволяют избежать образования побочных продуктов, оказывающих вредное воздействие на окружающую среду (см. статью Дж. Томаса «Твердые кислотные катализаторы» на с. 52). Молекула в центре — триметиламин, получение которого нежелательно, — настолько плотно входит в поры Rho, что не может оттуда выйти. В результате получают только меньшие по размеру молекулы метиламина — необходимого продукта. Модель разработана Д. Корбином, Дж. Калаврезе и Э. Свенсоном из фирмы Du Pont.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Tomo Narashima

СТР.	АВТОРИСТОЧНИК	СТР.	АВТОРИСТОЧНИК	СТР.	АВТОРИСТОЧНИК
6—7	Jason Goltz	39	Serge Subert-Odyssey/Matrix		tution; Clive M. Freeman, Biosym Technologies, Inc.
9	Joe LeMonnier (карта), Laurie Grace	42	Japan Atomic Energy Research Institute	58	Clive M. Freeman and Sir John Meurig Thomas
10—13	Laurie Grace	44—47	Ian Worpole	63—67	Carol Donner
15	Peter Yates	53	Ashley George and Richard Jones, Royal Institution of Great Britain, and Ruren Xu and Jiesheng Chen, Jilin University, China	72—73	Christopher Burke, Quesada/Burke
16	Milford H. Wolpoff (вверху), Patricia J. Wynne, based on work by Maria Ostendorf Smith (внизу)	74	Gabor Kiss	75	Jim Stoots; courtesy of Lawrence Livermore National Laboratory
17	Milford H. Wolpoff	54	Johnny Johnson	76	Gabor Kiss
18—19	Laurie Grace	55	Sir John Meurig Thomas; Stephen D. Pickett, Imperial Cancer Research Fund	77	Robert Prochnow
23—24	Hank Iken	25	Johnny Johnson	79	Robert Prochnow
26—28	Hank Iken	29	Landsat (слева), GEOPIC®, Earth Satellite Corporation (справа)	82	Kirk Caldwell
34	CNRI/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.	56	Sir John Meurig Thomas; Osamu Terasaki and Robert Millwood, University of Cambridge	83—84	Johnny Johnson
34—38	Dana Burns-Pizer	57	Sir John Meurig Thomas and C. Richard A. Catlow, Royal Insti-		

Allan C. Wilson, Rebecca L. Cann "The Recent African Genesis of Humans" (АЛЛАН К. УИЛСОН, РЕБЕККА Л. КАНН «Недавнее африканское происхождение людей»). Ныне покойный Аллан К. Уилсон и Ребекка Л. Канн во многих совместных работах применяли генетические методы для решения палеонтологических проблем. До своей смерти в 1991 г. Уилсон был профессором биохимии Калифорнийского университета в Беркли. Уроженец Новой Зеландии, он окончил Университет в Отаго в 1955 г., защитил магистерскую диссертацию в Университете шт. Вашингтон, а докторскую — в Беркли. Он работал также в Вейцмановском институте естественных наук, Университете Найроби и Гарварде. Канн — адъюнкт-профессор генетики и молекулярной биологии в Медицинской школе Джона А. Бернса Гавайского университета в Маноа. В Беркли она получила степень бакалавра генетики и доктора философии в области антропологии. После защиты докторской диссертации работала в Беркли с Уилсоном и в Калифорнийском университете в Сан-Франциско.

Alan G. Thorne and Milford H. Wolpoff "The Multiregional Evolution of Humans" (АЛАН ДЖ. ТОРН и МИЛФОРД Х. УОЛПОФФ «Мультирегиональная эволюция человечества») — изучили обширный ископаемый материал, относящийся к происхождению *Homo sapiens*. Торн — глава отделения доисторического прошлого Института передовых исследований при Австралийском национальном университете. Изучал антропологию и зоологию в Сиднейском университете, который окончил в 1963 г., а затем — анатомию человека в Медицинской школе этого университета. Раскопки, которые Торн проводил в болоте Кау и на озере Мунго, дали большинство известных из Австралии плейстоценовых остатков человека. Среди его работ — телевизионный сериал «Man on the Rim». Уолпофф — профессор антропологии Мичиганского университета в Анн-Арбор, где он руководит лабораторией палеоантропологии. В 1969 г. он получил степень доктора философии в Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн.

J. Brendan Murphy, R. Damian Nance "Mountain Belts and the Supercontinent Cycle" (ДЖ. БРЕНДАН МЕРФИ, Р. ДАМИАН НАНС «Горные пояса и суперконтинентальный цикл») начали сотрудничать в 1985 г. Их объединил общий интерес к происхождению древних горных поясов, сохранив-

шихся в Канадских Аппалачах. Вскоре они поняли, что в эволюции этих поясов находят отражение общепланетарные процессы тектоники плит. Мерфи родом из Бирра (Ирландия), но в 1975 г. переехал в Канаду. В 1982 г. получил степень доктора философии по геологии в Университете Мак-Гилла. В то время Мерфи поступил на работу в Университет Св. Фрэнсиса Ксавье в Антигонисше, Новая Шотландия, где в настоящее время возглавляет геологический факультет. Родина Нанса — Корнуолл, Англия; свою докторскую диссертацию он защитил в Кембриджском университете в 1978 г. Переселившись в Канаду, преподавал в Университете Св. Фрэнсиса Ксавье вплоть до 1980 г. Затем Нанс переехал в Университет шт. Огайо, где сейчас является профессором геологии.

Howard M. Jonson, Jeffrey K. Russell, Carol H. Pontzer "Superantigens in Human Disease" (ГОВАРД М. ДЖОНСОН, ДЖЕФФРИ К. РАССЕЛ, КАРОЛ Х. ПОНЦЕР «Суперантигены и болезни человека») вместе работают во Флоридском университете в Гейнсвилле. Джонсон — профессор, Рассел — ассистент, а Понцер — доцент кафедры микробиологии и клеточной биологии.

Robert W. Conn, Valery A. Chuyanov, Nobuyuki Inoue, Donald R. Sweetman "The International Thermonuclear Experimental Reactor" (РОБЕРТ У. КОНН, ВАЛЕРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ЧУЯНОВ, НОБУЮКЕ ИНОЕ, ДОНАЛД Р. СВИТМЕН «Международный термоядерный экспериментальный реактор») были членами научно-технического консультативного комитета проекта ITER на концептуальной стадии проекта. Конн получил степень доктора философии в Калифорнийском технологическом институте. Он — профессор ядерной техники и директор Института плазменных и термоядерных исследований Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Принимал участие в ряде научных и политических комитетов министерства энергетики США, является членом Национальной инженерной академии. Чуянов был руководителем нескольких проектов по созданию токамаков в России. Степень доктора наук получил в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова; в настоящее время — начальник отдела инженерно-физических исследований в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова. Иное получил степень доктора философии в Университете г. Киото,

в настоящее время является профессором ядерной техники Токийского университета. Он принимал участие в нескольких научных и политических комитетах при правительстве Японии. Свитмен — физик из Калэмской лаборатории в Абингдоне (Великобритания), является также главным администратором отдела термоядерных исследований Британской комиссии по атомной энергии. Он получил степень доктора в Бирмингемском университете.

Sir John Meurig Thomas "Solid Acid Catalysts" (ДЖОН МЬЮРИГ ТОМАС «Твердые кислотные катализаторы») — член общества Фуллериана, профессор химии в Королевском институте Великобритании и заместитель проректора Университета Уэльса в Сванси. Интерес к поверхностной химии он проявлял еще будучи дипломником этого университета. Проблема химии твердого состояния Томас начал заниматься, когда преподавал в университетах Уэльса и Кембриджа; Томас — член национальных академий многих стран, в том числе Лондонского королевского общества и Американской академии искусств и наук. Он — страстный пропагандист и популяризатор научных знаний, как и его предшественник Майкл Фарадей, для которого было специально учреждено место Председателя общества Фуллериана.

Ronald Melzack "Phantom Limbs" (РОНАЛД МЕЛЗАК «Фантомные конечности») — профессор психологии в Университете Макгилла, а также один из директоров клиники болевых синдромов при Монреальской больнице общего типа, где руководит научными исследованиями. Нейрофизиологией боли занимается почти сорок лет. В 1954 г. в Университете Макгилла ему присвоили степень доктора философии в области психологии. Затем он получил ряд дотаций на исследовательские работы, которые вел как в США, так и в других странах. В 1959 г. стал сотрудником Массачусетского технологического института, где его споры с Патриком Д. Уоллом привели к опубликованию в 1965 г. ныне знаменитой теории боли. В Университет Макгилла Мелзак перешел в 1963 г. Данная статья — его четвертая публикация в «Scientific American».

Richard Elliot Benedick "Essay" (РИЧАРД ЭЛЛИОТ БЕНЕДИК «Эссе») — бывший заместитель помощника государственного секретаря по вопросам окружающей среды и главный представитель США на переговорах по Монреальскому протоколу. Старший сотрудник Международного фонда любителей диких животных.



АПРЕЛЬ 1942 г. «Октановые числа весьма обманчивы; они не означают того, что обозначают, поскольку мощность растёт гораздо быстрее, чем сами числа. Триптан при отдаваемой мощности двигателя, на 50% превышающей обеспечиваемую топливом с октановым числом 100, будет в действительности иметь октановое число около 110. Максимум того, что может сегодня достичь Гитлер, — топливо с октановым числом 87, а это на 30% менее эффективно, чем при варианте с октановым числом 100. Это означает, что Гитлеру придется довольствоваться меньшей скоростью, меньшими «потолками» скоростей, меньшими диапазонами эксплуатационных скоростей, большим временем подъёма на заданную высоту и мириться с большим износом двигателя и срабатыванием его деталей. Чего бы мы могли достичь, если бы сумели использовать все имеющееся сейчас у нас в распоряжении топливо с октановым числом 110, которое обеспечило бы нам эффективную мощность, на 80% превышающую ту, которой обладает теперь Гитлер?»

«Доказательства того, что мухи являются виновниками распространения детского паралича, были подкреплены открытием, о котором д-р Альберт Сабин и д-р Роберт Уорд из Фонда больничных исследований и Медицинского колледжа при Университете в Цинциннати сообщили в последнем выпуске журнала «Science». Вирус детского паралича у мухи был обнаружен в сельских районах. Мухи, пойманные в Кливленде и Атланте в непосредственной близости от больных детским параличом, были инфицированы вирусом этой болезни. Обнаружение вируса у городских мух считается более значительным событием, особенно потому, что инфицированные мухи были пойманы в современных городских районах с хорошими санитарными условиями, причем некоторые дети в этих районах страдали мягкой формой этой болезни, что, возможно, представляло собой abortивный детский паралич».

«При пуске торпеды внутри нее за вероятно короткий промежуток времени происходит удивительное коли-

чество разных вещей. Торпедный курок, срабатывающий при движении снаряда вперед, открывает клапан, и струя сжатого воздуха приводит в действие главный двигатель. Из другого блока вырывается струя легко воспламеняющегося топлива. Срабатывают два капсулы и продолжают медленно гореть наподобие свечей, воспламеняя струю топлива. В ту же долю секунды хитроумный, самозапускающийся, саморегулирующийся водяной резервуар направляет на пламя струю воды. Напомним, что всего лишь в нескольких футах находятся 600 фунтов взрывчатого вещества. Вода из резервуара образует пар, и, поскольку размер струи регулируется, температура в огневой коробке поддерживается точно на уровне 1250° — не выше. Смесь пара, газа и сжатого воздуха врывается в главный двигатель с такой силой, что в одно мгновение развивается мощность в 400 л. с., стремительно повышается скорость торпеды до одной мили в минуту».

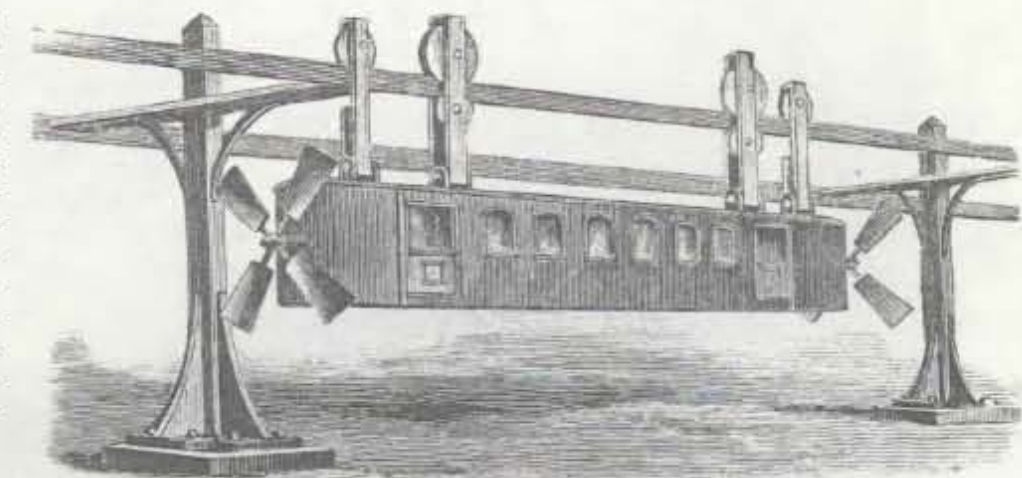


АПРЕЛЬ 1892 г. «Наше внимание привлечено к изобретению, которое позволяет обычные часы увеличить фактически до такого размера, что их показания можно считывать с расстояния до 50 миль. В изобретении используется механизм отсчета секунд, регулируемый самими часами и приводимый в действие каждую минуту, когда его колесо совершает полный оборот и включает электрооптическую систему. Луч света, отражае-

мый в небо, прерывается ударным молоточком, отбивающим полные часы. Другой механизм используется для индикации каждого интервала в пять минут. Это изобретение позволяет сверять не только настольные, настенные и башенные часы, но также и наручные».

«Охотник на слонов, приблизившись к самцу с большими бивнями, вдруг обнаружил, к своей досаде, что потерял патроны. Ему осталось лишь залечь где-нибудь в укрытии и любоваться громадным животным. Огорчение охотника отчасти было сглажено наблюдением за тем, как слон инстинктивно направляет на притаившейся рядом опасности. Когда слон осознал присутствие врага, он перестал есть, осторожно приподнял кончик хобота и тихим, приглушенным «голосом» произнес губами звук «прат» («prut») — звук ружейного выстрела. — Перев.) и затем повторил его не громче птичьего щебетания. Звук был немедленно воспринят стадом, которое быстро и бесшумно отошло от этого места, сопровождаемое своим стражем».

«На рисунке изображена надземная железная дорога, конструкция которой предусматривает удобное регулирование скорости движения вагона. Дорога спроектирована с таким расчетом, чтобы снизить трение до минимума. Эта конструкция была запатентована г-ном Андерсом Андерсоном из Блоссбурга (шт. Монтана). Вагон должен приводиться в движение установленными на каждом его конце двигателями, вращающимися воздушными винтами».



Надземная железная дорога Андерсона

Где возник человек современного типа?

Миллион или более лет назад примитивные люди, относимые сейчас к виду *Homo erectus* (человек прямоходящий), мигрировали из Африки в безлюдный мир. Являются ли их потомки — неандерталец из Европы, синантроп (пекинский человек) из Китая, яванский человек из Индонезии и другие — нашими предками? Или же они — всего лишь наши «двоюродные родственники», представители отмерших ветвей родословного древа человечества? Эти вопросы сейчас делят палеантропологов на два лагеря.

В происходящих дебатах традиционные ископаемые свидетельства подкрепляются информацией нового типа: молекулярные биологи реконструируют эволюционную историю современных организмов исходя из различий в их генах. Этот подход признается не всеми. В первой из представленных здесь двух статей генетики — ныне покойный Алан К. Уилсон и его коллега Ребекка Л. Канн — предполагают, что человек современного типа возник в Африке всего 200 тыс. лет назад и вытеснил более древних людей повсюду в мире. Антропологи Алан Дж. Торн и Милфорд Х. Уолпофф, напротив, высказываются в пользу постепенного формирования *Homo sapiens* в разных уголках планеты. Аргументы, выдвигаемые обеими сторонами, демонстрируют как сильную, так и слабую сторону современных методов изучения доисторического прошлого.



Неандерталец



Homo erectus



Homo erectus



Неандерталец

ДОИСТОРИЧЕСКИЕ ЛЮДИ реконструированы для нового зала биологии и эволюции человека в Американском музее естественной истории. Этот зал должен открыться в 1993 г. Головы макетов воссозданы на основе ископаемых черепов, а туловище — модификации слепков современных людей, чей физический облик в целом соответствует предполагаемому облику первых людей.

Недавнее африканское происхождение людей

Генетические исследования показывают, что нашим общим предком была африканская женщина, жившая 200 000 лет назад

АЛЛАН К. УИЛСОН, РЕБЕККА Л. КАНН

В ПОИСКАХ данных об эволюции человека мы, молекулярные биологи, оказались вовлеченными в два важных спора с палеонтологами. На основе ископаемых свидетельств большинство палеонтологов утверждали, что эволюционное разделение человека и крупных человекообразных обезьян произошло уже 25 млн. лет назад. Мы же считали гены этих двух групп слишком сходными для такого раннего разделения и давали ему не более нескольких миллионов лет. Спустя 15 лет дискуссий победа осталась за нами, и палеонтологи признали свою неправоту.

И вот мы опять спорим, на этот раз о последней стадии человеческой эволюции. По мнению палеонтологов, люди современного типа сформировались из своих архаичных сородичей, разбросанных по всему свету, за последний миллион лет. И напротив, наши генетические сопоставления убедительно показывают, что все нынешние люди — потомки (по материнским линиям родства) единственной женщины, жившей 200 тыс. лет назад, вероятнее всего, в Африке. Человек современного типа возник в одном месте и распространился повсюду.

Ни генетическая информация современных индивидов, ни ископаемые остатки предков не способны объяснить по отдельности, как, где и когда появлялись те или иные популяции. Однако первый тип данных обладает явным преимуществом в определении структуры генеалогических деревьев: у современных генов обязательно должны быть предковые, тогда как ископаемые формы могли и не оставить потомков. Молекулярным биологам

известно, что изучаемые ими гены передавались по линиям родства, дошедшим до наших дней; палеонтологи же никогда не уверены в том, что известные ископаемые остатки не представляют собой слепую ветвь эволюции.

Молекулярный подход свободен и от ряда других ограничений, свойственных палеонтологическому. Он не требует точной датировки ископаемых или орудий труда из каждой части реконструируемого генеалогического древа. Ему чужды сомнения типа: изготовлены и использовались ли орудия, найденные около ископаемых остатков, именно теми людьми, чьи остатки обнаружены? Наконец, он имеет дело с полными и объективными наборами данных.

Геном, т. е. полный набор генов, содержит всю генетическую информацию индивида. Более того, можно изучить и все его варианты, представленные в популяции, т. е. в группе особей, спаривающихся только друг с другом, так что индивидуальные особенности не повлияют на интерпретацию данных. Геномы — объективный источник информации, поскольку она не зависит изначально от какой-либо эволюционной модели. Последовательности генов сравниваются эмпирически, на них не влияют теоретические спекуляции.

Ископаемый же материал слишком фрагментарен: горсть сохранившихся костей не обязательно отражает фауну определенной эпохи, большинство представителей которой могло не оставить никаких следов. Ископаемые остатки в принципе невозможно интерпретировать объективно: физические признаки, лежащие в основе классификации,

обязательно отражают выбираемую палеонтологом эволюционную модель. Если считать, скажем, тазовые кости человеческими, так как по форме они, судя по всему, должны поддерживать вертикальное положение тела, значит, хождение на двух ногах признается отличием ранних гоминид от обезьян. Такие рассуждения приводят к порочному кругу. То есть палеонтологический взгляд на прошлое изначально искажен, а это ограничивает возможности наблюдений.

Значит, биологи, искушенные в современной эволюционной теории, должны отказаться от подхода к ископаемым как к наиболее четким ориентирам при изучении человеческой эволюции. Ископаемые остатки помогают понять действие биологических процессов в прошлом, но не должны заслонять от нас новых источников информации или новых интерпретаций плохо понятных и неточно датированных археологических материалов.

ВСЕ преимущества нашей точки зрения проявились в 1967 г., когда Винсент М. Сарич, работающий в лаборатории Уилсона Калифорнийского университета в Беркли, приступил к изучению ископаемого примата, называющегося *Ramapithecus*. Палеонтологи определяли возраст его остатков в 25 млн. лет. Исходя из толщины эмали коренных зубов и других признаков скелета, они полагали, что *Ramapithecus* появился уже после расхождения эволюционных линий обезьян и людей и относится к нашим непосредственным предкам.

Сарич измерял эволюционное расстояние между людьми и шимпанзе, изучая их белки крови. Как известно, их различия обусловлены мутациями, накапливающимися у разных видов только после их разделения. (В то время было гораздо легче сравнивать белки, чем кодирующие их генетические последовательности.) Чтобы проверить, одинакова ли скорость появления мутаций в обеих линиях, он сравнил человека и шимпанзе с другим видом и обнаружил совпадение всех генетических расстояний.

Теперь в руках у Сарича были молекулярные часы; следующим шагом была их калибровка. Он провел ее, рассчитывая скорость мутирования у других видов, время расхождения которых можно было надежно датировать по ископаемым остаткам. Наконец, он определил по этим часам момент расхождения эволюционных линий человека и шимпанзе

— 5—7 млн. лет назад, т. е. гораздо позже, чем кто-либо ожидал.

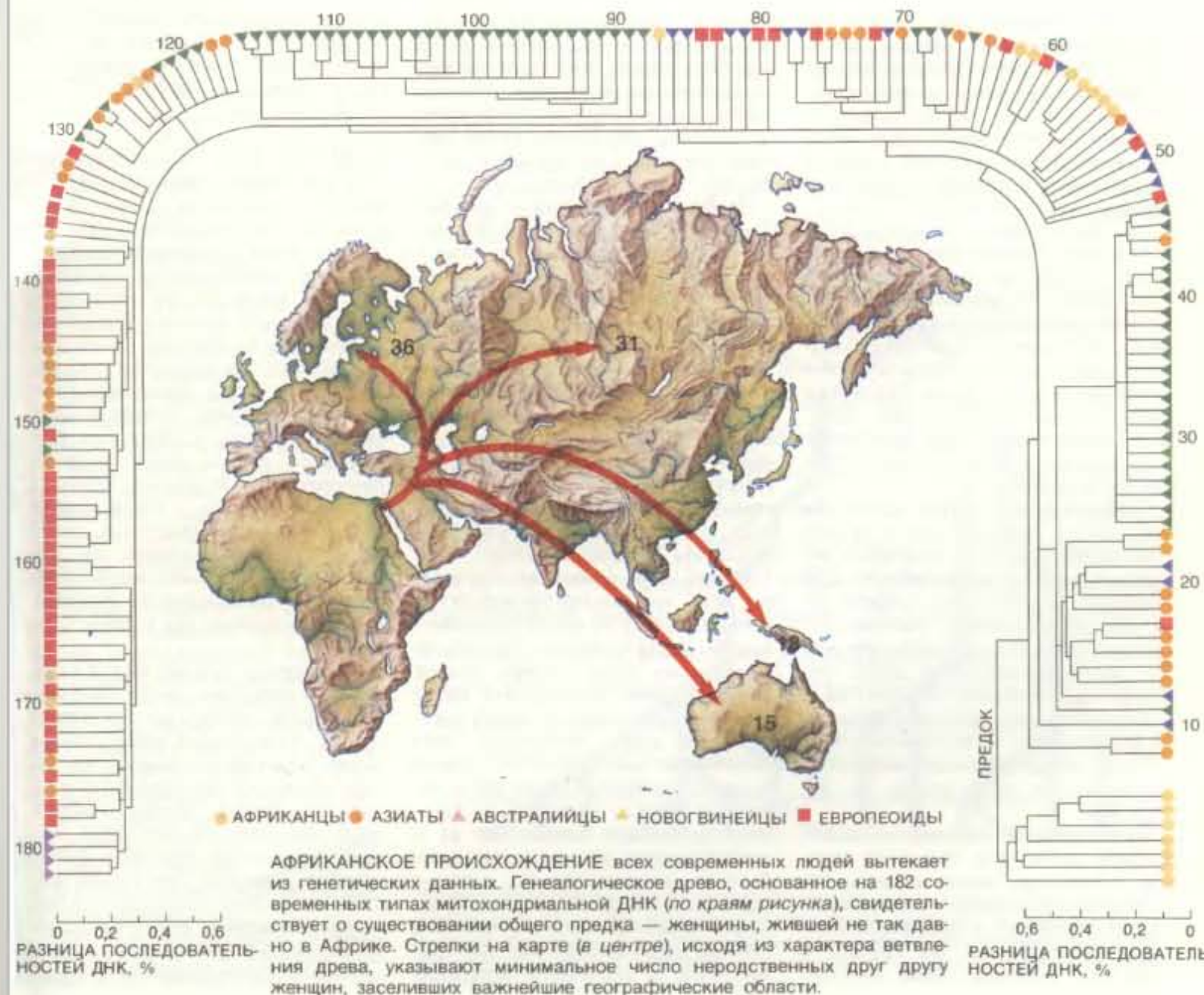
Сначала большинство палеонтологов настаивали на гораздо более ранней датировке, однако новые ископаемые находки заставили исключить *Ramapithecus* из числа наших непосредственных предков: сейчас его называют *Sivapithecus*; видимо, он дал начало орангутанам, но ни одна африканская человекообразная обезьяна от него не произошла. Более того, возраст некоторых ископаемых сивапитецин оказался всего около 6 млн. лет. К началу 1980-х гг. почти все палеонтологи признали более позднюю датировку Сарича для момента расхождения линий человека и человекообразных обезьян.

Сравнение белков различных видов привело к появлению двух новых концепций. Первая из них — не-

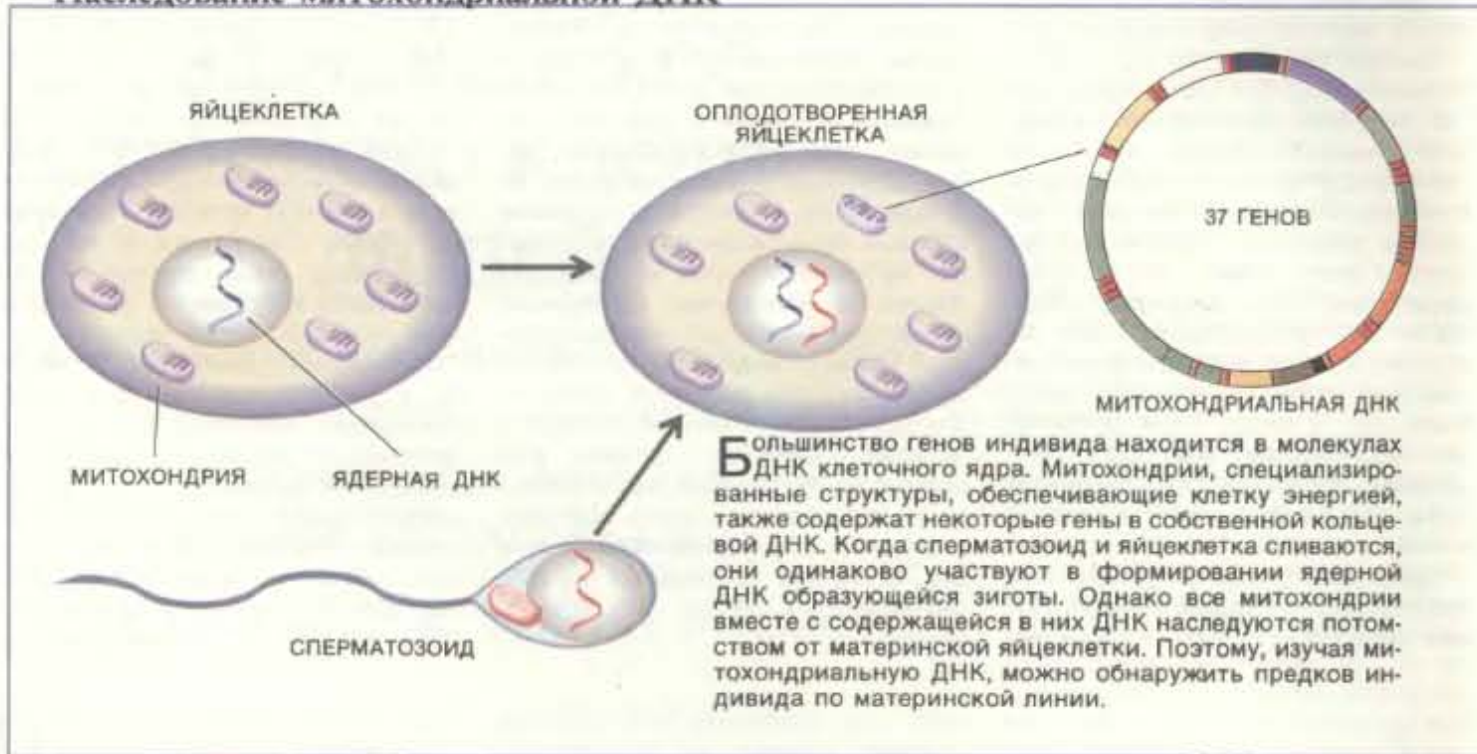
последовательные, или нейтральные, мутации. По-видимому, в молекулярной эволюции они господствуют и накапливаются с удивительно постоянной скоростью у доживших до наших дней филогенетических линий. Другими словами, эволюция на уровне генов — результат главным образом безостановочного накопления мутаций, которые не представляются ни полезными, ни вредными. Вторая концепция — молекулярных часов — возникла из наблюдения, согласно которому скорость изменения генов за счет точечных мутаций (изменений отдельных пар оснований ДНК) настолько устойчива на протяжении долгих периодов времени, что ее можно использовать для датировки отхождения данной эволюционной ветви от общего ствола.

Мы СМОГЛИ применить эти методы для реконструкции более поздних этапов эволюции только после 1980 г., когда рестрикционный анализ ДНК позволил изучать генетические различия с высокой разрешающей способностью. Исследователи в Беркли, включая Уэса Брауна, Марка Стоункинга и нас, использовали такой подход, чтобы проследить материнские линии родства людей по всему миру.

Изучавшаяся нами ДНК находится в митохондриях — клеточных органеллах, извлекающих из пищи химическую энергию, используемую затем всей клеткой. В отличие от ядерной (яДНК), образующей пучки длинных волокон, каждое из которых состоит из покрытой белками двойной спирали, митохондриальная ДНК (мДНК) — это маленькое дву-



Наследование митохондриальной ДНК



нитчатое кольцо. Если в яДНК содержится примерно 100 тыс. генов, т. е. большинство информации, необходимой для существования человека, в мДНК их всего 37, причем каждый жизненно необходим: единственная вредная мутация в любом из них ведет к тяжелым неврологическим расстройствам.

С точки зрения исследователей, изучающих расхождение линий родства, у мДНК два преимущества перед яДНК. Во-первых, интересующие нас последовательности первой, согласно эмпирическим наблюдениям, накапливают мутации быстро и с постоянной скоростью. Поскольку многие из них не затрагивают функции митохондрий, они фактически нейтральны и естественный отбор их не отсеивает.

Следовательно, мДНК ведет себя как быстро идущие часы, а именно это необходимо для выявления недавних генетических изменений. Два человека, «произвольно выбранных» в любых двух точках планеты, настолько близки по большинству своих последовательностей ДНК, что скорость эволюции нашего вида можно измерить, лишь обратившись к быстрее всего мутирующим генам. Гены, контролирующие скелетные признаки, к этой группе не относятся.

Во-вторых, в отличие от яДНК мДНК наследуется только от матери и меняется только в результате случайных мутаций. Митохондриальная ДНК отца в ходе формирования зародыша как бы «уходит в опилки». Ядерные гены, получае-

мые и от отца, наследуются так сказать в обычных родословных, которые, безусловно, важны для передачи физических признаков. Однако, исследуя происхождение современного человека, мы сосредоточили внимание на митохондриальных, материнских линиях родства.

Наибольшая близость в них наблюдается между родными братьями и сестрами, поскольку мутации в их мДНК могли накапливаться только в течение одного поколения. Степень сходства снижается шаг за шагом по мере движения вдоль родословной от двоюродных родственников, происходящих от бабушки по материнской линии, до троюродных с общей прабабушкой по этой же линии и т. д. Чем дальше по генеалогическому дереву, тем шире круг родственников с материнской стороны, пока, наконец, к нему не будут принадлежать все современники.

Значит, если рассуждать логически, ДНК всех людей происходит в конечном итоге от одной женщины-предка. Легко показать, что она не обязательно жила внутри мелкой популяции или представляла собой единственную женщину своего поколения в мире. Вообразите себе устойчивую популяцию, в которой всегда 15 матерей. Каждое новое поколение должно включать 15 дочерей, но девочки рождаются не у каждой матери, а у других их может быть по несколько. Так как, если дочерей нет, материнская линия родства обрывается, рано или поздно в глубине веков исчезнут все они, кроме одной. В стабильной популяции

время выделения этой единственной материнской линии равно детородному возрасту (времени генерации), умноженному на двойную численность популяции.

МОЖНО было бы назвать эту счастливую женщину, потомки которой дожили до наших дней, Евой. Не забудем, правда, что в ее времена жили и другие женщины и по своей способности к размножению она ничем от них не отличалась. Ей просто повезло. Более того, реконструируя обычные родословные деревья для популяции, мы обнаружим в эпоху Евы множество мужчин и женщин. Популяционные генетики Даниел Л. Хартл из Медицинской школы Вашингтонского университета и Эндрю Дж. Кларк из Университета шт. Пенсильвания оценивают их количество в 10 000 человек. Другими словами, имя Ева способно ввести в заблуждение. Это просто первоначальный источник всех родословных, как и библейская Ева.

По данным о мДНК можно определить материнские линии современных людей вплоть до их общего предка. Теоретически наблюдаемый набор генетических данных мог бы дать множество различных генеалогических деревьев. Чтобы выделить среди них наиболее вероятное, следует применить так называемый принцип экономии, требующий простейшей из всех возможных связей между объектами. Наиболее подходящее генеалогическое дерево следует проверить путем сравнения с данны-

ми из других источников и посмотреть, соответствует ли оно им. Если и тут все в порядке, оно анализируется с точки зрения деталей отражаемой им географической истории человечества.

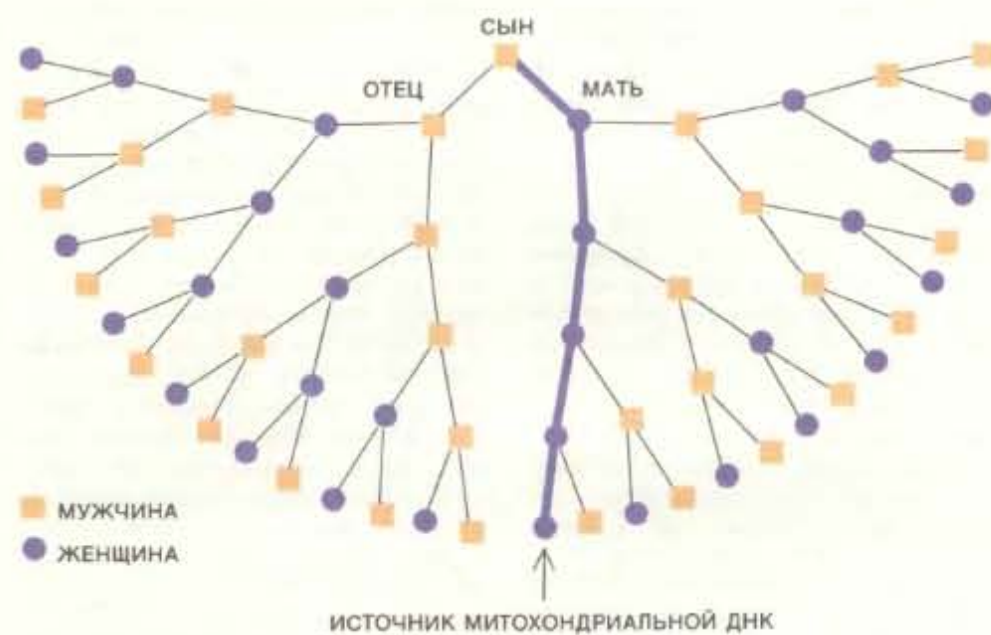
В 1988 г. Томас Д. Кочер из Беркли (сейчас он работает в Университете Нью-Гемпшира) именно таким «экономным» способом интерпретировал родственные связи мДНК 14 людей, живущих в разных уголках планеты. Он определил 13 точек ветвления как минимальное их число, способное объяснить обнаруженные различия. Учтя затем географические данные, он пришел к заключению, что прародина всего человечества — Африка: такой вывод позволяет простейшим образом объяснить наблюдаемое распределение по планете разных типов мДНК всего лишь тремя волнами транс-континентальной миграции.

Важнейшее допущение при таком анализе — одинаковая скорость эволюции всех митохондриальных линий. Поэтому, когда Кочер проводил свое сравнение мДНК людей, он интересовался и аналогичными генными последовательностями шимпанзе. Если человеческие линии различаются по скорости накопления мутаций, значит, некоторые из 14 изученных последовательностей ближе или дальше, чем другие, от соответствующих последовательностей шимпанзе. Фактически все 14 человеческих мДНК находились почти на одинаковом генетическом расстоянии от мДНК этой обезьяны, что говорит о достаточно однородной скорости их изменения у людей.

Данные по шимпанзе демонстрируют также, насколько близки все люди на генетическом уровне: изменчивость здесь у шимпанзе обычно в 10 раз выше. Уже одно это предполагает происхождение всего современного человечества от относительно небольшого предкового стада.

Работая в Беркли со Стоункингом, мы расширили исследования Кочера, проанализировав генеалогическое древо для 182 различных типов мДНК от 241 индивида. (Одинаковые типы мДНК всегда встречаются у людей с одного континента, причем обычно если они живут в радиусе 100 миль друг от друга.) Поскольку у построенного нами древа две главные ветви, ведущие в Африку, оно подтверждает гипотезу об африканском происхождении человека современного типа.

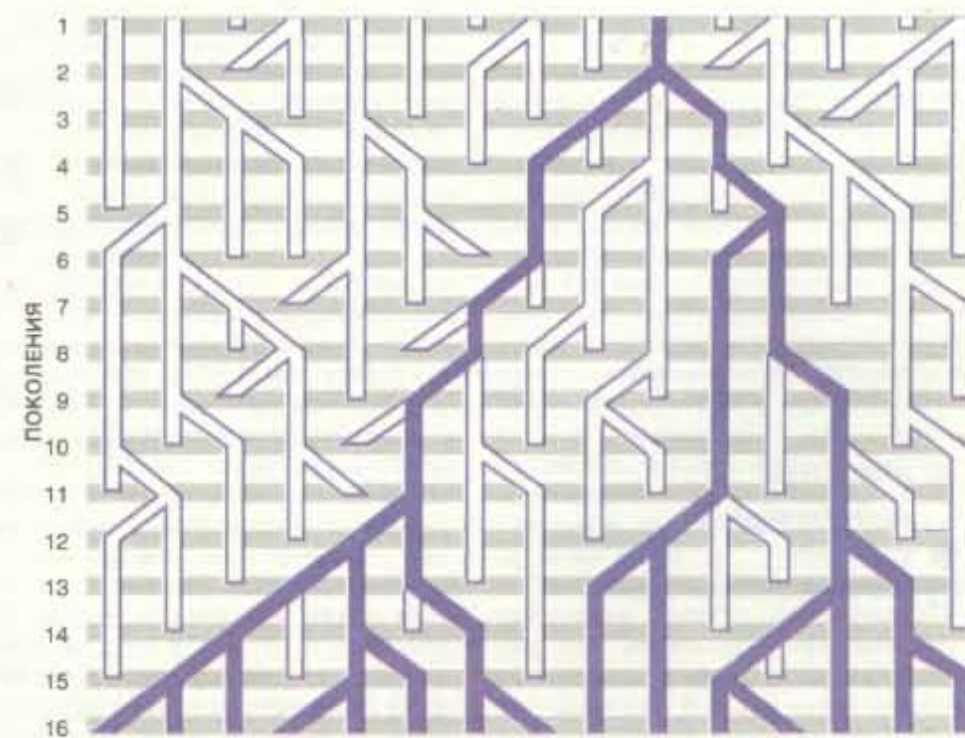
Первый вывод из нашего исследования состоит в том, что, хотя географические барьеры и влияют на



РОДОСЛОВНАЯ одного индивида иллюстрирует разницу между ядерной и митохондриальной наследственностью. Все 32 предка из пяти поколений внесли равный вклад в формирование его ядерной ДНК. Однако его митохондриальная линия родства (синяя) ведет только к одному человеку из каждого поколения.

мДНК популяций, не все люди с данного континента обычно относятся к одной материнской линии. Типичны в этом смысле жители Новой Гвинеи. Их генетическая неоднородность предполагалась на основе лингвистического анализа удивительного разнообразия встречающихся здесь языковых групп, обыч-

но называемых папуасскими языками (см. статью: Питер Белвуд. Австралийское расселение и происхождение языков, «В мире науки», 1991, № 9). Жители Новой Гвинеи появляются в различных ветвях нашего генеалогического древа, следовательно, общий для них предок женского пола жил в другом месте.



ОБЩИЙ ПРЕДОК ПО МАТЕРИНСКОЙ ЛИНИИ может быть найден для всех членов популяции. На рисунке показаны линии родства 15 женщин в стабильной популяции. В каждом поколении некоторые материнские линии разветвляются, а другие исчезают. В конечном итоге одна случайно сохранившаяся линия замещает все остальные.

Новогвинейская популяция, вероятно, основана различными женщинами, материнские линии родства которых наиболее близки к азиатским.

Этого можно было бы ожидать, признав правильность гипотезы африканского происхождения: мигрируя к востоку от Африки, люди двигались через Азию. Вероятно, продвижение было медленным, и за время, потребовавшееся для достижения Новой Гвинеи, мутации накапливались как в линиях, оседавших в Азии, так и в тех, что продолжали свой путь дальше.

Значит, люди, внешне относящиеся к одной географической расе, не обязательно близки по своим мДНК. С митохондриальной точки зрения расы не похожи на биологические виды. По нашему мнению, анатомические признаки, объединяющие всех новогвинейцев, не унаследованы ими от первых поселенцев. Они развились уже после колонизации людьми острова в основном в результате мутаций ядерных генов, распространившихся затем в ходе полового размножения и рекомбинаций по всей его территории. Сходным образом светлая кожа многих «белых», вероятно, позднейший признак, сформировавшийся в Европе после колонизации этого континента африканцами.

В начале 1980-х гг., когда мы строили описанное генеалогическое

древо, нам приходилось использовать данные по черным американцам вместо черных африканцев, мДНК которых было трудно получить в нужных количествах. К счастью, недавнее развитие методики, называемой полимеразной цепной реакцией, устранило это ограничение. Новая методика позволяет легко и практически бесконечно удваивать последовательности ДНК, поэтому небольшое ее «затравочное» количество можно увеличить до сколь угодно большого запаса (см. статью: Кэри Б. Миоллис. Необычная история о том, как родилась полимеразная цепная реакция, «В мире науки», 1990, № 6).

Полимеразная цепная реакция дала возможность Линде Виджилант, работающей сейчас в Университете шт. Пенсильвания, повторить наше исследование, используя данные по мДНК 120 черных африканцев, живущих в шести различных областях к югу от Сахары. Виджилант построила генеалогическое древо, 16 нижних ветвей которого привели исключительно к африканцам, а пятнадцатая — верхняя — как к ним, так и к жителям других континентов. «Неафриканцы» соответствуют верхним ветвям второго порядка, отходящим от пятнадцатой ветви. Учитывая численность изученных типов африканских и неафриканских типов мДНК, вероятность случай-

ного отнесения 14 нижних ветвей исключительно к черным жителям Африки составляет для древа с таким порядком ветвления всего 1:10 000.

Сатоси Хораи и Кендзи Хаясака из Японского национального института генетики аналогичным способом проанализировали образцы для гораздо большего числа азиатских популяций и индивидов из меньшего числа африканских областей. Они также обнаружили, что митохондриальные родословные ведут в Африку. Мы считаем вероятность случайного получения такого результата равной 0,04. Хотя эти статистические оценки не строги с математической точки зрения, они все же говорят о достаточном правдоподобии теории африканского происхождения мДНК человека.

ПОСКОЛЬКУ наши сравнения с данными по шимпанзе показали, что молекулярные часы человеческой мДНК идут с постоянной скоростью в течение миллионов лет, очевидно, можно было бы рассчитать, когда жила общая для всех современных людей мать. В соответствии с выводами работы Сарича мы приняли за время расхождения эволюционных линий человека и шимпанзе точку 5 млн. лет назад. Затем мы рассчитали, насколько далеко разошлись друг от друга люди разных популяций, если сравнивать их с шимпанзе, т. е. определили отношение разниц по мДНК разных людей и человека с шимпанзе.

С использованием двух различных массивов данных было получено число менее 1:25. Значит, материнские линии родства людей разошлись за период менее 1/25 от 5 млн. лет, т. е. менее чем за 200 тыс. лет. Взяв третий массив данных по изменениям на так называемом контрольном участке мДНК, мы пришли к более раннему времени существования общей матери. Однако этот результат менее точен, поскольку остаются вопросы относительно поправок на множественные мутации, происходящие на этом участке.

Можно было бы возразить, что молекулярные часы, точные для периода 5 млн. лет, все же ненадежны для более коротких интервалов времени. Например, почему бы периодам генетического «застоя» не прерываться короткими вспышками изменений, когда, скажем, в среде появляется новый мутаген, или клетки зародышевого пути инфицируются каким-то вирусом, или на все отрезки ДНК действует сильный

естественный отбор. Чтобы исключить возможность такого прерывистого хода молекулярных часов, мы измерили, насколько изменилась мДНК популяций, время основания которых известно.

Как принято считать, аборигенные популяции Новой Гвинеи и Австралии возникли в период менее 50 — 60 тыс. лет назад. Похоже, их эволюционные изменения, происшедшие с тех пор, соответствуют трети наблюдаемых для человечества в целом. Значит, со времени жизни нашей Евы прошло трижды по 50 000—60 000 лет, т. е. примерно 150 000—180 000 лет. Таким образом, все оценки говорят о том, что первоначальное разделение людей произошло примерно 200 тыс. лет назад.

Они согласуются по крайней мере с одним рядом ископаемых свидетельств. Остатки человека анатомически современного типа появляются сначала в Африке, а уже позднее в Европе и Восточной Азии. Антропологи предположили, что анатомический переход от архаичных к современным людям произошел в Восточной Африке всего 130 тыс. лет назад (см. статью: Кристофер Б. Стрингер. Возникновение современных людей, «В мире науки», 1991, № 2).

С другой стороны, второй ряд данных как будто противоречит этой точке зрения. Ископаемый материал четко показывает, что южные области Евразии были заселены архаичными людьми, мигрировавшими из Африки в Азию примерно миллион лет назад. К ним относятся знаменитые остатки пекинского и яванского человека. Такие находки вместе с гипотезой об анатомических изменениях архаичной евразийской популяции, приблизившие ее к современным людям, привели к моделям мультирегиональной эволюции: сходные эволюционные преобразования в различных географических областях превратили их архаичных обитателей с мелким мозгом в современные формы, мозг которых намного крупнее.

Однако для удержания человеческого популяций в рамках единого биологического вида был бы необходим мощный межконтинентальный поток генов. Модель мультирегиональной эволюции предсказывает также, что по крайней мере некоторые гены современной восточноазиатской популяции должны быть ближе к имевшимся у ее архаичных азиатских предков, чем у современных африканцев. Можно было бы ожидать присутствия в Азии, особенно на Дальнем Востоке, нижних ветвей родословного древа мДНК.



РАЗЛИЧНЫЕ ГРУППЫ ЛЮДЕЙ БЫЛИ ВЫТЕСНЕНЫ во всем мире человеком современного типа из Африки. По-видимому, архаичные женщины не передали митохондриальных генов современным людям в Европе, Восточной Азии и Австралии.

Однако проведенный в нашей и других лабораториях анализ более 1000 человек из Евразии и из ее «митохондриальных сателлитов» (Австралии, Океании и Америки) ни о чем подобном не свидетельствует.

Таким образом, весьма маловероятно, что в Евразии сохранилась невыявленная древнейшая линия мДНК. Мы попросту не видим результата, предсказанного мультирегиональной моделью. Более того, генетики, в частности Масатоси Неи из Университета шт. Пенсильвания, Кеннет К. Кидд из Йельского университета, Джеймс Уэйнскоут из Оксфорда и Луиджи Л. Кавалли-Сфорца из Станфордского университета, нашли подтверждение модели африканского происхождения, изучая ядерные гены.

Сторонники модели мультирегиональной эволюции подчеркивают, что у них задокументированы непрерывные анатомические изменения, ведущие от архаичных жителей различных областей к современным; по их убеждению, такие характерные черты не могли развиваться независимо у какого-либо пришлого народа. Чтобы оценить этот аргумент, требуется выяснить, действительно ли обсуждаемые признаки черепа независимы друг от друга, т. е. не благоприятствовал ли естественный отбор определенному сочетанию функционально взаимосвязанных черт. Вель, как известно, сильная жевательная мускулатура часто вызывает изменения в нижней челюсти, надбровном гребне и других участках черепа. Условия, стимулировавшие такую эволюцию в одной попу-

ляции, могли сделать то же самое и в другой, родственной.

Кроме того, некоторые палеонтологи оспаривают эти свидетельства непрерывного преобразования. Они не считают современные популяции связанными с прошлой последовательностью уникальных морфологических признаков, прослеживаемой по ископаемым остаткам. Напротив, ископаемые и современные популяции объединяет только общее присутствие еще более древних предковых черт. То есть непрерывность, наблюдаемая сторонниками мультирегиональной эволюции, вполне вероятно, всего лишь иллюзия.

Мысль о возможности сосуществования людей современного и архаичного типов на одной территории и о полном вытеснении первыми вторых без всякого скрещивания звучит как будто неправдоподобно. Тем не менее некоторые ископаемые находки говорят в ее пользу. Открытия в пещерах Кафзех (Израиль) подразумевают проживание современных людей бок о бок с неандертальцами в течение 40 тыс. лет, однако свидетельств в пользу скрещивания между ними мало.

Как удалось одной человеческой популяции сменить архаичных людей без какого-либо генетического смешивания с ними, остается до сих пор загадкой. Р. Кани предполагает, что вымиранию одной из групп способствовали инфекционные болезни. По мнению Кавалли-Сфорца, у предков современных людей уже появились некоторые прогрессивные черты типа развитой речи, фактически не позволявшие спариваться с



Мультирегиональная ЭВОЛЮЦИЯ Человечества

Как ископаемые, так и генетические данные говорят о том, что различные группы людей сформировались там, где они живут в настоящее время

АЛАН ДЖ. ТОРН, МИЛФОРД Х. УОЛПОФФ

другими гоминидами. Эти и подобные им вопросы, возможно, разрешатся, когда молекулярные биологи выяснят связь специфических генетических последовательностей с определяемыми ими физическими и поведенческими чертами.

Но еще до этого дальнейшие исследования как ядерной, так и митохондриальной ДНК позволят построить более информативные родословные деревья. Особенный интерес вызывают здесь последовательности Y-хромосомы, определяющей мужской пол, а следовательно, наследуемой только от отца. В лаборатории Жерара Люкотта из Коллеж-де-Франс проведено косвенное сравнение ее последовательностей как попытка построения отцовских линий родства, ведущих к единственному предку — Адаму, если угодно. Эти предварительные данные также указывают на африканскую прародину. После необходимых усовершенствований методики такое исследование отцовских родословных, возможно, станет весомым подтверждением наших данных по материнскому наследованию. К сожалению, в пригодных для сравнения участках Y-хромосомы замены оснований накапливаются медленно, и провести детальный генетический анализ технически затруднительно.

Еще большего прогресса можно ожидать в ближайшем будущем, когда молекулярные биологи научатся применять свои методики к материалам, обнаруживаемым нашими друзьями-соперниками палеонтологами. Предварительные молекулярные исследования уже проведены с ДНК из мумифицированных тканей, найденных в одном из флоридских болот и датированных возрастом 7500 лет. Видимо, скоро появятся усовершенствованные методы выделения ДНК из еще более древних ископаемых костей. Тогда мы, вероятно, сможем начать реконструкцию родословного древа от корня, который был жив на заре развития самого семейства гоминид.

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

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

ДВА ДЕСЯТИЛЕТИЯ назад между палеоантропологами завязался спор о происхождении древнейших людей. Разногласия сконцентрировались вокруг вопроса о том, был ли ископаемый *Ramapithecus* предком только людей или же предком как людей, так и человекообразных обезьян. Впоследствии в спор вмешались молекулярные биологи, поддержавшие позицию меньшинства (включая одного из нас — Уолпоффа со своими учениками), не признававшего наперекор широко распространенному мнению в *Ramapithecus* непосредственного предка человека. Однако молекулярные биологи исходили из времени расхождения эволюционных линий человека и шимпанзе, рассчитанного с помощью сомнительных «молекулярных часов», поэтому от их поддержки пришлось отказаться.

Сейчас среди палеоантропологов вновь разгорелся спор, на этот раз о том, как, когда и где возник человек современного типа. С одной стороны, ряд исследователей, включая и нас, считает, что единой прародины у него нет — архаичные люди возникли в Африке, а их современные формы затем медленно развивались в разных областях Старого Света. С другой стороны, по мнению некоторых исследователей, современные люди появились в Африке не ранее 200 тыс. лет назад. И опять в дебаты вмешались молекулярные биологи, попытавшиеся со своими «молекулярными часами» решить вопрос в пользу гипотезы африканского происхождения. И снова от их помощи следует отказаться из-за шаткости предлагаемых ими аргументов.

Генетические исследования, бесспорно, внесли важный вклад в современную антропологию, продемонстрировав тесное родство всех ныне живущих людей. Сходство между их

ДНК гораздо выше, чем можно было бы ожидать, глядя на необыкновенную анатомическую изменчивость человечества. Исследования ДНК клеточных органелл, называемых митохондриями, которая наследуется исключительно от матери и служит маркером родства по материнской линии, теперь играют свою роль в развитии теорий о происхождении современных человеческих рас.

Тем не менее митохондриальная ДНК (мДНК) не единственный источник информации по данному вопросу. Ископаемые остатки и орудия также дают значительный объем свидетельств, причем, на наш взгляд, более надежных. Единственная ценность исследований мДНК в том, что они демонстрируют неправильность одной из теорий происхождения, обсуждаемых палеонтологами.

Вместе с Ву Синьчжи из Пекинского института палеонтологии позвоночных и палеоантропологии мы предложили модель эволюции, которую назвали мультирегиональной. Мы выяснили, что определенные признаки, различающие крупные человеческие группы типа азиатов, австралийских аборигенов и европейцев, развивались в течение длительного периода примерно там, где сейчас живут эти люди.

Модель мультирегиональной эволюции прослеживает развитие всех современных популяций с того момента, когда человек впервые покинул Африку (не менее 1 млн. лет назад), по взаимосвязанной сети других родословных, генетический вклад которых во все современные народы менялся во времени и пространстве. Сегодня различные популяции сохраняют свои физические особенности, несмотря на происходящие между ними скрещивания и миграции; такое положение дел существовало всегда с тех пор, как человек впервые колонизовал

Европу и Азию. Современное человечество формировалось внутри этих широко распространенных популяций, причем «модернизация» наших предков была непрерывным процессом.

Альтернативная теория, названная разработавшим ее палеонтологом Уильямом У. Хавеллзом из Гарвардского университета моделью «Ноева ковчега», утверждает, что современный человек возник недавно в одном месте, а затем распространился по всему миру, вытеснив прочих людей. Эта смена, считают сторонники его теории, была полной. Используя генетический анализ, ныне покойный Аллан К. Уилсон и его коллеги из Калифорнийского университета в Беркли пришли к выводу, что эволюционную историю мДНК можно проследить до единственной женщины, названной в одной из их первых публикаций по данному вопросу Евой, которая жила в Африке примерно 200 тыс. лет назад. По утверждению этих теоретиков, у современных людей обнаруживается только мДНК, происходящая от Евы.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ это так? Если потомки Евы скрещивались с другими людьми во время расселения своей популяции по планете, можно было бы ожидать присутствия у наших современников и других линий мДНК, особенно за пределами Африки, где эти потомки были пришлыми. Наиболее правдоподобное объяснение отсутствия других линий мДНК в

том, что ни одна из местных женщин не спаривалась с мигрировавшими из Африки мужчинами современного типа. Значит, Ева основала новый биологический вид. Реконструкция Уилсоном прошлого требует, чтобы за период не более 150 тыс. лет произошло полное замещение всех предшествовавших охотников-собираателей в Африке и остальном заселенном людьми мире; затем, следуя логике, исходные африканские признаки пришельцев дали начало расовым особенностям, наблюдаемым сейчас в разных уголках планеты.

Ярче высветить разницу между нашей теорией мультирегиональной эволюции и предложенной Уилсоном теорией Евы поможет аналогия. Согласно нашей модели, механизм возникновения современного человека напоминает ситуацию, когда несколько гребцов находятся в разных концах бассейна. Сохраняя свою индивидуальность, они все же влияют друг на

друга распространяющимися от их движения волнами (это эквивалентно потокам генов между популяциями). И напротив, полное замещение, требуемое теорией Евы, подразумевает появление нового пловца, прыгнувшего в бассейн с таким всплеском, что все прочие захлебнулись и пошли ко дну. Один из двух этих взглядов на наше происхождение должен быть неверен.

Митохондриальная ДНК полезна как ориентир для развития теорий, однако, опровергая ту или иную идею, следует опираться только на ископаемые свидетельства. Генетическая информация в лучшем случае объясняет, как могли возникнуть современные люди, если допущения, использованные при интерпретации генотипов, правильны. Но одну теорию нельзя использовать для проверки другой. Ископаемый материал — реальное свидетельство эволюции, причем известно множество как человеческих остатков, так и археологических находок, охватывающих период в миллион лет. В отличие от генетических данных ископаемые можно использовать для построения теорий о нашем прошлом без длинного списка допущений.

Ценность теории измеряется тем, как много она способна объяснить; научный метод требует включения в нее всех источников данных. Наша цель — предложить теорию, обобщающую все, что известно об ископаемых остатках, археологии и генах современного человека. Теория Евы для этого непригодна. Из нее следует

Болото Кау (около 10 тыс. лет назад)



Озера Вилланда (Верхний Плейстоцен)



Пещера Бордер (Верхний Плейстоцен)



Сангиран (Средний Плейстоцен)



АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПРЕДКИ современного человека проиллюстрированы тремя древними черепами. Постепенные изменения черепов из Австралии (Сангиран, озера Вилланда и болото Кау) говорят об эволюции современных людей в этой области на протяжении сотен тысяч лет. Согласно теории Евы, предком всех ныне живущих людей, была африканка, однако характерные черты черепа из пещеры Бордер в Африке существенно отличаются от собственных современным австралийским аборигенам.

РЯД ЧЕРЕПОВ ИЗ КИТАЯ демонстрирует непрерывное изменение формы без свидетельств привноса африканских признаков. Слева направо — мужские черепа из нижней пещеры Чжоукоудянь (средний плейстоцен), стоянки Дали (начало верхнего плейстоцена) и верхней пещеры Чжоукоудянь (конец верхнего плейстоцена).

пять положений, требующих подтверждения ископаемым материалом. Первое, и главное, — то, что человек современного типа из Африки полностью сменил все прочие группы людей. Во-вторых, отсюда следует появление первых современных людей именно в Африке. В-третьих, подразумевается, что древнейшие современные люди в других областях должны были обладать африканскими чертами. В-четвертых, современные люди и те, кого они сменили, никогда не смешивались и не скрещивались. В-пятых, должен четко проследиваться анатомический разрыв между ископаемыми остатками периодов до и после такой смены человеческих типов.

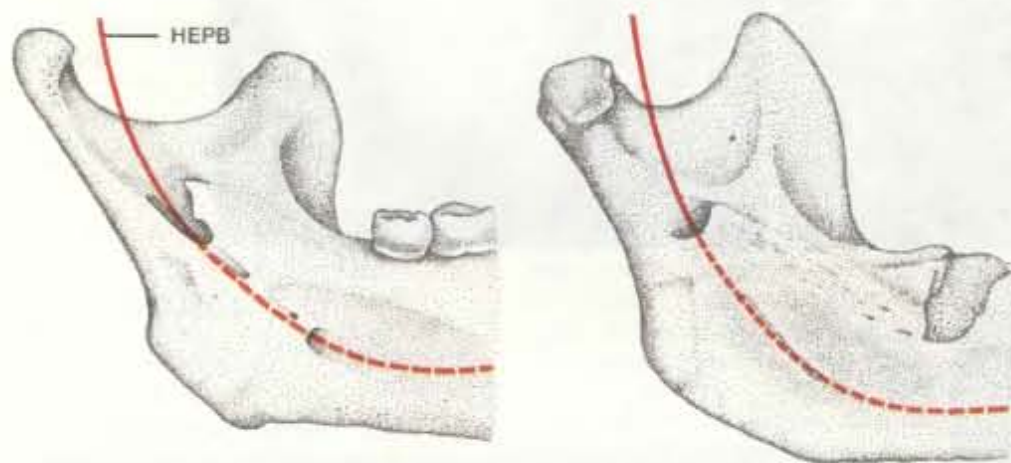
НАС СМУЩАЕТ голословное утверждение, что, начав примерно 200 тыс. лет назад, одна из групп охотников-собираателей полностью вытеснила с лица планеты все остальные. Хотя нет ничего необычного в достаточно быстром локальном замещении одного вида животных другим, утверждение о возможности такой стремительной смены во всех климатических и природных условиях беспрецедентно.

Напротив, можно было бы ожидать адаптивных и демографических преимуществ туземных популяций перед пришельцами. Однако, согласно теории Евы, все было как раз наоборот. Как велики должны быть преи-

мущества для полной смены населения, можно оценить на примере выживания множества групп охотников-собираателей в Австралии и Америке. Они сохранились, несмотря на вторжение европейцев, прибывавших за последние 500 лет в огромных количествах и вооруженных несравненно более сложными и разрушительными технологиями.

Если бы всемирное нашествие потомков Евы и замещение ими туземцев действительно имели место, была бы надежда найти по крайней мере некоторые археологические следы поведения, обеспечившего их успех. Однако в Азии ничего подобного не обнаружено. Например, если ручное рубило — весьма обычное орудие для Африки, восточноазиатские технологии не знали его ни до, ни после периода Евы. Свидетельства привнесения новой технологии отсутствуют.

Джеффри Дж. Поуп из Иллинойского университета подчеркивает, что шесть десятилетий изучения палеолитических материалов из Азии не сумели выявить ни одного указания на привнесенную извне культуру или технологию. Типы орудий, обнаруженные в древнейших стоянках азиатского палеолита, продолжают встречаться до самого конца плейстоцена.



МОРФОЛОГИЯ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ — характерная особенность многих скелетов неандертальцев. У большинства ныне живущих и ископаемых людей отверстие канала нижнечелюстного нерва с выемчатой кромкой (слева), но у многих неандертальцев оно перекрыто косным мостиком (справа). У некоторых более поздних европейцев также встречается эта неандертальская черта, хотя и реже.



Если пришельцы из Африки вытеснили местные азиатские популяции, значит, они унаследовали от них культуру и технологию, бесследно забыв свои собственные достижения.

Археологические свидетельства вторжения отсутствуют и в Западной Азии, где, по мнению Кристофера Б. Стрингера из Лондонского музея естественной истории и нескольких других исследователей, древнейшие люди современного типа (за пределами Африки) обнаруживаются в пещерах Скул и Кафзех в Израиле. Однако прекрасно сохранившиеся находки в Кафзех показывают, что культуры этих «современных» людей и живших тут же и одновременно с ними неандертальцев были идентичны: они изготавливали каменные орудия одного типа по одинаковой технологии и одинаково часто; использовали одинаково стилизованные погребальные обряды; охотились на одну и ту же дичь и даже разделяли ее одинаково. Более того, нет никаких свидетельств появления и распространения по другим континентам какой-либо новой африканской технологии в ту эпоху, когда, как предполагается, потомки Евы покинули Африку. Итак, азиатские данные, насколько мы их понимаем, опровергают археологические прогнозы, вытекающие из теории Евы.

Возможно, это объясняет, почему Уилсон обратился к другому гипотетическому преимуществу, предполагая, что вторжение было успешным, поскольку потомки Евы обладали митохондриальными генами, обуславливающими способность к речи. Это предположение еще не нашло многочисленных сторонников. Оно не только вступает в противоречие с палеоневрологическими данными о рече-

вых способностях архаичных людей, но, если бы оказалось справедливым, нарушило бы саму концепцию «молекулярных часов», подразумевающую нейтральный характер митохондриальных мутаций.

Остальные выводы из теории Евы связаны с резкими анатомическими изменениями и вопросом о сходстве древнейших людей современного типа с более ранними региональными популяциями или с африканцами. Опираясь на известные к настоящему времени ископаемые свидетельства, можно однозначно ответить на эти вопросы в случае по крайней мере двух (а возможно, и трех) регионов планеты. Наиболее убедительные данные получены в Северной и Южной Азии.

Ископаемые гоминиды из Австралии (Индонезия, Новая Гвинея и Австралия) представляют собой непрерывную анатомическую последовательность на протяжении всего плейстоцена, никогда не прерывавшуюся африканскими мигрантами. Отличительные черты древнейших яванских форм возрастом около миллиона лет показывают, что они развились в эпоху, когда эта область была впервые заселена людьми.

В отличие от ископаемых остатков из других регионов у яванского человека были толстые черепные кости с мощными сливающимися надбровными гребнями, образующими почти прямую костную полку над глазницами, и вторым хорошо развитым костным выступом на задней стенке черепа для прикрепления шейных мышц. Над бровями лоб плоский и скошенный назад. У этих ранних индонезийцев были также крупные, выступающие вперед лица с массивными округлыми скулами. Их зубы — самые

крупные среди известных архаичных людей этой эпохи.

Ряд мелких, но важных признаков можно обнаружить на наиболее полно сохранившейся лицевой части черепа и других лицевых фрагментах. К ним относятся скругленный гребень по нижнему краю глазниц, четкий гребень на скуловой кости и дно носовой полости, плавно переходящее в лицевую поверхность.

Эта уникальная морфология остается неизменной по меньшей мере 700 тыс. лет, хотя одновременно у яванского человека развиваются и современные признаки. Например, крупная ископаемая серия из Нгандонга, возраст которой недавно определен примерно в 100 тыс. лет, четко демонстрирует, что мозг яванцев той эпохи достиг современного размерного диапазона, хотя прочими чертами они оставались весьма сходными с гораздо более древними экземплярами из того же региона.

ПЕРВЫЕ ЛЮДИ, появившиеся в Австралии более 60 тыс. лет назад, по своей анатомии и поведению явно соответствовали современному местному типу. В их скелете просматривается яванский комплекс признаков наряду с дальнейшим увеличением размеров мозгового черепа и другими «усовершенствованиями». Несмотря на то, что хорошо сохранившиеся позднеплейстоценовые и раннеголоценовые ископаемые показывают, что этих индонезийцев от их современников, как и нынешних австралийских аборигенов, от прочих народов планеты отличает одинаковое сочетание признаков.

Если бы, как утверждает теория Евы, древнейшие австралийцы были потомками африканцев, эта непре-

рывность изменения ископаемых черт оказалась бы всего лишь иллюзией. Все признаки ранних яванцев должны были бы развиться вторично в популяции пришельцев. Неоднократное появление какого-то отдельного признака представить можно, хотя вероятность этого очень мала; повторение же целого набора несвязанных между собой черт имеет исчезающе малую вероятность.

В Северной Азии также обнаружены свидетельства неразрывной связи между ее современниками и древнейшими обитателями. Более того, поскольку эти черты сходства не относятся к признакам, типичным для Австралии, они вновь опровергают теорию Евы, требуя повторения уже другого полного набора черт у прошлой популяции.

Древнейшие китайские люди возрастом около 1 млн. лет отличаются от своих яванских современников многими признаками, соответствующими различиям между современными жителями Северной Азии и австралийскими аборигенами. Наша работа с Ву Синьчжи и независимое исследование Поупа показали, что китайские ископаемые формы не такие массивные, их плоские лица мельче, с более тонкими чертами, зубы также более мелкие, а сводчатый лоб отделен от дугообразных надбровных гребней. Носы менее выдаются вперед и более уплощены сверху. Возможно, наиболее четкое указание на непрерывность морфологической эволюции — особенности формы зубов. Выраженно «лопатовидные», загнутые внутрь своими боковыми краями нижние резцы встречаются необычно часто и у современных жителей Восточной Азии, и у всех ископаемых людей этого региона. Исследования

Трейси Л. Крамметт из Мичиганского университета показывают, что такая форма резцов доисторических и ныне живущих азиатов уникальна.

Это сочетание признаков свойственно и человеку из пещеры Чжоукоудянь в Северном Китае, где обнаружено не менее трети всех известных остатков людей среднего плейстоценового возраста. Как отмечает Ву Руан из Китайской академии наук, на протяжении 150 тыс. или более лет накопления здесь ископаемых заметны эволюционные изменения в направлении к современному типу, включая увеличение размеров мозга. Наш анализ этих китайских образцов не позволил обнаружить анатомических свидетельств происходившего когда-либо замещения черт древнейших китайцев типично африканскими. На-

против, наблюдается плавное преобразование исходных популяций в современные восточноазиатские народы.

Палеонтологи долгое время считали Европу наилучшим источником свидетельств замещения одной группы — неандертальцев — другой, т. е. более современными людьми. Однако даже здесь ископаемые останки показывают, что любой приток новых форм происходил не повсеместно и не исключал скрещивания. Действительно, черты поведения самых поздних из известных неандертальцев (из Сен-Сезер во Франции), по-видимому, соответствуют людям, сменившим неандертальцев в Европе. У древнейших постнеандертальских европейцев нет ни современных, ни архаичных африканских черт. Очевидно, что европей-

ские неандертальцы не были полностью замещены африканцами или жителями какого-либо другого региона.

Напротив, известные свидетельства предполагают либо эволюцию неандертальцев в более поздний тип людей, либо их скрещивание с ними, либо оба этих процесса. Дейвид У. Фрейер из Канзасского университета и Фред Х. Смит из Северного университета Иллинойса обнаружили, что многие якобы уникальные признаки неандертальцев присутствуют и у европейцев, которые их сменили, — людей верхнего палеолита, мезолита и более поздних эпох. Фактически лишь несколько неандертальских черт полностью исчезли в скелетах позднейших жителей Европы.

К сохранившимся признакам относятся как хорошо заметные структуры типа крупного выступающего вперед носа, так и гораздо более тонкие особенности, в частности форма задней части черепа и детали ее поверхности. Хороший пример — отверстие канала нижнечелюстного нерва на внутренней стороне нижней челюсти, куда дантисты часто делают обезболивающий укол. Верхняя часть этого отверстия у 53% известных европейских неандертальцев перекрыта широким костным мостиком; он присутствует и у 44% древнейших форм, сменивших их в верхнем палеолите; у мезолитических и более поздних групп частота данного признака падает до 6%.

И напротив, формы с таким мостиком лишь изредка встречаются среди ископаемых и современных людей Азии и Австралии. В Африке у нескольких челюстей, датируемых предполагаемым периодом жизни Евы, его также нет. Если бы теория Евы была верна, эта нижнечелюстная особенность и ряд других подобных ей признаков черепа и остального скелета должны были бы возникнуть в Европе дважды.

Итак, ход эволюции человека в трех различных регионах — Австралии, Китае и Европе — показывает, что у их древнейших обитателей отсутствовал комплекс черт, характерных для африканцев. Свидетельств полного замещения последними местных групп нет. В противоположность выводам из теории Евы имеющиеся данные неопровержимо указывают на непрерывное преобразование различных скелетных признаков, начиная с древнейших человеческих популяций и кончая современными народами этих регионов.

ЕСЛИ БЫ АФРИКА действительно была «Райским садом», откуда вышли все люди современного типа,

то только там можно было бы ожидать свидетельств перехода между архаичными и ныне живущими формами. Солидаризуясь с немецким ученым Райнером Прочем из Университета им. Гете во Франкфурте, некоторые палеонтологи и в самом деле утверждают, что современный *Homo sapiens* возник в Африке, поскольку именно там, по их мнению, обнаружены древнейшие ископаемые остатки подходящего типа, причем в них просматриваются расовые особенности нынешних африканцев. Однако имеющиеся данные по Африке немногочисленны, фрагментарны и в большинстве случаев плохо датированы; кроме того, к ним относится материал, по-видимому несогласующийся с теорией Евы.

Ранние человеческие останки из Африки, например череп из Кабве (Замбия), крайне редки; их возраст оценивается по крайней мере в 150 тыс. лет. Более поздние ископаемые переходного типа из Марокко, Эфиопии, Кении и Южной Африки подтверждают ожидаемую местную модернизацию черт, происходившую здесь также, как и в других областях планеты. Однако ни одна особенность этих останков не указывает на опережающее появление скелетных признаков, характерных исключительно для современного человека в целом или даже для современных африканцев в частности.

Утверждения о глубокой древности людей такого типа основаны в первую очередь на изучении костей из трех мест — Омо в Эфиопии, реки Клейзис и пещеры Бордер в Южной Африке. Некоторые формы из Омо и пещеры Бордер похожи на ныне живущих людей, но все эти остатки фрагментарны. В Омо большинство их обнаружено на поверхности в недатированных слоях. Оценка их возраста, проведенная ненадежным методом, многими признается спорной. Некоторые из костей пещеры Бордер, включая и наиболее полный череп, были выкопаны местными рабочими в поисках удобрений, и возраст их также неизвестен. Другие человеческие кости, обнаруженные в горизонте возрастом 90 тыс. лет, химически отличаются от найденных там же костей животных. Возможно, они относятся к более поздним захоронениям в этой пещере.

Лучший материал получен из пещеры около устья реки Клейзис. Его точно установленный возраст составляет 80 000—100 000 лет. У некоторых мелких фрагментов черепа тонкие черты, что как будто «доказывает» принадлежность их современному человеку. Однако сравнительный ана-



РЕКОНСТРУКЦИЯ МАТЕРИНСКИХ ЛИНИЙ РОДСТВА, основанная на встречающихся только сегодня типах мДНК, неточна в принципе. Гипотетическое генеалогическое древо, построенное только по пяти современным типам (слева), не включает ветви, а значит, и мутационную историю вымерших линий (справа). Следовательно, учитывая слишком мало мутаций, оно приводит к гораздо более позднему существованию общего предка.

лиз всего материала, проведенный Рейчел Каспари из Албион-Колледж, показал полное несоответствие других остатков этому типу. У двух из четырех нижних челюстей отсутствует подбородочный выступ, т. е. характернейшая черта современной человеческой челюсти. Единственная скуловая кость из этого местонахождения не только шире, чем у ныне живущих африканцев, но даже шире и массивнее, чем у более ранних людей архаичного и переходного типов, известных в Африке. Таким образом, утверждение о присутствии среди этого материала останков современных африканцев в высшей степени сомнительно и не подтверждает версии о появлении именно в Африке древнейших людей современного типа.

ВИДУ неподтверждаемости гипотезы о единственном африканском предке всех ныне живущих людей большинства областей планеты и отсутствия свидетельств первоначального появления современного человека в Африке мы никак не можем согласиться с положениями, вытекающими из теории Евы. Удивительно даже, как специалисты по мДНК предложили теорию, столь явно противоречащую фактам. Возможно, данные по мДНК были ими неправильно истолкованы.

Основная трудность применения мДНК для интерпретации недавней эволюционной истории проистекает из того же источника, что и преимуществ этого метода: при размножении происходит клонирование мДНК, а не ее рекомбинация. Поскольку мДНК передается только по женской линии, велики возможности

дрейфа генов, т. е. случайной утраты некоторых ее линий: какие-то мДНК исчезают всякий раз, когда в поколении отсутствуют дочери.

Эта проблема аналогична потере фамилии всякий раз, когда в семье нет сыновей. Представим себе в огромном городе квартал иммигрантов, у всех обитателей которого одна и та же фамилия. Наблюдатель мог бы предположить, что все эти семьи — потомки единственной, добившейся успеха иммигрантской семьи, вытеснившей всех своих соседей (как, по теории Евы ее потомки вытеснили с лица Земли всех прочих людей). Но есть и альтернативное объяснение: множество семейств иммигрантов стали родниться только друг с другом; спустя некоторое время все их фамилии, кроме одной, исчезли в связи со случайным отсутствием в некоторых семьях сыновей, передающих свою фамилию детям. Оставшаяся фамилия унаследована от одного человека, но на самом деле все иммигранты передали свои гены нынешнему поколению. Точно так же поколения без дочерей привели к исчезновению некоторых линий мДНК потомков Евы и ее современников.

Следовательно, любая интерпретация мутаций мДНК, сохранившихся в нынешних популяциях, зависит от знания того, как менялся во времени размер их популяций и как это могло вести к исчезновению множества материнских линий родства. Случайные утраты за счет генного дрейфа фальсифицируют реконструируемое генеалогическое древо человеческой мДНК, в ветвлении которого уже не заметно следов многих прошлых расхождений. Каждая неучтенная ветвь



	ЕВРОПА И БЛИЖНИЙ ВОСТОК				АФРИКА				ВОСТОЧНАЯ АЗИЯ				АВСТРАЛИЗИЯ			
	КРОМАНЬОН ПРШЕДМОСТИ МЛАДЕЧ				АФАЛУ ЛУКЕНЬЯ				ШАНЬДИНДОН ЦЗЬЯН ЛЮЦЗЯН				БОЛОТО КАУ ВАДЖАК КЕЙЛОР			
ВЕРХНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН	ВИНДИДЖА КЕБАРА ЛА-ФЕРРАСИ ЛА-ШАПЕЛЬ				ДАР-ЭС-СОЛЬТАН				МАБА				ОЗЕРО МУНГО 1, 3 ОЗЕРА ВИЛЛАНДРА 50			
	КАФЗЕХ КРАПИНА				КЛЕЙЗИС				ДИНКУНЬ СЮЙЦЗЯО				НГАНДОНГ			
СРЕДНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН	ЭРИНГСДОРФ БЬЯШ ЗУТТИЕ				НГАЛОБА ФЛОРИСБАД				ДАЛИ ЦЗИНЬЮШАНЬ				САМБУНГМАЧАН			
	ПЕТРАЛОНА АРАГО ШТАЙНХАЙМ				БОДО ТЕРНИФИНЕ ОЛДУВАИ 12				ЧЖОУКОУДЯНЬ ХЭСЯНЬ ЮНСЯНЬ				?			
НИЖНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН					ОЛДУВАИ 9				ГОНВАНЛИН				САНГИРАН 4, 27, 31			
					ОЗЕРО ТУРКАНА (ВОСТ.) 892											
				ОЗЕРО ТУРКАНА (ВОСТ.) 730, 3883, 3733 (ЗАП.) 15000												

ХОРОШО ДАТИРОВАННЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ указывают на непрерывную эволюцию современного человека по всему миру. У ныне живущих групп людей в разных регионах планеты развивались своеобразные анатомические признаки. Тем не менее поток генов между ними был достаточным для сохранения человечества как единого биологического вида.

— это мутация, не принимаемая во внимание при определении того, насколько давно жила Ева.

Изменения размеров человеческих популяций были резкими. В некоторых областях Северного полушария они существенно падали из-за климатических колебаний в ледниковую эпоху. Археологические данные из Африки и Австралии говорят о том, что сходные сокращения популяций могли происходить и там. При этом резко усиливался дрейф генов с утратой различных типов мДНК.

В конце ледникового времени с переходом к раннему земледелию и скотоводству некоторые популяции взрывообразно распространились по обширной полосе суши от Средиземноморья до Тихоокеанского побережья Азии. Хотя численность людей росла, количество сохранившихся линий мДНК осталось прежним — их утрата невосполнима.

Следовательно, можно ожидать, что человеческие популяции с различной демографической историей сохраняют неодинаковое число мутаций, возникавших со времени существования ближайшего общего предка их мДНК. Их нельзя использовать вместе в модели, исходящей из того, что длина митохондриальных линий родства отражает время их расхождения. Невозможно вслед за Уилсоном допустить лишь мутационное происхождение всех изменений мДНК популяций: важно учитывать и историю последних.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, главная проблема теории Евы — зависимость ее от точных молекулярных часов. Эта точность основана на скорости мутаций во многих различных локусах, т. е. местах локализации генов. Однако гены одной мДНК не могут рекомбинировать как ядерные. Все они в мДНК эквивалентны единственному локусу. Следовательно, молекулярные часы, сверенные по мДНК, ненадежны.

Возможно, мДНК недостаточно нейтральна, чтобы служить основой для молекулярных часов, поскольку есть данные, указывающие на ее роль в развитии ряда заболеваний. В связи со случайной утратой и естественным отбором скорость эволюции мДНК некоторых групп позвоночных, в частности цихловых рыб в озере Виктория в Африке, американских угрей и птиц краснокрылых трупалов, гораздо ниже, чем предположили для людей Уилсон и его коллеги. Ряд молекулярных генетиков не согласны с тем, как Уилсон интерпретирует данные митохондриальной генетики.

По нашему мнению, молекулярные

часы Уилсона и его коллег страдают еще одним важным недостатком: похоже, их скорость переоценивается в одних случаях и недооценивается в других. Ребекка Л. Канн из Гавайского университета в Маноа и Марк Стоункинг из Университета шт. Пенсильвания — оба ученики Уилсона — признали недавно, что их часы могут датировать время жизни Евы только периодом 50 000—500 000 лет назад. Ввиду такой неопределенности признавать существование молекулярных часов для последних полумиллиона или более лет человеческой эволюции просто нелогично.

Оставив саму эту идею, можно выбрать гораздо более разумный подход к интерпретации генетических данных: Ева, исходный митохондриальный предок всех современных людей, жила до первоначальной миграции человека из Африки по меньшей мере 1 млн. лет назад. Значит, распространение разных типов мДНК отражает расселение каких-то ранних предшественников человека в Евразию, где тогда вообще не было гоминид. Такая интерпретация полностью примиряет ископаемые свидетельства с генетическими данными. По нашему мнению, будущие исследования принесут больше пользы, если сосредоточатся на опровержении этой гипотезы, а не на попытке очередной калибровки явно испорченных часов.

Поразительная генетическая однородность всего человечества отражает не наличие у всех современных людей недавнего общего предка, а существование тесных связей между популяциями со времен первого расселения наших предшественников по Старому Свету более миллиона лет назад. Это результат их обмена половыми партнерами, характерного для человечества со времен его зарождения. Эволюция человека шла повсюду, поскольку каждая область всегда составляла часть его общего видового ареала.

Итак, ни анатомический, ни генетический анализ не подтверждает теорию Евы. Однако ископаемые свидетельства и интерпретацию изменений мДНК можно объединить в рамках единой концепции происхождения человека, которая вполне соответствует всей накопленной на сегодняшний день информации. В ней сочетаются наилучшие источники сведений об эволюции человека — археологические и палеонтологические находки — и данные по генетическому разнообразию современных людей по всему миру. Их поразительное внешнее сходство, контрастирующее с тесной генетической близостью, — прямое следствие эволюции. По сути дела, мы больше похожи друг на друга в главном — в том, что находится у нас под кожным покровом.

Наука и общество

Нет отходам

ПРОИЗВОДЯ и потребляя свой валовой внутренний продукт, Соединенные Штаты производят также ежегодно 13 млрд. тонн «неопасных» отходов, включая 180 млн. тонн городского мусора. Этот растущий поток переполняет свалки и мусоросжигательные печи, и в некоторых случаях жители ближайших окрестностей оказываются буквально заваленными мусором.

В 1976 г. конгресс США сделал попытку предотвратить надвигающееся бедствие, связанное с отходами, и принял Закон о сохранении и восстановлении ресурсов, сокращенно называемый RCRA (Resource Conservation and Recovery Act). Этот закон ввел строгий контроль за опасными стоками, но не остановил нарастающий поток неопасных отходов. В этом году RCRA должен быть обновлен, и промышленные ассоциации, объединения и группы экологов, члены кон-

гресса и официальные представители администрации начали готовиться к предстоящим сражениям. Рассматривавшиеся в 80-х годах законопроекты, которые были внесены с целью исправления и улучшения RCRA, свидетельствуют о важном политическом значении проблемы.

Детальные законопроекты, предложенные сенатором М. Бокусом от шт. Монтана и конгрессменом А. Свифтом от шт. Вашингтон, вероятно, станут основой для пересмотра RCRA. В них слышны отзвуки призывов и заклинаний ортодоксальных защитников окружающей среды «свети к минимуму, используй вторично, организовывай и контролируй свалки, компостируй и храни». Выражаясь более конкретно, предложенные законопроекты могут заставить промышленность сократить количество отходов и двинуться по пути выполнения поставленных страной целей вторичного использования ресурсов. Они могут также усилить

надзор со стороны Агентства по охране окружающей среды (АООС) за свалками и мусоросжигающими предприятиями и, вероятно, позволят агентству контролировать и регулировать промышленные стоки, которые в настоящее время им не контролируются. Пересмотренный RCRA, возможно, вторгнется в новую область, впервые потребовав от промышленности сократить использование ею токсических химических веществ.

Каждый из законопроектов содержит свои особые положения. Проект Свифта предусматривает дать штатам право — а некоторые из штатов уже объявили о таких своих намерениях — устанавливать более высокую плату за экстерриториальные отходы. В обмен эти штаты могли бы предложить планы удаления отходов и получить за них одобрение АООС (только 25 штатов имеют сейчас такие планы). В рамках данного законопроекта можно было бы также установить минимальное содержание материалов, вторично используемых для упаковки, потребовать от штатов извлекать определенные количества пригодных для утилизации материалов из потока отходов и расширять федеральные закупки изделий из вторсырья.

Сотрудники аппарата Бокуса хотели бы законодательно закрепить концепцию «ответственных корпоративных юридических лиц». При этом ответственность за вторичное использование можно было бы возложить на тех, кому принадлежат торговые или заводские марки. Изготовитель безалкогольного напитка определенной марки должен будет, например, гарантировать, что некоторый процент его баночной тары станет использоваться вторично. Их план выдвигается как ответ на возражение промышленности против одного из предшествующих предложений, согласно которому целым производственным секторам потребовалось бы использовать определенные заданные проценты утилизируемых материалов.

Вопрос о неопасных отходах занимает, конечно, доминирующее положение, но тем не менее некоторые предложения касаются также и отходов других типов. Бокус, например, пытается найти более жесткие средства контроля за тем, что называют «специальными» видами отходов. Здесь имеются в виду отходы, образующиеся при горных разработках и обработке металлов, а также при бурении нефтяных и газовых скважин. Эти отходы в настоящее время контролируются штатами недостаточно, и один из союзов защит-

ников окружающей среды, во главе которого стоит «Сьерра Клуб», утверждает, что многие из таких отходов настолько токсичны, что целесообразно ввести контроль со стороны федеральных организаций. Конгрессмен Джерри Сикорски от шт. Миннесота подготовил законопроект, который дает «право знать больше» о токсических химических веществах; при этом расширяется список химикатов, о которых нужно сообщать в АООС при их утечке.

Как и у Бокуса, в законопроекте Сикорски требуется, чтобы промышленность представляла планы по сокращению использования токсичных химических веществ и получала одобрение на них в АООС. Один из помощников Сикорски отмечает, что в нескольких штатах уже реализуются программы по сокращению использования токсических химических веществ. Он утверждает, что эти программы наряду с существующим регистром АООС по токсичным выбросам побудили ряд компаний уменьшить использование токсичных химических веществ. Поступив так, некоторые из них сэкономили деньги.

Какими бы ни оказались результаты слушаний в конгрессе, обновленный RCRA, по всей видимости, поставит промышленность в условия более жестких юридических ограничений и увеличенных расходов. И с точки зрения промышленников препятствие именно в этом. Американский совет по бумаге и Американский нефтяной институт, например, утверждают, что предпринятые ими по доброй воле инициативы в области использования вторсырья и уменьшения отходов приносят пользу окружающей среде без каких-либо мер регулирующего характера.

Эти и другие промышленные группы ведут сейчас лоббистскую деятельность, с тем чтобы их отходы не попали под более строгий контроль. «Больше всего нас беспокоит, что программа регулирования, касающаяся опасных отходов, может быть распространена и на неопасные», — говорит Маргарет Роджерс из фирмы Dow Chemical. Национальная ассоциация промышленников не одобряет предложенные меры по сокращению токсичных отходов, так как они отражают «командно-административный» подход, определяющий действия, которые должна выполнять промышленность, вместо того чтобы предоставить экономике самой решить, каким путем наиболее эффективно достичь нужных целей.

С точки зрения руководителя АООС У. Райли, внесенные предложения, по всей видимости, слы-

ком дорого обойдутся, чтобы считать их хорошими. На проводившихся в 1991 г. слушаниях в конгрессе Райли показал, что АООС выступает против пересмотра RCRA, который, как он отметил, уже обходится в 32 млрд долл. в год. Райли напомнил конгрессу, что АООС имеет собственный план сокращения токсичных отходов, к участию в котором присоединились более 250 компаний. Дальнейшее усиление контроля и регулирования, в особенности по отношению к неопасным материалам, по словам Райли, «вряд ли приведет к существенным результатам, если не считать ограниченного числа случаев».

Все стороны, участвующие в обсуждениях, встретились с определенными реальными трудностями. Одна из них — синдром «нимби» (по первым буквам английского выражения *not in my back yard* — только не на моем дворе). Местная оппозиция, выступающая против свалок и мусоросжигающих предприятий, стала сейчас одной из главных причин резкого удорожания вывоза отходов в последние годы. Имеет также место спад на рынке утилизируемых товаров широкого потребления: АООС поставила цель добиться к 1995 г. утилизации 25% городских отходов, однако многие местные программы преуспели лишь в заполнении складских помещений старыми газетами и стеклом, которые никто не будет покупать. Несмотря на интенсивное политическое давление на сокращение потока отходов, сейчас утилизируется лишь 13% твердых бытовых отходов.

Бесстрашные защитники окружающей среды, участвующие в дебатах относительно RCRA, считают, что некоторые из рассматриваемых сейчас предложений вызовут резкое расширение рынка в этой области. Райли отметил, что разумное стимулирование расходов покупателей может дать результаты. В Сент-Луисе, например, где в домашнем хозяйстве производится больше мусора, приходится больше платить за его вывоз, и поэтому количество утилизируемых отходов здесь намного выше, чем в других местах.

В ожидании того момента, когда силы, занимающиеся пересмотром RCRA, придут к состоянию, которое в политике называют консенсусом, ветераны экологического движения могут уже праздновать важное достижение на пути прогресса. Речь теперь идет не о том, станет ли повторное использование и сокращение отходов нормой жизни, а о том, как это сделать.

Горные пояса и суперконтинентальный цикл

Каждые 500 млн. лет все континенты собираются в единый массив суши. С образованием и распадом таких суперконтинентов связаны тектонические процессы, позволяющие по-новому взглянуть на происхождение горных поясов

ДЖ. БРЕНДАН МЕРФИ, Р. ДАМИАН НАНС

В ПОСЛЕДНИЕ годы мы с коллегами пришли к поразительному выводу о том, что движения земной коры происходят с определенной закономерностью: каждые несколько сотен миллионов лет все матерки собираются вместе, образуя единый массив суши — суперконтинент. Основным достоинством нашей теории является ее способность объяснить разнообразные процессы горообразования, наблюдаемые на земном шаре. Кроме того, она поможет геологам воссоздать древние географические положения континентов.

Чтобы понять, как образуются суперконтиненты, мы отталкиваемся от концепции тектоники плит, появившейся примерно 25 лет назад. Эта теория впервые дала единое объяснение происхождения горных цепей, развития и исчезновения океанических бассейнов, а также распределения на земном шаре землетрясений и вулканов. Согласно этой концепции, жесткая твердая оболочка Земли, литосфера, которая включает и дно океанов, и возвышающиеся континентальные массы, состоит из семи основных компонентов, или плит. Плиты скользят по поверхности горячего податливого слоя земной мантии — астеносферы. Распад присутствующих в Земле радиоактивных элементов приводит к выделению в ее недрах тепла, создающего конвективные течения вещества на глубине; эти течения увлекают поверхностные плиты, движущиеся со скоростью нескольких сантиметров в год.

Проследивая движения материковых массивов в обратном направлении к их исходным позициям, мы приходим к выводу, что континенты, окружающие Атлантический океан, когда-то были частями единого массива суши, расколовшегося приблизительно 180 млн. лет назад. Гипотезу дрейфа континентов высказал впервые в 1912 г. немецкий геофизик, метеоролог по образованию, Альфред

Вегенер, назвавший прародительницу современных континентов Пангеей, что означает «вся земля». Его концепция получила геологическое подтверждение, когда обнаружилось, что многие структуры возрастом более 180 млн. лет продолжают за континентальные границы. Подтверждают ее и сведения о распределении древних биологических видов и климатических зон.

Сейчас исследователи все больше убеждаются в том, что Пангея была не первым суперконтинентом. В начале 1970-х годов Дж. Вильсон, работавший тогда в Университете Торонто, выдвинул гипотезу, согласно которой под действием тепловых эффектов внутри Земли континенты могли расходиться и вновь собираться воедино при периодическом раскрытии и закрытии океанов. Совсем недавно один из авторов (Нанс) вместе с Томасом Уорсли и Джудит Муди из Университета шт. Огайо развил идеи Вильсона. Мы предположили, что существует суперконтинентальный цикл с периодом около 500 млн. лет (см. статью «Суперконтинентальный цикл» Р. Дамиана Нанса, Томаса Р. Уорсли и Джудит Б. Муди — «В мире науки», № 9, 1988).

Главным доводом в пользу такого цикла являются интенсивные эпизоды горообразования и формирования континентальных рифтов, которые происходили, по-видимому, с периодичностью примерно 500 млн. лет. Вначале мы проверили свои идеи, рассмотрев геологические последствия существования самого последнего из суперконтинентов — Пангеи. Затем мы проанализировали в рамках нашей модели один из критических периодов в истории Земли приблизительно от 500 до 700 млн. лет назад. В то время целая последовательность геологических событий, которые, как полагают, были связаны с образованием более древнего суперконтинента, привела к глубоким изменениям

окружающей среды, в том числе состава морской воды, глобального климата и уровня моря. Подобные изменения могли сильно повлиять на эволюцию живых организмов и, что интересно, совпадают с появлением первых сложных, многоклеточных видов, открывших путь для развития современных форм жизни, включая человека.

ЧТО МОГЛО заставить Пангею (или другой древний суперконтинент) разделиться на части? Ответ на этот вопрос дают две взаимодополняющие теории. По мнению Дона Андерсона из Калифорнийского технологического института, суперконтиненты распадаются потому, что слагающие матерки породы — плохие проводники тепла по сравнению с более тонким и плотным (базальтовым) океаническим дном. Соответственно большие континенты или суперконтиненты играют роль изолирующих покрывал, мешающих выходу тепла из мантии. Температура под суперконтинентом повышается так же, как под книгой, если ее положить на электроодеяло. По мере аккумуляции тепла уменьшается плотность материала в основании литосферы, что заставляет вышележащий суперконтинент выгибаться вверх, принимать куполообразную форму и растрескиваться. Расплавленные породы из пе-

СУПЕРКОНТИНЕНТ ПАНГЕЯ, как он выглядел при своем образовании 290 млн. лет назад. Столкновения континентов привели к возникновению складчатых внутриконтинентальных гор (фиолетовый). Погружение океанического дна в горячие недра на периферии суперконтинента явилось причиной образования вулканов и родственных им поднятий (оранжевый). С учетом этих процессов формирование и распад суперконтинента могут объяснить огромный разнообразие горных поясов.

регретной астеносферы быстро заполняют образовавшиеся трещины, которые продолжают расширяться по мере расхождения отдельных частей разделившегося на фрагменты суперконтинента.

Вторая модель распада суперконтинента, предложенная Эндрю Хайнзом из Университета Мак-Гилла, объясняет этот процесс эффектами вращения Земли. Суперконтиненты обладают большим моментом количества движения (они состоят из приподнятых масс, что делает Землю довольно кривокобой). Из-за большого момента внутри суперконтинента долгое время существуют напряжения, в кон-

це концов разрывающие его на части.

Вероятно, оба процесса играют определенную роль в распаде суперконтинентов. В любом случае суперконтинент несет в себе свою гибель уже в момент образования. Материал, поступающий из астеносферы и заполняющий промежутки между континентальными фрагментами, сам по себе плотнее пород континентальной коры, поскольку мантия богаче такими элементами, как железо и магний. После того как внедрившаяся магма охладится и затвердеет, она, естественно, оседает вниз, т. е. возникает низколежащая область, которая в конечном счете наполняется водой,

становясь дном нового океана. Расщелина (рифт), через которую поднимается горячий материал, становится центром спрединга (раздвигания), имеющим специальное название срединно-океанического хребта. По мере того как горячий материал продолжает подниматься на поверхность в районе хребта, океан расширяется и континенты удаляются друг от друга. В настоящее время этот процесс идет в середине Атлантического океана, где формируется новая кора, и в результате обе Америки отодвигаются от Европы и Африки.

Расхождение материков не может продолжаться до бесконечности. Чем

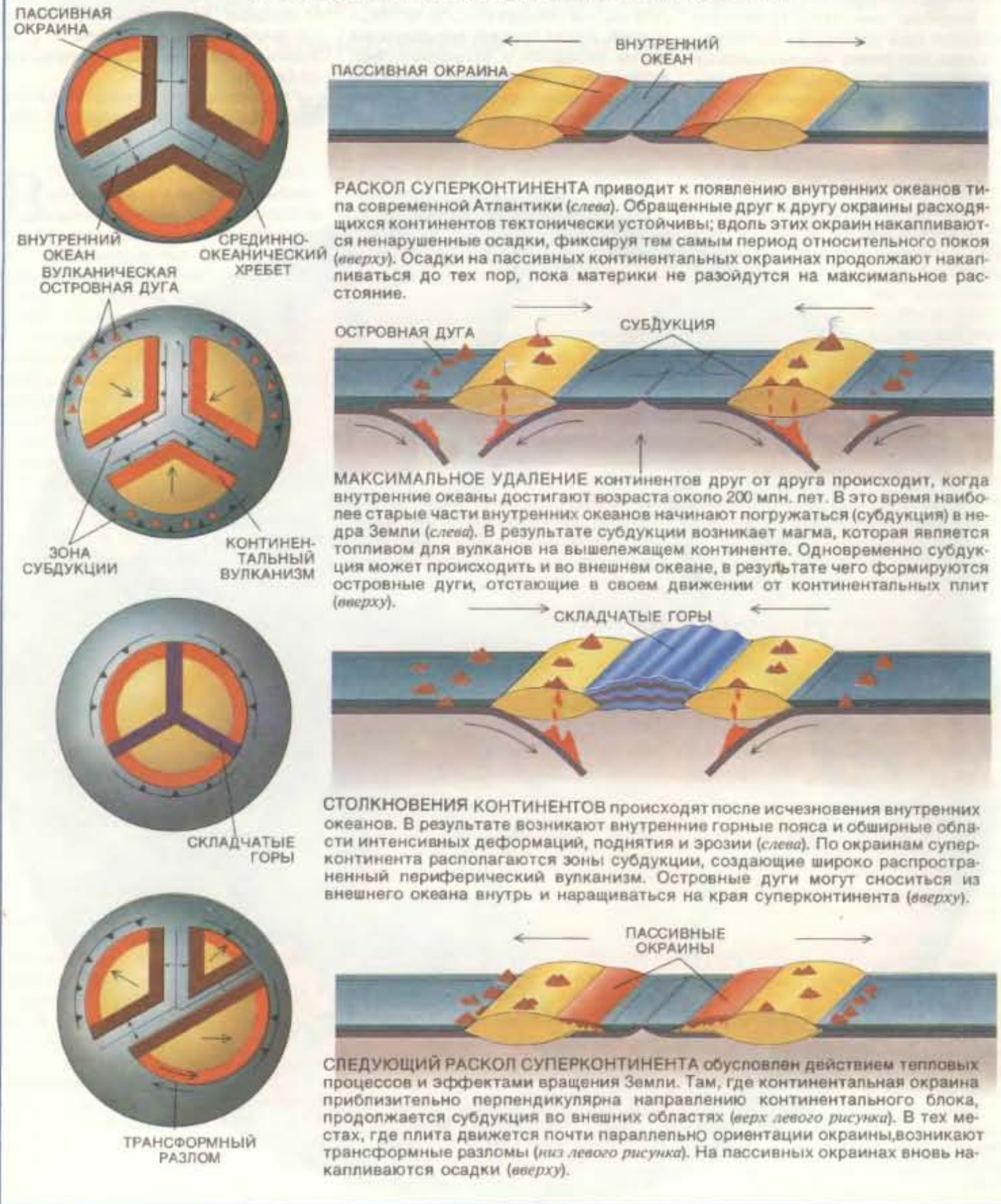


старше океаническая кора, тем больше она охлаждается и уплотняется; следовательно, удаляясь от хребта, морское дно понижается. Действительно, исследуя дно Атлантического океана, ученые обнаружили, что, чем дальше от Срединно-Атлантического

хребта, тем оно старше и глубже. Древнейшие породы располагаются на окраинах Центральной Атлантики. Возраст этих пород 180 млн. лет. В конечном итоге самое древнее океаническое дно в районе окраин континентов становится плотнее ниже-

жащей астеносферы. В глубоководных желобах — таких, например, как Марианский желоб в современном Тихом океане, — холодная океаническая кора снова погружается в недра Земли в ходе процесса, называемого субдукцией.

Как проявляется суперконтинентальный цикл



Из расчетов Хайнза следует, что, когда возраст океанического дна становится больше примерно 200 млн. лет, эффект увеличения плотности материала начинает преобладать над сопротивлением его погружению в процессе субдукции. И действительно, в современных океанах исследователи нигде не встречают кору возрастом более 200 млн. лет. Атлантический океан, по-видимому, сейчас приближается к максимально возможному возрасту и ширине. Не позже чем через несколько десятков миллионов лет в тех районах Атлантики, где морское дно наиболее старое, т. е. на окраинах континентов, должна начаться субдукция. Когда это произойдет, окаймляющее Атлантический океан кольцо суши станет геологически активным и происходящее в настоящее время раздвижение континентов прекратится.

Благодаря тепловым изменениям, происходящим в глубоких недрах Земли, субдукция, вообще говоря, приводит к стягиванию континентов навстречу друг другу. Тепло, которое первоначально скапливалось под суперконтинентом и проявлялось прежде всего в развитии срединно-океанического хребта, теперь с легкостью выходит через тонкое океаническое дно. Поэтому осколки суперконтинента по мере их отделения уходят вглубь, а конвективные потоки, уносившие их в стороны, увлекают их вплоть до остановки. Следовательно, происходящая по краям океана субдукция фактически производит «перемотку», перемещая обратно разошедшиеся до этого континенты. В конечном счете раскинувшиеся между кон-

тинентами океаны совершенно исчезают, а континенты сталкиваются друг с другом. В результате возникает новый суперконтинент и подготавливается почва для наступления следующего цикла.

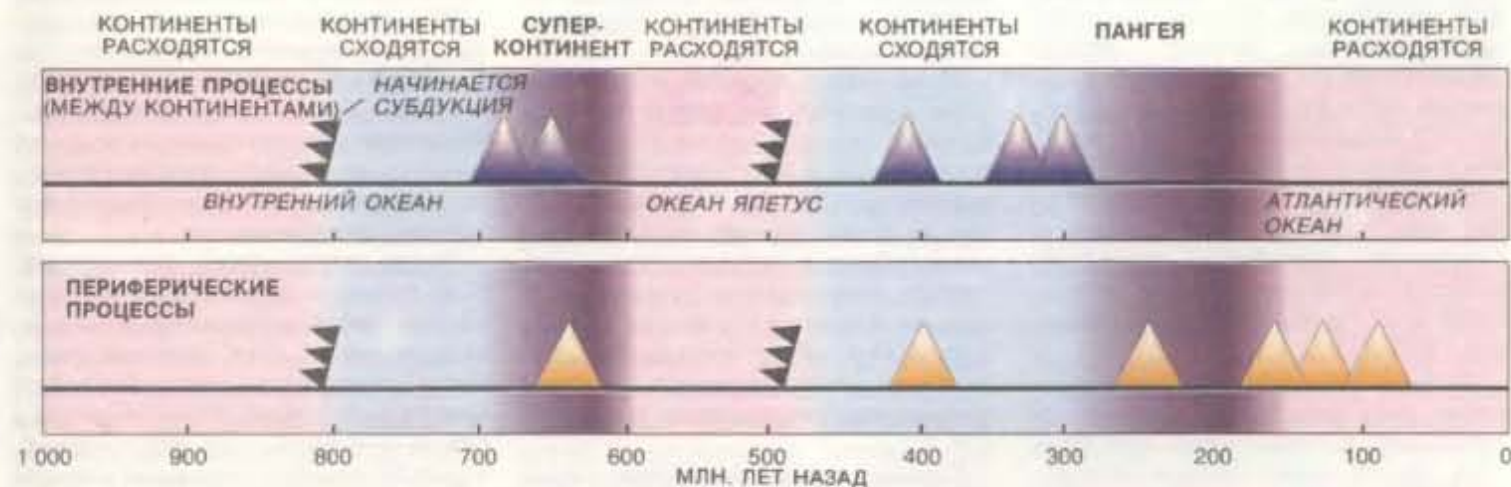
Если основываться на установленной истории Пангеи, то можно ожидать, что жизнь суперконтинента длится около 100 млн. лет. Океаны, образующиеся при расколе суперконтинента, не могут существовать более 400 млн. лет — в том случае, если они смыкаются с той же скоростью, что и раскрываются.

Объединив концепции суперконтинентального цикла и тектоники плит, мы разработали всеобъемлющую модель, которая может объяснить огромное разнообразие горных цепей, существующих на земном шаре. Мы пришли к выводу, что образование суперконтинентов из отдельных материковых массивов и последующий их раскол должны приводить к возникновению двух различных типов горных поясов, или орогенов (от греческого «орос» — гора). Столкновения континентов заставляют земную кору сминаться в складки и выгибаться; возникающие в результате горные пояса называются внутренними орогенами, так как после слияния континентов они оказываются внутри суперконтинента. Образование Гималайских гор отражает происходящее столкновение между Индостаном и Азией. Субдукция океанической коры, происходящая на краю континента или суперконтинента, приподнимает вышележащие породы коры и пробуждает вулканическую активность. Так появляются орогенные зо-

ны совсем иного типа, называемые периферическими орогенами. Скалистые горы образовались в результате субдукции существующих в Тихом океане океанических плит под западную часть Северной Америки.

Пример Пангеи служит пробным камнем для проверки того, насколько хорошо наша модель внутренних и периферических орогенов соответствует известным движениям континентов. Для реконструкции положений материков в прошлом исследователи пользуются разными методами. В богатых железом вулканических и осадочных породах фиксируется ориентация земного магнитного поля, существовавшего во время их формирования; эти породы действуют, как компасы, давая местную широту для того времени. Измерения содержания радиоактивных изотопов в свою очередь позволяют установить возрасты этих пород. Кроме того, геологи делают выводы об относительном расположении континентов в давние времена, подгоняя друг к другу и объединяя крупные геологические структуры, которые оказались разделенными на части более поздними движениями плит.

ПРИ ФОРМИРОВАНИИ суперконтинента Пангея на протяжении многих миллионов лет происходило множество столкновений. В период примерно от 420 до 380 млн. лет назад континентальный массив под названием Лаврентия (в который входила значительная часть современной Северной Америки) вторгся в Балтику (Европу). Слившись воедино, два этих массива образовали Лавразию. Затем



ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХРОНОЛОГИЯ показывает процесс горообразования, связанный с формированием и распадом двух самых недавних суперконтинентов за последний миллиард лет. Горы создают два типа процессов — внутренние и внешние. Внутренние процессы (верхняя линия) происходят, когда континенты сталкиваются, создавая складчатые горы (фиолетовые конусы). Внутренние океаны от-

крываются, когда континенты расходятся, и начинают закрываться, когда начинается субдукция. Периферические процессы (нижняя линия) включают возникновение вулканических гор (оранжевые конусы) на окраинах массивов суши, где океаническая кора погружается под континентальную плиту.



ИСТОРИЯ ПАНГЕИ началась около 500 млн. лет назад, когда континенты располагались вокруг океана Япетус (а). Столкновение Лаврентии (Северной Америки) с Балтикой



(Европой) привело к образованию Лавразии (б). Когда Лавразия соединилась с Гондваной (включавшей все остальные материки), сформировав таким образом Пангею, Япе-

тус исчез (с). Каждое столкновение сопровождалось эпизодом горообразования. По мере распада Пангеи движение плит изменялось. Так, Северная Америка сначала пере-

между 360 и 270 млн. лет назад Лавразия столкнулась с Гондваной (состоявшей из отдельных участков современных Африки, Индостана, Южной Америки, Австралии и Антарктиды) и Сибирью, породив тем самым Пангею. Подобные столкновения между континентами расчлениют их континентальные шельфы. Край одного континента надвигается при этом сверху на другой, вызывая на большом протяжении изгибание и смятие пластов, которые первоначально были горизонтальными. Вследствие этого в зоне столкновения континентальная литосфера заметно утолщается. Силы сжатия заставляют надвинутую плиту воздыматься, приводя к формированию высоких гор.

В местах, где столкнулись отдельные компоненты Пангеи, имеются эродированные остатки испытавших воздымание гор. Сближение Лаврентии и Балтики породило Каледонский орогенический пояс — область сильных деформаций, соответствующую эродированному горному хребту, протянувшегося от Ирландии к северной части Скандинавии и к Гренландии. Зоны складчатых гор и разломы появились на юге США (орогенция Уошито) и в восточной их части (Аппалачи), когда Лавразия слилась с Гондваной; аналогичные структуры возникли в восточной части Европы (образовав Урал) при слиянии Лавразии с Сибирью.

Внутренние орогенные оставляют после себя несколько характерных признаков, которые могут распознавать геологи. Приводящие к столкновениям силы задвигают перекрытую плиту в более глубокие и горячие участки земной коры. Если минералы, образовавшиеся вблизи поверхности, попадают в условия более высоких температур и давлений, они становятся неустойчивыми, расплавля-

ются и поднимаются к поверхности. В некоторых случаях они вступают в реакции друг с другом и видоизменяются (метаморфизуются), образуя новые, устойчивые минеральные ассоциации. Возникающие в результате таких изменений метаморфические породы соответствуют высокой ступени метаморфизма, так как они кристаллизуются только при тех высоких температурах и давлениях, которые существуют вблизи подошвы земной коры.

Когда сжимающие силы перестают действовать в зоне столкновения между континентами, опустившаяся вглубь, но все еще достаточно плавучая кора быстро движется назад, подобно тому как погруженный под воду деревянный брусок тотчас же всплывает после исчезновения удерживающей его под водой силы. В течение миллионов лет эрозия стирает следы испытавшей поднятие коры, пока на поверхности не обнажатся прежде опустившиеся, сильно метаморфизованные породы континентальной коры.

Из-за такого мощного поднятия и происходящей вследствие этого чрезвычайно сильной эрозии приповерхностные следы внутренних орогенных, как правило, не сохраняются. Вместо них на более древние, сильно метаморфизованные породы могут отложиться колоссальные толщи новых осадков. Однако в тех местах, где эти пласты выходят на поверхность, геологи могут легко различить красноречивые следы столкновения континентов.

Осадки, накапливающиеся после периода горообразования, не подвергаются действию сжимающих напряжений, как их предшественники. Поэтому они состоят из минералов, которые образовались при низких температурах и давлениях, и присутствуют в виде ненарушенных параллельных

слоев, что резко контрастирует с железистыми искривленными или наклоненными породами, испытавшими значительные химические и минералогические изменения. Во внутренних орогенных, о которых говорилось выше, всегда можно встретить эти ожидаемые особенности минералогического состава, характера осадочных пород и структуры.

В геологической летописи почти не имеется сведений о горообразовании, которое происходило бы на окраинах континентов до того, как начала создаваться Пангея. Периметр современного Атлантического океана тоже пребывает в покое. Отложения, аккумулирующиеся на этих устойчивых участках, называют осадками пассивных континентальных окраин. Такие осадки накопились, например, вдоль устойчивого восточного края Северной Америки в период между 600 и 480 млн. лет назад. Когда континенты разошлись на максимальное расстояние и началась субдукция образовавшейся между ними океанической коры (т. е. примерно 480 млн. лет назад для Северной Америки), тектонические условия кардинально изменились. Внедрение океанического дна под континенты разрывало прежде спокойные окраины, в связи с чем начинался период горообразования.

Когда опускающаяся океаническая кора входит в астеносферу, она приносит с собой летучие соединения (в первую очередь воду), которые понижают температуру плавления окружающих минералов. Это обстоятельство в сочетании с высокой температурой астеносферы приводит к тому, что материал внутри погружающегося блока и над ним расплавляется. Возникающие в результате расплавленные минералы, в совокупности называемые расплавами, поднимаются к поверхности, неся с собой запасенное тепло и отличительные химиче-



тус исчез (с). Каждое столкновение сопровождалось эпизодом горообразования. По мере распада Пангеи движение плит изменялось. Так, Северная Америка сначала пере-

ские особенности. После взаимодействия с кислородом и водой, которые присутствуют в подвергшемся субдукции блоке литосферы, эти расплавы приобретают известково-щелочной состав.

Некоторые расплавы доходят до поверхности и выходят через вулканы. Материал, который охлаждается и затвердевает на глубине в магматических камерах, образует глубинные, плутонические (названные по имени Плутона — римского бога подземного мира) породы, примером которых является гранит. Тепло и обладающие плавучестью материалы, поднимающиеся от погружающегося литосферного блока, приподнимают окраину выходящего континента, приводя таким образом к возникновению горного пояса.

ПРОЦЕСС субдукции и связанное с ним горообразование по периферии континента могут начаться в любое время в зависимости от возраста соседнего океанического дна. Очевидно, субдукция происходит на окраинах внутреннего океана, когда материка перемещаются в направлении места их будущей встречи. Но даже когда внутренние океаны совсем исчезают, океаническая кора может погружаться вглубь по краям внешнего океана, который омывает собирающийся в единое целое суперконтинент. В этом случае континент по существу отходит от зоны субдукции. Поэтому расплавленные породы, возникающие при субдукции внешнего океана, поднимаются главным образом через океаническую кору. В отличие от этого расплав из внутренних зон субдукции поднимается вверх, преимущественно через надвигающуюся континентальную кору.

Резкие различия в «геометрии» субдукции во внутренних и внешних регионах проявляются в химическом со-

ставе выходящего на поверхность магматического материала: те расплавы, которые при своем подъеме проходят через океаническую кору, обычно бывают богаче железом и магнием и беднее кремнием, чем расплавы, пересекающие континентальную кору. Это несоответствие химического состава приводит к значительным различиям в минеральном составе образующихся пород, что дает возможность геологам делать выводы о времени и геометрических характеристиках древних эпизодов горообразования.

Материал из внешних зон субдукции выходит на поверхность через океаническое дно на некотором расстоянии за движущимся внутрь континентом. Из этого материала образуются цепочки вулканических островов, называемые островными дугами. Серия таких островных дуг, как полагают, сформировалась приблизительно 470 млн. лет назад недалеко от западного побережья Северной Америки. Вулканические излияния подтверждают факт субдукции внешнего океана. К тому же субдукция внешних областей может срывать с отступающих континентов небольшие блоки, или микроконтиненты. Современным примером таких оторванных континентальных фрагментов являются Японские острова.

После окончательного объединения материков в единый суперконтинент горообразование в периферических областях продолжается, но в совершенно иных условиях. Когда континенты сталкиваются, океаническая кора поглощается преимущественно во внешних зонах субдукции. А внешние зоны субдукции (часть которых прежде могла располагаться в середине океана) стремятся перебазировать к периферии суперконтинента.

Поскольку континенты уже больше не в состоянии отодвигаться от внеш-

них зон субдукции, почти все расплавы, поднимаясь, проходят не через океаническую кору, а через континентальную. Здесь также горячий плавучий материал приподнимает земную кору и порождает вулканы и вулканические горы. При этом образуются такие же горные пояса, как и в процессе субдукции внутреннего океана под континенты. Точное местоположение района, где эти тепловые эффекты проявляются на поверхности, зависит от угла, под которым происходит опускание океанической плиты.

Когда внешние зоны субдукции мигрируют к краю суперконтинента, океаническое дно, подобно ленте конвейера, начинает переносить на себе цепи островных дуг и микроконтиненты назад к континентальной окраине. Поль Хоффман из Университета Виктории описал возникающие при этом взаимодействия как толчки «с ударами и шишками». Небольшие массы суши могут либо сплавляться друг с другом, либо заставлять друг друга отклоняться от первоначального направления движения, точно так же они воздействуют и на суперконтинент. Эти столкновения приводят к совершенно иным результатам, чем взаимодействия между континентами. Движения, сопровождаемые «ударами и шишками», гораздо более беспорядочны, и на окраинах микроконтинентов возникают лишь локальные зоны тектонической активности. Вследствие этого столкновения микроконтинентов и порождаемые ими деформации могут быть эпизодическими явлениями, хотя вулканическая деятельность, связанная с субдукцией, может идти практически непрерывно.

Когда между 420 и 380 млн. лет назад Лаврентия соединилась с Балтикой, началось столкновение внешних островных дуг с западной окраиной той массы, что теперь носит название



мещалась на север, а затем стала двигаться на запад, удаляясь от Евразии (d).

Северной Америки. Эти столкновения привели к наблюдаемым локальным, но подчас интенсивным деформациям пород в регионе, простирающимся от Калифорнийско-Невадской границы до Айдахо (Антлерская орогения). Когда Пангея собралась воедино, продолжающаяся на периферии суперконтинента субдукция привела к образованию еще некоторого количества вулканических островных дуг. Эти острова врезались в Северную Америку, вероятно, около 250 млн. лет назад. Данный эпизод горообразования, происходившего на северо-западе современной территории шт. Невада (он известен под названием Сономской орогении), совпадает по времени с завершением образования единого суперконтинента Пангея. Возникшие впоследствии Скалистые горы и горы Сьерра-Невада замаскировали большинство поверхностных проявлений упомянутых ранних орогений.

Примерно 180 млн. лет назад в Пангее образовался рифт и раскрылся новый внутренний океан — Атлантический. Результат разделения суперконтинента зависит от относительной ориентации внешних зон субдукции и направления расхождения континентов. Если эти направления приблизительно параллельны, субдукция и импульсные процессы деформации могут продолжаться с раскрытием внутренних океанов. Поскольку материи

отодвигаются друг от друга, расплавы из этих внешних зон субдукции поднимаются, пересекая континентальные породы таким же путем, как шло расплавленное вещество из внутренних зон субдукции, когда континенты сближались.

На первой стадии раскола Пангея, от 180 до 140 млн. лет назад, Лавразия отделилась от Гондваны, заставив будущую Северную Америку двигаться в северном направлении. Изменение направления движения могло бы привести к субдукции океанической коры с погружением под западную часть Северной Америки. Действительно, геологические данные, относящиеся к тому времени, указывают на крупный всплеск вулканической и глубинной магматической активности, являющийся одним из аспектов Невадской орогении в восточной Калифорнии. Соответствующие породы имеют известково-щелочной состав, типичный для расплавленного материала, поднимающегося от погружившегося в процессе субдукции литосферного блока.

Вторая стадия раскола наступила приблизительно 140 млн. лет назад. Произошло расщепление Гондваны, а Лавразия разделилась на Северную Америку и Евразию. После расщепления Лавразии Северо-Американская плита стала двигаться уже не на север, а на запад. Это изменение в направлении движения должно было

привести к сжатию континентальных пород, так как океаническая кора внедрилась далеко под Северную Америку. Эти события совпали с целой серией импульсов горообразования по всей западной части Северной Америки. К ним относятся и Сьерра-Невада, и Ларамийская орогения, положившие начало формированию Скалистых гор.

Если внешняя зона субдукции ориентирована параллельно направлению движения континента наружу, субдукция сменится движением вбок, превращаясь в поперечный разлом (со смещением по простиранию). Микроконтиненты и острова вулканических дуг, расположенные на океанической стороне этих разломов, могут оказаться перенесенными в боковом направлении далеко от своих первоначальных положений. За счет такого процесса образовалась Аляска, представляющая собой коллаж из блоков земной коры, привнесенных из внешнего океана (сейчас это Тихий океан) во время формирования и распада Пангея. Эти блоки скользили на север вдоль западной окраины Северной Америки, до тех пор пока не попали «в угол» в Тихоокеанских зонах субдукции.

В периферическом горообразовании столкновения между континентальными блоками участия не принимают. Поэтому происходят лишь небольшое утолщение земной коры и,



СНИМОК ИЗ КОСМОСА Аппалачей в шт. Пенсильвания (слева), сделанный спутником "Landsat", позволяет увидеть закономерно изменяющуюся картину складчатых гор, характерную для внутренней орогении. На аналогичном



снимке Каскадных гор в шт. Орегон (справа) видны более беспорядочно распределенные вулканические горы — результат периферической субдукции океанической коры под западную часть Северной Америки.

следовательно, незначительные поднятия и эрозия. Благодаря этому хорошо сохраняются следы вулканической деятельности вместе с одновременно отложившимися осадками, которые возникли при эрозии вулканических гор. Сохранность этих пород на большой площади — характерный признак, позволяющий отличить периферические орогении от внутренних. Там, где столкновения действительно происходят, с ними, как правило, связаны блоки микроконтинентов, например вулканические острова. Возникающие при этом деформации сильно меняются от района к району. А внутренние орогении возникают в результате столкновений между континентами, которые приводят к более однородному деформированию на обширной территории.

НАШ АНАЛИЗ истории Пангея объединяет совершенно различные сведения о горообразовательных процессах в одну связную картину. Поэтому правомерно спросить, имеет ли смысл наша модель в отношении орогений, связанных с еще более древними суперконтинентами. Иными словами, проявляются ли в остатках горных поясов возрастом в 600—800 млн. лет признаки таких же внутренних и периферических процессов, как те, которые сформировали Пангею на 500 млн. лет позже?

На пути к получению ответа на этот вопрос лежат множество препятствий. Очень мало горных пород, образовавшихся раньше цикла Пангея, которые выходили бы на земную поверхность. Чем старше породы, тем более неопределенными становятся результаты палеомагнитных измерений. К тому же многие древние

геологические формации много раз разделялись на части и вновь объединялись. Тем не менее мы полагаем, что многие запутанные на вид характеристики таких древних горных поясов можно объяснить, если поискать признаки внутреннего и периферического горообразования.

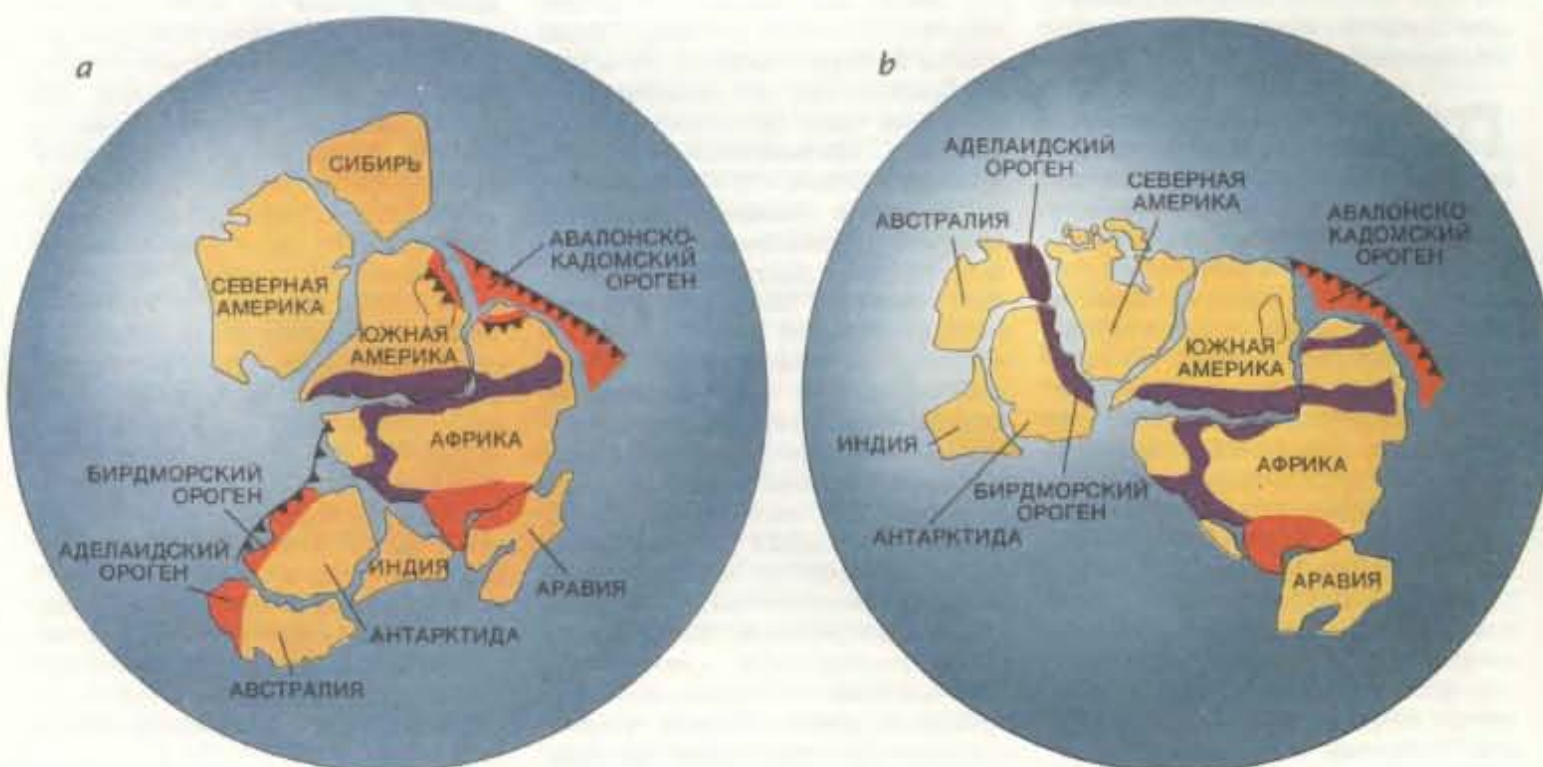
История более раннего, чем Пангея, суперконтинента началась приблизительно миллиард лет назад, когда по краям разделенных континентов накопились осадки пассивных окраин. Затем, примерно 820 млн. лет назад, более или менее одновременно во внешнем и внутреннем океанах начался процесс субдукции (более древние зоны субдукции должны были располагаться в середине внешнего океана, где от них не осталось никаких следов). Начальная стадия этой субдукции запечатлелась в островных дугах, которые позднее срослись с краями континентов. Субдукция сокращающихся в размерах внутренних океанов «развязала руки» вулканам, извержения которых происходили главным образом вдоль континентальных окраин. Следы этой вулканической деятельности все еще существуют в отложениях Бразилии и западной Африки возрастом 800—820 млн. лет. Когда внутренние океаны окончательно закрылись, примерно 650 млн. лет назад, континенты столкнулись друг с другом, и тем самым завершился процесс их объединения в единый суперконтинент.

Свидетельства этих взаимодействий находятся между крупными блоками древней (старше миллиарда лет) континентальной коры, называемыми кратонами. Кратоны по существу представляют собой устойчивые ядра существующих сейчас континентов.

Между кратонами пролегают области крупных внутренних орогений, достигающие в поперечнике 1000 км, которые подтверждают, что происходили сильные столкновения при слиянии отдельных частей более древнего суперконтинента.

Например, движения континентальных масс примерно 650—675 млн. лет назад свели воедино кратоны западной части Африки и Гайаны. Результат их соударения можно видеть в западной Африке (орогения Мавританид — Бассарид — Рокелид). Обнажения сильно метаморфизованных пород свидетельствуют о существовании складчатых гор, которые с того времени уже почти полностью исчезли. Столкновения между другими кратонами привели к возникновению Транссахарского и Дамарского (в Южной Африке) горных поясов. Процессы столкновений близкого возраста прослеживаются также на востоке Южной Америки, в восточной части Австралии и в Антарктиде.

В КАЖДОМ из этих поясов имеются признаки повсеместных деформаций, надвигообразования и утолщения коры, характерных для внутренних орогений, где происходит столкновение континентальных масс. На западе Африки и на востоке Южной Америки широко распространены как известково-щелочные магматические породы (связанные с субдукцией внутреннего океана), так и метаморфические породы высокой ступени метаморфизма (обусловленные последующим сжатием кратонов). Более молодые осадочные отложения, имеющие относительно простую, пластинчатую конфигурацию, покоятся на смятых орогенных породах,



В ОДНОЙ ИЗ РЕКОНСТРУКЦИЙ суперконтинентов предполагается, что Бирдморский и Аделаидский горные пояса возникли под действием периферической субдукции (а). Из другой реконструкции следует, что данные пояса созда-

ны континентальными столкновениями (б). Наша модель орогений, связанных с суперконтинентами, поможет прояснить выбор между этими схемами и проверить другие.

указывая на то, что происходило сильное поднятие, за которым следовала значительная эрозия. Все эти факты в совокупности подтверждают, что в период между 675 и 600 млн. лет назад большие площади земного шара испытывали воздействие столкновений между континентами (внутренние орогении).

В других структурах оказались запечатлены широко распространенные периферические орогении. Когда замкнулись внутренние океаны, континенты отступили от расширяющегося внешнего океана, порождая при этом вдоль внешней зоны субдукции многочисленные вулканические острова. Эти острова позднее столкнулись с северной частью Южной Америки и с западной и северной Африкой; еще сохранились следы различных характерных стилей и интенсивностей деформаций, вызванных данными столкновениями. Воссоздание суперконтинента приблизительно 650 млн. лет назад привело к тому, что субдукция на его границах возобновилась с новой силой.

Эта периферическая субдукция, вероятно, была причиной формирования Авалонско-Кадомского пояса — эродированной цепи гор, занимающей теперь восточное побережье Северной Америки и отдельные места в Западной Европе. Геологические и палеонтологические данные свидетельствуют о том, что 600 млн. лет назад этот пояс располагался вблизи Южной Америки и северо-западной Африки на краю древнего суперконтинента.

Авалонско-Кадомский пояс включает в себе огромный объем слабо метаморфизованных вулканических и связанных с ними осадочных пород возрастом 600—650 млн. лет. Породы в этом регионе по большей части лишь немного деформированы. Во многих случаях они залегают вполне согласно с вышележащими пластами. Отсутствие повсеместного деформирования и сохранность слабометаморфизованных вулканических и осадочных пород говорят о том, что строение земной коры в этих районах было нарушено незначительно. Подобные свойства согласуются с ожидаемыми характеристиками периферической орогении. Присутствие некоторых локальных интенсивных деформаций можно объяснить соударениями с островными дугами и микроконтинентами. Отсутствие доказательств столкновений между континентами позволяет предположить, что океан, граничивший с Авалонско-Кадомским поясом, продолжал существовать и после образования Пангеи, что указывает на периферическую орогению. Приблизительно 550

млн. лет назад, что совпадает с временем раскола этого суперконтинента, признаки субдукции исчезли и сменились образованием разломов со сменением по простиранию.

Современный Аравийский полуостров сформировался, вероятно, в результате периферической орогенической деятельности в течение той же самой эры. Этот регион состоит из мозаики микроконтинентальных блоков, в которых обильно представлены вулканические и сопутствующие им плутонические породы — красноречивые указания на островные дуги, возникшие вследствие извержений над погружающимся в процессе субдукции океаническим дном; эти породы датируются возрастом от 820 до 740 млн. лет. Между указанными блоками зажаты остатки древней океанической коры. Выше этих пород располагается пачка более молодых пластов, имеющих возрасты между 640 и 600 млн. лет.

Из этого коллажа материалов мы заключаем, что Аравийский полуостров является древним аналогом Аляски, т. е. представляет собой мозаику из вулканических островных дуг, которые произошли из окружающего суперконтинент океана. После разделения суперконтинента на фрагменты поперечные движения плит сместились в северо-восточную Африку, где они сплывались друг с другом, образуя современный Аравийский щит.

Мощные осадочные слои, образовавшиеся на пассивных континентальных окраинах, почти одновременно появились во многих частях земного шара — примерно между 575 и 550 млн. лет назад, обозначив начало раскола суперконтинента. По мере расхождения континенты охлаждались и оседали вниз. Опустившиеся части континентов затопляла морская вода с образованием протяженных континентальных шельфов. Это событие хорошо вписывается в геологическую летопись того времени. Во многих районах обнаружены мощные толщи осадочных слоев, что указывает на глобальное повышение уровня моря и отложение осадков во многих относительно ненарушенных условиях. Эти осадки пассивных континентальных окраин представляют собой стратиграфический фон, на котором, как установили геологи, развертывались события более позднего эпизода тектонической активности и горообразования, связанных с формированием Пангеи.

МНОГИЕ части общей картины существования суперконтинента, предшествовавшего Пангее, остаются покрытыми туманом. Исследо-

ватели не пришли к общему мнению в отношении древних широт многих частей этого суперконтинента (например, Северной и Южной Америки). Согласно реконструкции, построенной Изном Далzielом из Техасского университета в Остине (аналогичной реконструкции Хоффмана), появление древнего горного пояса в Мозамбике было обусловлено субдукцией в периферической области, и в то же время внутренние столкновения между континентами могли привести к формированию Аделандского (Австралия) и Бирдморского (Антарктида) поясов.

Альтернативная реконструкция Джерарда Бонда и его коллег по Геологической обсерватории Ламонт-Дозрты указывает на совершенно противоположные стили орогенеза. В будущем более точные палеомагнитные данные, возможно, разрешат этот спор, но и наша модель внутренних и внешних орогенов может помочь в этом деле. Произвести выбор между двумя реконструкциями, быть может, позволит более детальное исследование стили орогенической деятельности в этих поясах.

Попытка воссоздать еще более ранние суперконтиненты сопряжена с чрезвычайно большими трудностями. Тем не менее можно определить возрасты наиболее обширных внутренних орогений (указывающие время сплавления частей суперконтинента) и импульсы рифтогенеза (ассоциируемые с его расколом). Столкновения континентов, за которыми следовали эпизоды образования крупных рифтов, по-видимому, происходили ритмично в периоды приблизительно от 2,7 до 2,5, от 2,1 до 2,0, от 1,7 до 1,5 и от 1,1 до 1,0 млрд. лет назад. Хотя эти возрасты определены не с очень высокой точностью, из них с большой степенью уверенности можно сделать вывод, что в эволюции земной поверхности уже давно существует такая особенность, как суперконтинентальный цикл.

Описанные в этой статье орогенические пояса известны уже в течение многих лет, мы пытались как-то систематизировать их и увязать с процессами, происходящими на всем земном шаре. Признав, что существуют совершенно отличные друг от друга периферические и внутриконтинентальные орогенические процессы, и установив места их нахождения, мы тем самым создаем базу для рассмотрения развития горных систем. Наша модель должна помочь исследователям Земли реконструировать древние конфигурации континентов и выявлять тектонические силы, формировавшие облик нашей планеты в прошлом.

«Упрощенная физика»

Инженеры фирмы Хегох, занятые разработкой фотокопировальной техники, обычно мало времени уделяют строгому анализу динамики движущихся частей машины и поведению статического электричества, на использовании которого основан процесс ксерокопирования. Избегая подробных уравнений, они могут свести физические связи между двигателем, муфтой и приводным ремнем к ряду квадратов, соединенных линиями, которые обозначают действие крутящих моментов. «Инженерно-техническому персоналу нет надобности даже пользоваться уравнением $F = ma$ », — говорит Йохан де Клер, возглавляющий группу по созданию искусственного интеллекта в исследовательском центре фирмы Хегох в Пало-Альто.

Де Клер и другие исследователи из его группы пытаются довести новые методы до такого поколения компьютерных экспертных систем, которые помогут инженерам лучше понять работу сложного устройства, имея на руках лишь его эскизный проект. Предлагаемые исследователями модели включают то, что они называют «качественной физикой», и представляют собой усовершенствование новых методов посредством выполнения приближенной оценки последствий электрического или механического повреждения в более сложной системе.

Идея качественной физики заключается в том, чтобы физические явления, которые обычно описываются дифференциальными уравнениями (например, колебания и обратная связь), представить в качественной форме, которая отражает неформализованные описания, даваемые инженерами. При этом переменные могут превратиться в такие величины, как «плюс», «минус» или «ноль», показывающие, что, например, крутящий момент двигателя копировального аппарата соответственно увеличивается, уменьшается или остается постоянным. Или использовать величины, которые можно было бы сравнивать по их важности в работе системы, что лежит в основе получения приближенных оценок.

В отличие от обычных экспертных систем, использующих совокупность правил типа «если... то», структура системы, построенной на принципах качественной физики, часто напоминает электрическую схему, в которой работа сравнительно большого числа компонентов представляется ограниченным набором состояний, например, как в случае с транзистором:

«открыт» или «закрыт». Уменьшение и возрастание воздействий, представленных качественными приближениями, можно использовать для схематического показа того, как повреждение одной части системы может передаться другим элементам этой системы. В обычных экспертных системах для каждого поврежденного элемента должно быть установлено отдельное правило.

Качественная физика появилась около 15 лет назад, когда де Клер, работавший в то время в лабораториях искусственного интеллекта Массачусетского технологического института, разработал качественную программу для решения несложных задач механики применительно к американским горкам. В настоящее время де Клер руководит группой из восьми человек, которая специализируется на качественных доказательствах и методах моделирования в исследовательском центре в Пало-Альто.

В проекте годичной давности, получившем название «Rapper» (часть «гар» в этом названии является аббревиатурой от слов «ремонт» и «регулировка»), качественные представления используются для выявления причин повреждений копировального аппарата. Пока «Rapper» существует в виде модели, включающей около 170 компонентов аппарата. Все компоненты соединены на схеме линиями, представляющими воздействия — напряжение или крутящий момент. Исследователи используют эту модель для получения ряда функциональных схем, которые помогают технику, обслуживающему аппарат, определить место неисправности.

Создание пригодной для пользования модели потребовало дальнейшего упрощения: почти полного игнорирования времени. Каждый компонент схемы учитывает только момент прохождения бумаги. Это обстоятельство облегчает выполнение «анализа назад», позволяющего определить, каким образом предыдущее событие вызвало повреждение двигателя. Исследователь Брайан Фалкерхайнен считает, что группа разработчиков из Пало-Альто должна в конце концов прийти к созданию модели, которая будет учитывать и временные соотношения.

Помимо применения для работы с фотокопировальными аппаратами фирма Хегох рассматривает также возможность использования качественных моделей для решения других задач: от создания самообучающихся электронных документов до систем сообщения пилотам самолетов о состоянии двигателей их машины.

«Fault Finder» — экспертная система, проходящая испытания в Исследовательском центре Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) в Лэнгли фиксирует отклонения от нормы показаний датчиков, следящих за работой реактивного двигателя, и вводит их в качественную модель, которая «ставит диагноз» состояния двигателя. «Пилоты не нуждаются в цифровых данных, они нуждаются в том, чтобы им сказали, где неисправность и как ее можно устранить», — говорит Кэти Эббот, исследователь из НАСА. Компания Boeing в настоящее время проводит оценку этой программы для возможного ее использования в своих самолетах.

Несмотря на такую многообещающую перспективу, качественная физика подвергается критике. В статье, напечатанной в журнале «Computational Intelligence», Элиша Сакс, профессор кибернетики Принстонского университета, и Джон Дойл, исследователь из МТИ, утверждают, что качественная физика упрощает динамику до уровня, при котором проблемы, встречающиеся в реальной обстановке, становятся неразрешимыми. Они считают, что исследователи в области искусственного интеллекта могут лучшим образом помочь инженерам, найдя способы автоматизировать численные аппаратные модели.

Некоторые исследователи пытаются соединить методы качественной физики с более формализованным численным моделированием. Качественная оценка могла бы способствовать выбору оптимальной численной модели для решения проблемы. По мнению профессора кибернетики Северо-Западного университета Кеннета Форбуса, при моделировании, например, перехода от гладкого потока к турбулентному качественная физика поможет определить момент, когда следует применить уравнения, описывающие турбулентное течение.

До сих пор методы качественной физики использовались преимущественно в диагностических системах. Форбус и другие исследователи, такие, как Даниел Уэлд, профессор кибернетики Вашингтонского университета, надеются получить более точные решения, касающиеся поведения физической системы, которые лучше подходят для проектирования и в качестве средств обучения. Если эта мечта действительно претворится в жизнь, качественная физика могла бы выйти на передний край в проектировании, диагностике и обучении с использованием компьютеров.

Гэри Стикс

Суперантигены и болезни человека

Эти белки вызывают пищевые отравления и токсический шок. Возможно, они участвуют также в развитии артрита и СПИДа. Сейчас начинает проясняться, каким образом суперантигены осуществляют избыточную стимуляцию иммунной системы и индуцируют заболевания

ГОВАРД М. ДЖОНСОН, ДЖЕФФРИ К. РАССЕЛ, КАРОЛ Х. ПОНЦЕР

КОГДА в организме человека оказывается какой-либо белок вирусного или микробного происхождения, на этот антиген реагирует очень малая доля клеток иммунной системы — один Т-лимфоцит из 10⁶ тыс. Хотя число таких клеток мало, они определяют специфическую атаку на чужеродный антиген и уничтожают его, не повреждая здоровой ткани. Но существуют белки, называемые суперантигенами, которые приводят иммунную систему в бесполое, даже самоубийственное неистовство.

Эти удивительные белки способны пробуждать к активности примерно каждый пятый Т-лимфоцит, большинство из которых бесполезны в борьбе с обычными инфекциями. Что гораздо хуже, некоторые из активированных клеток могут спровоцировать аутоиммунную атаку и в результате навредить организму, который им надлежало бы защищать, — подобно разъяренному быку, напавшему на собственного хозяина. А иногда суперантигены действуют противоположно, вызывая смерть возбуждаемых ими клеток. Иными словами, они пробивают брешь в иммунной защите организма.

В последнее время удалось идентифицировать этапы, путем которых суперантигены стимулируют множество Т-клеток. С помощью этих данных объясняется, каким образом некоторые токсины вызывают симптомы пищевого отравления и синдрома токсического шока. В то же время открываются новые возможности изучения причин и перспектив лечения ряда болезней, в том числе артрита, СПИДа и рака. Можно даже надеяться, что способность суперантигенов стимулировать и подавлять иммунную систему обернется преимуществом и найдет терапевтическое применение.

МНОГООЕ в нынешних представлениях о суперантигенах сложилось на основании результатов изучения самых ранних примеров этих агентов — группы родственных белков, называемых стафилококковыми энтеротоксинами. При участии одного из авторов статьи, а именно Джонсона, в 1970-х годах было показано, что энтеротоксины являются суперантигенами, хотя сам термин предложен значительно позже.

Пытаясь выяснить механизм действия болезнетворных токсинов, с которыми связано 45% случаев пищевых отравлений, Джонсон и его коллеги из филиала Медицинской школы Техасского университета в Галвестоне обнаружили мощный эффект энтеротоксинов. К 1970 г. уже было известно, что различные штаммы бактерий *Staphylococcus aureus*, поселившись в пищевых продуктах, выделяют один или более энтеротоксинов, обозначаемых теперь буквами А, В, С, D и Е. Через несколько часов после приема загрязненной этими токсинами пищи человек чувствует слабость, его лихорадит, тошнит, начинаются рвота и понос. День-два спустя такие симптомы проходят, поскольку за это время токсины разрушаются под действием кишечных ферментов. Однако первичные процессы, лежащие в основе эффекта энтеротоксинов, были малопонятны.

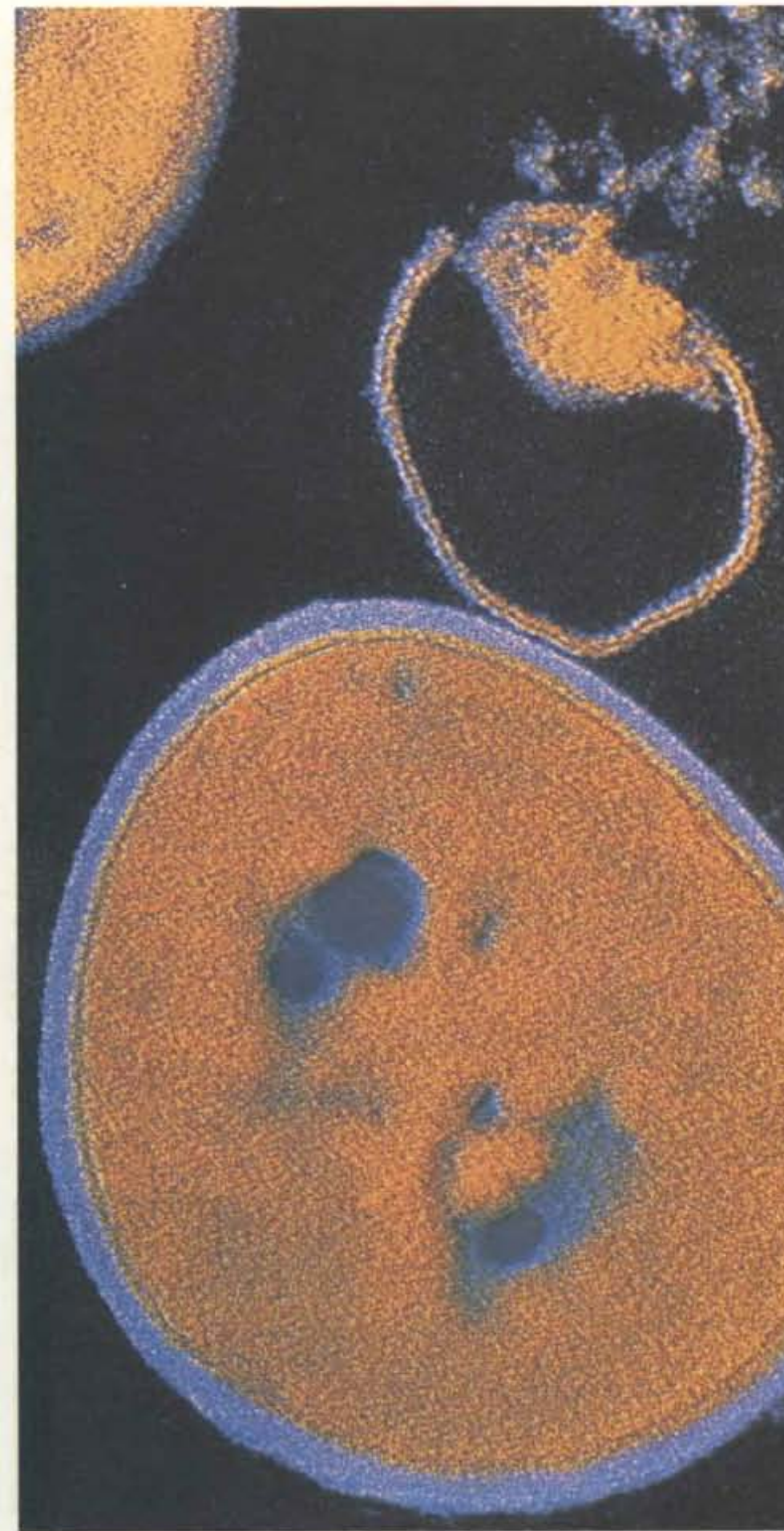
В самом деле, при микроскопическом исследовании кишечной ткани заболевшего сколько-нибудь заметных изменений не обнаруживается. Токсины, по-видимому, не повреждают наиболее, казалось бы, явной для них мишени — специализированных клеток, регулирующих перенос питательных веществ из кишечника в кровь. Единственная наблюдаемая аномалия сводится к

наличию в ткани лейкоцитов, в том числе лимфоцитов, но такая инфильтрация возможна при любой инфекции, и не было особых причин полагать, что в данном случае эти клетки выполняют какую-то необычную функцию.

Вскоре, однако, появились серьезные основания думать, что лейкоциты причиняют-таки вред. Первой ласточкой послужила работа Д. Пиви с коллегами из Флоридского университета в Гейнсвилле, которые в 1970 г. обнаружили, что добавление к клеткам крови энтеротоксина В инициирует пролиферацию лимфоцитов. Пятью годами позже Джонсон и его сотрудники в отделении Управления по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) в Цинциннати продемонстрировали, что клетки, испытывающие влияние энтеротоксина В, являются Т-лимфоцитами. Как было ими установлено, энтеротоксин А также стимулирует размножение Т-лимфоцитов.

Задавшись вопросом, сколь активно энтеротоксины стимулируют репликацию Т-лимфоцитов, Джонсон развернул исследование, в результате которых было выявлено мощное воздействие этих белков на иммунную систему. Затем, работая в Техасском университете, он совместно с М. Лэнгфорд и Дж. Стентоном определил минимальную концентрацию энтеротоксина А, стимулирующую пролиферацию Т-клеток.

Как ни странно, оказалось, что для этого достаточно очень малого количества токсина. Всего лишь несколько сотен его молекул вызывают репликацию более интенсивную, чем миллиард молекул обычного антигена, например оболочечного белка вируса гриппа. Ранее было показано, что некоторые белки растений и микроорганизмов стимулируют



КЛЕТКИ БАКТЕРИИ *Staphylococcus aureus* (крупные сферические частицы), вызывающей пищевое отравление и синдром токсического шока, выделяют белки, называемые суперантигенами, которые активируют аномально большое число хелперных Т-лимфоцитов. Эти клетки иммунной системы секретируют интерлейкин-2, высокая концентрация которого и обуславливает патологический эффект. (Клетка справа сверху разрушена антибиотиком.)

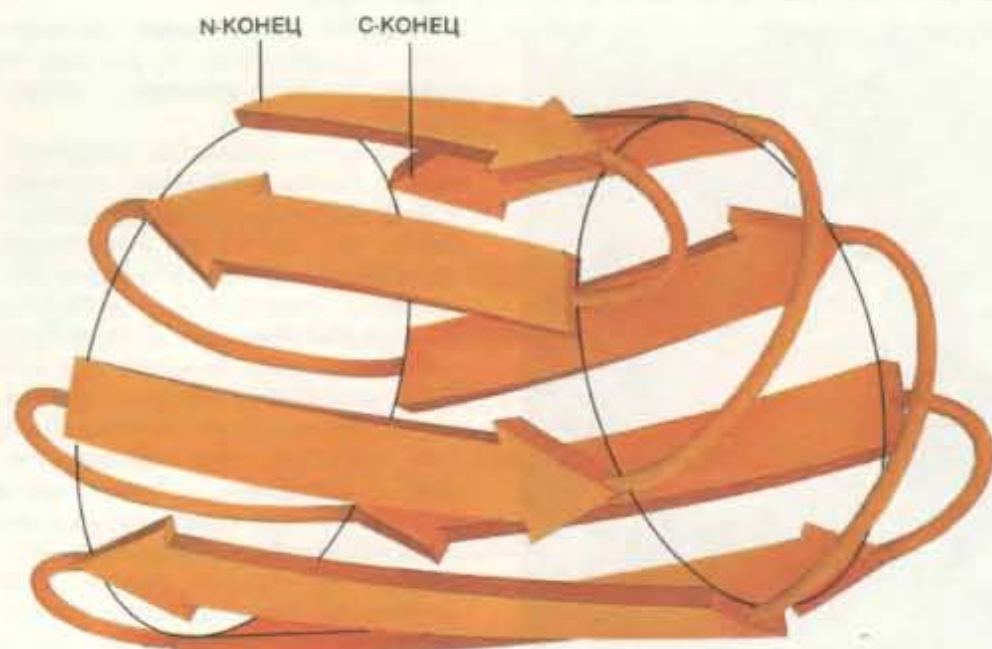
необычайно интенсивную пролиферацию лимфоцитов, но все они по эффективности уступают энтеротоксинам.

Небольшие количества энтеротоксина А также вызывают интенсивное образование γ -интерферона — одного из цитокинов (химических посредников межклеточной коммуникации), производимых хелперными Т-лимфоцитами (клетками «помощниками»). Функция этих клеток в иммунном ответе — регуляторная. Не принимая непосредственного участия в атаке микроорганизмов, хелперные Т-лимфоциты посредством цитокинов активируют цитотоксические Т-лимфоциты, убивающие зараженные клетки, и В-лимфоциты, секретирующие антитела против антигенов. Из данных об интерфероне следует, что хелперные Т-лимфоциты служат одной из мишеней стафилококковых энтеротоксинов.

КАКОВА связь между высокой активностью хелперных Т-лимфоцитов и тяжелыми проявлениями пищевого отравления? Первые указания на это получил К. Смит, занимавшийся совсем иной проблемой. Изучая стимуляцию репликации Т-лимфоцитов нормальными антигенами, он обнаружил, что для ответа на антигены хелперные клетки должны вырабатывать цитокин, называемый интерлейкином-2 (см. статью: К. Смит. Интерлейкин-2, «В мире науки», 1990, № 5). Его открытие навело Джонсона на мысль, что интерлейкин-2, вероятно, также опосредует воздействие суперантигенов на Т-лимфоциты. Не исключалось, однако, что токсины могут активировать эти клетки и другим путем.

В 1985 г. Р. Карлссон и его коллеги из Луидского университета (Швеция) получили данные, свидетельствующие о центральной роли интерлейкина-2. Они наблюдали, что в присутствии малых количеств энтеротоксина А Т-лимфоциты производят огромное количество этого цитокина. Несколькими годами позже Джонсон и его ученик Х. Мзгазайн подтвердили, что интерлейкин-2 опосредует размножение Т-лимфоцитов, индуцируемое энтеротоксином. Реализация токсического эффекта не обходится без интерлейкина.

Примерно в то же время С. Розенберг из Национальных институтов здоровья обнаружил, что введение в кровотоки высоких доз интерлейкина-2 онкологическим больным (как часть экспериментальной терапии) приводит к неблагоприятному по-



ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ФОРМА считается характерной для энтеротоксинов *S. aureus* — суперантигенов, ответственных за пищевое отравление. Стрелками обозначены участки с β -структурой, в которых полипептидная цепь вытянута, а не скручена, как в α -спиральных участках. В молекулах энтеротоксинов имеется несколько α -спиралей, но их локализация пока не установлена. Преобладание β -структуры говорит о том, что значительная часть белковой молекулы экспонирована в среду и, следовательно, доступна для взаимодействия с другими молекулами.

бочному эффекту: наблюдались лихорадочное состояние, тошнота, рвота, понос — т. е. те же симптомы, что и при пищевом отравлении.

Все эти разнообразные факты говорили о том, что в основе патогенного эффекта энтеротоксинов лежит их способность стимулировать образование высоких концентраций интерлейкина-2. Кроме того, поскольку последствия его введения очень сходны с симптомами пищевого отравления, интерлейкин-2 действует не локально. Он проникает в кровоток и перемещается, подавая сигнал центрам мозга, ответственным за тошноту, повышение температуры и расстройство пищеварения.

По сути, можно предположить, что избыток интерлейкина-2 также вызывает симптомы синдрома токсического шока. Суперантиген, обуславливающий это расстройство, производится одним из штаммов *S. aureus* и по своей структуре сходен с энтеротоксинами. На ранних стадиях клиническая картина токсического шока напоминает пищевое отравление, но впоследствии наблюдается опасное нарушение кровообращения. Более тяжелое состояние больного при токсическом шоке по сравнению с пищевым отравлением объясняется, возможно, тем, что в отличие от бактерий, вызывающих пищевое отравление, штамм стафилококка, вызывающий

токсический шок, в организме размножается. В результате большой дозы токсина, а следовательно, и более высоким или более устойчивым концентрациям интерлейкина-2.

В 1988 г. уже стало общепринятым, что способность энтеротоксинов вызывать симптомы пищевого отравления обусловлена перепроизводством интерлейкина-2 в результате стимуляции миллионов Т-лимфоцитов. Однако накопленные к тому времени данные не давали возможности понять, каким образом энтеротоксины приводят в действие столь много клеток. В последнее время это начало проясняется.

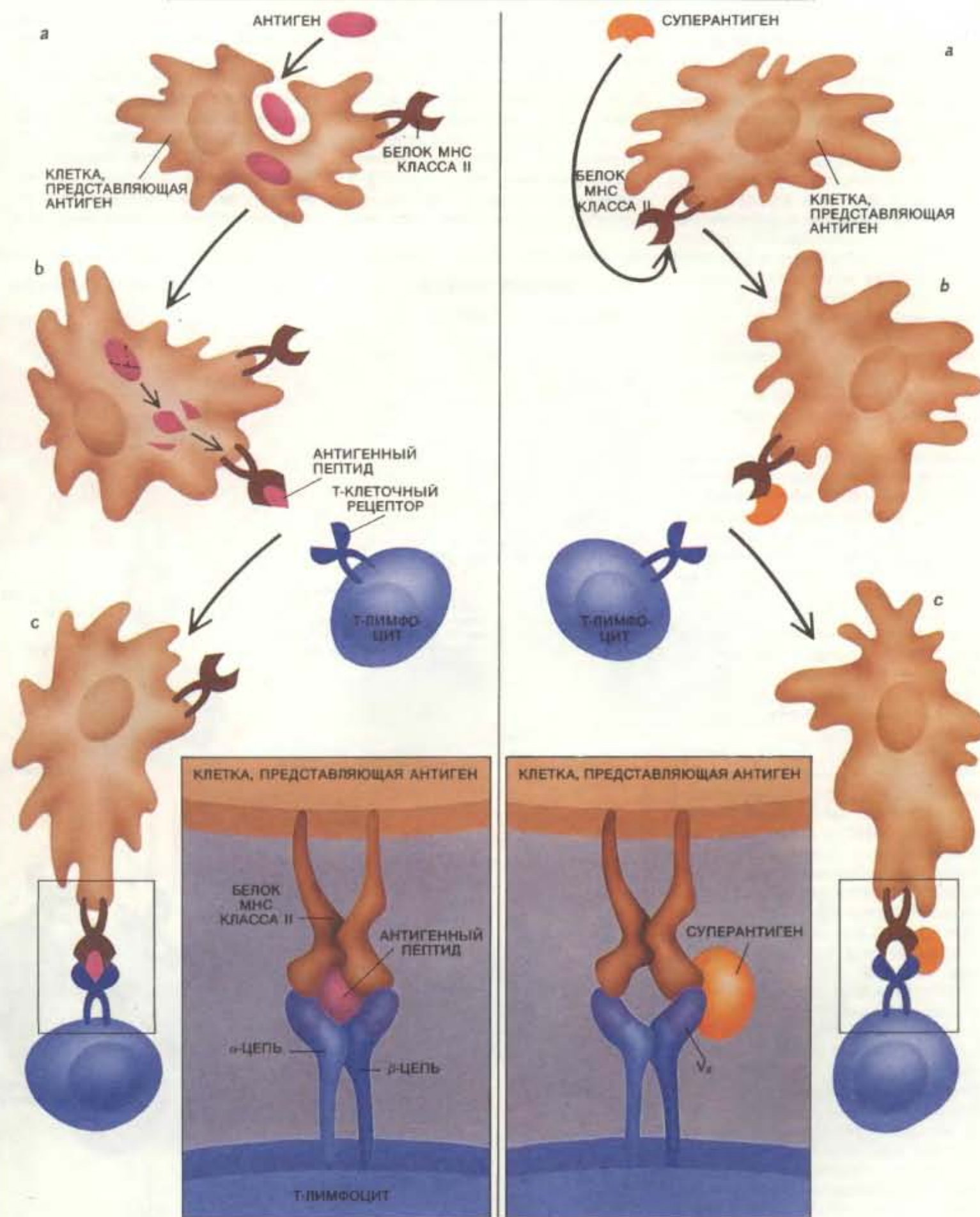
Чтобы разобраться в механизме взаимодействия того или иного вещества с клетками организма, необходимо прежде всего изучить его молекулярную структуру. Соответственно многие современные изыскания опираются на пионерные работы М. Бергдолла и его коллег из Висконсинского университета, которые определили в 1970 г. аминокислотную последовательность энтеротоксина В. С тех пор усилиями этих и других исследователей установлена аминокислотная последовательность всех энтеротоксинов, а также токсина, вызывающего синдром токсического шока.

В результате выяснилось, что энтеротоксины представляют собой белки средних размеров, богатые гидрофильными (т. е. имеющими сродство к воде) аминокислотами. Большая часть молекулы имеет так называемую β -структуру (в этой конформации полипептидная цепь вытянута, а не закручена), хотя есть и α -спиральные участки (см. статью: Ф. Ричардс. Проблема сворачивания полипептидной цепи белков, «В мире науки», 1991, № 3). Иными словами, молекулы энтеротоксинов относительно некомпактны; причем значительная часть их поверхности обращена в водную среду и, таким образом, доступна для взаимодействия с другими молекулами.

Дальнейшими указаниями на механизм активации Т-лимфоцитов суперантигенами послужили работы Карлссона, а также Б. Флейшера и Х. Шреценмейера из Ульмского университета (Германия). Полученные ими данные свидетельствовали, что энтеротоксины в некоторых отношениях ведут себя как обычные антигены, но резко отличаются от них рядом важных особенностей. Чтобы хелперный Т-лимфоцит мог распознать обычный белковый антиген, этот белок должен подвергнуться процессингу (специфической переработке) внутри макрофагов или других клеток, представляющих антигены. Такие клетки поглощают антигенные молекулы, расщепляют их на пептиды (короткие цепочки из аминокислот), которые экспонируются на клеточной поверхности в комплексе с белками класса II главного комплекса гистосовместимости (МНС — от англ. major histocompatibility complex). Пептид укладывается в «щель» в молекуле



КОМПЬЮТЕРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ пептида (розовый) в антиген-связывающей «щели» молекулы МНС класса I (синяя) получено Д. Уили с сотрудниками из Гарвардского университета. Предположительно его можно отнести и к белкам МНС класса II.



СВЯЗЫВАНИЕ С Т-ЛИМФОЦИТАМИ обычных антигенов и суперантигенов происходит по-разному. Обычные антигены (слева) должны быть сначала поглощены какой-либо из клеток, представляющих антигены (а), в которой они подвергаются процессингу, т. е. определенной переработке, (b) и их фрагменты — пептиды экспонируются на клеточной поверхности в комплексе с молекулой МНС класса II (c). Затем антиген связывается со специфич-

ным к нему рецептором на поверхности Т-лимфоцита. Обе цепи (α и β) молекулы рецептора контактируют с антигеном (в рамке). Суперантигены (справа) прямо связываются с наружной стороной молекул МНС (a и b), а затем с Т-клеточным рецептором (c), присоединяясь к варибельной ($V\beta$) части β -цепи (в рамке). Связыванием с $V\beta$ обусловлено мощное воздействие суперантигенов на Т-лимфоциты.

МНС, соответствующая ей, как драгоценный камень — оправе кольца. Затем экспонированный антиген связывается немногочисленными хелперными Т-лимфоцитами, несущими на своей поверхности рецепторы для данного конкретного пептида. (Каждый Т-лимфоцит специфичен в отношении антигена, т. е. связывает пептид только какого-то одного типа.)

В 1988 г. шведские и немецкие исследователи независимо друг от друга продемонстрировали, что, подобно множеству различных антигенов, такие суперантигены, как энтеротоксины, могут стимулировать хелперные Т-лимфоциты лишь в том случае, если клетки, представляющие антигены, предъявляют им эти белки, причем представление осуществляется с молекулами МНС класса II.

Однако в отличие от типичных антигенов энтеротоксины связываются с молекулами МНС непосредственно — без предварительного поглощения представляющими клетками и процессинга. Значит, и Т-лимфоциты способны взаимодействовать с интактными токсинами. Из всего этого следует, что выявление связывающих энтеротоксины участков молекул МНС и Т-лимфоцитов, возможно, прольет некоторый свет на вопрос о том, почему на суперантигены реагирует больше клеток, чем на обычные антигены.

Теперь уже известно, что энтеротоксины присоединяются не к внутренней поверхности участка «щели», связывающего антигенный пептид, молекулы МНС, а к наружной. Соответственно и комплекс МНС—суперантиген взаимодействует с Т-клеточным рецептором в ином участке, нежели в случае обычных антигенов. Молекула Т-клеточного рецептора состоит из двух полипептидных цепей — α и β , в которых имеются константные (инвариантные) и переменные по аминокислотной последовательности области, участвующие в связывании обычных антигенных пептидов. Считается, что энтеротоксины связываются с переменной областью β -цепи (V_{β}) в той ее части, которая не участвует в связывании обычных антигенов.

Каждый энтеротоксин имеет сродство к определенным типам V_{β} ; например, один может распознаваться типами 5 и 12, тогда как другой — 12, 15 и 18. Установлено, что у человека насчитывается менее 30 типов V_{β} , хотя доля хелперных Т-лимфоцитов, несущих данный тип, может быть различной у разных индивидов. Следовательно, в то время как обычный антиген может активиро-

вать лишь относительно небольшое число специфичных к нему хелперных Т-лимфоцитов, каждый энтеротоксин способен взаимодействовать с во много раз большим количеством клеток (обладающих разнообразными антигенными специфичностями), коль скоро у них имеются соответствующие типы V_{β} .

Эта довольно четкая картина, которая складывалась вовсе не легко,

может служить назидательным примером упорства, проявленного рядом исследовательских групп. В нашей и других лабораториях внимание было сфокусировано на необычном связывании энтеротоксинов с молекулами МНС класса II. Тем временем Ф. Маррак и Дж. Каплер из Национального еврейского центра иммунологии и репродуктивной медицины в Денвере, а

также и Ч. Джейнзэй-младший и его коллеги в Йельском университете много занимались взаимодействием суперантигенов с Т-лимфоцитами.

Д. Уили из Гарвардского университета проложил путь нашим работам, установив пространственную структуру белков МНС класса II. Как и Т-клеточный рецептор, молекула МНС класса II состоит из двух пересекающихся полипептидных це-

пей α и β . «Щель» для связывания обычных антигенов формируется двумя спиральными участками (один от α -цепи и один от β -цепи), соединенными на дне «щели» неспиральной областью, образованной сегментами обеих цепей.

Чтобы идентифицировать участок связывания энтеротоксинов в молекуле МНС, мы опирались на

тот факт, что, как установили другие исследователи, отдельно синтезированный пептид, являющийся фрагментом белка, как правило принимает такую же (или близкую) пространственную структуру, какая присуща ему в составе белковой молекулы. Были синтезированы три основных компонента связывающего антиген участка молекулы МНС и каждый из них по отдельности подвергли воз-

Как суперантигены вызывают болезнь

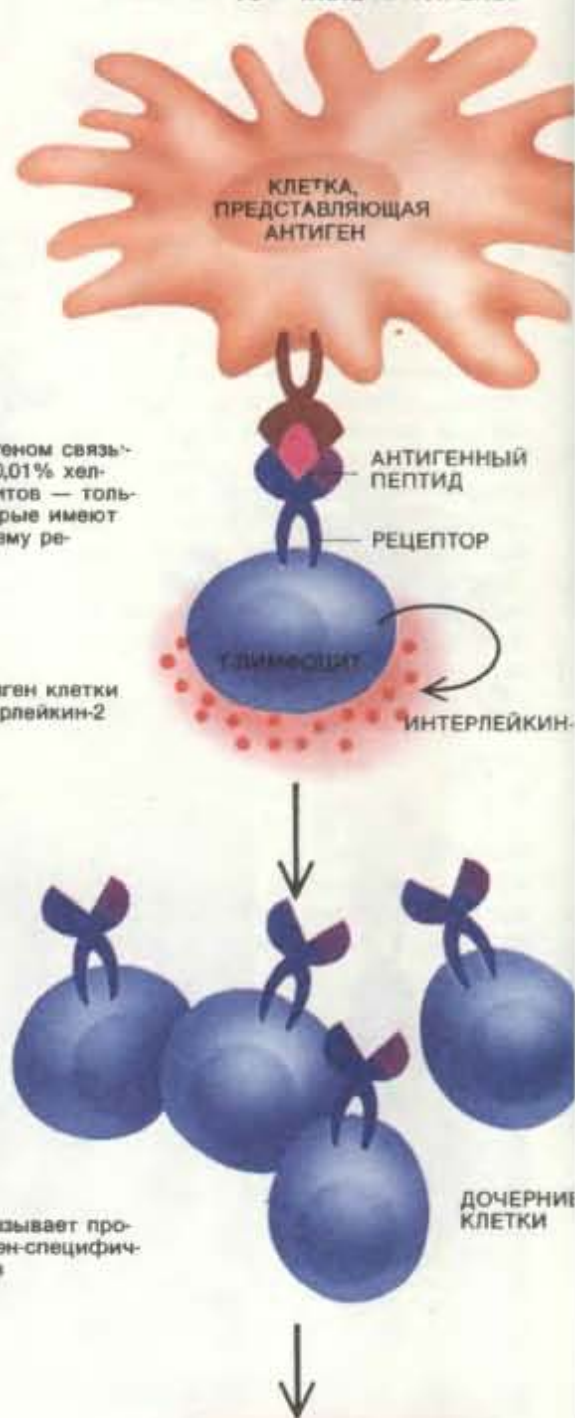
Обычный чужеродный антиген (слева) стимулирует хелперные Т-лимфоциты, рецепторы которых специфичны к нему, т. е. только те клетки, которые необходимы для преодоления данной инфекции. Суперантиген (справа) активирует любые Т-лимфоциты, в рецепторах которых имеется область V_{β} определенного типа. В результате появляются миллионы активных клеток, что может иметь тяжелые последствия (желтые прямоугольники).

1. С данным антигеном связывается примерно 0,01% хелперных Т-лимфоцитов — только те клетки, которые имеют специфичный к нему рецептор.

2. Связавшие антиген клетки секретируют интерлейкин-2

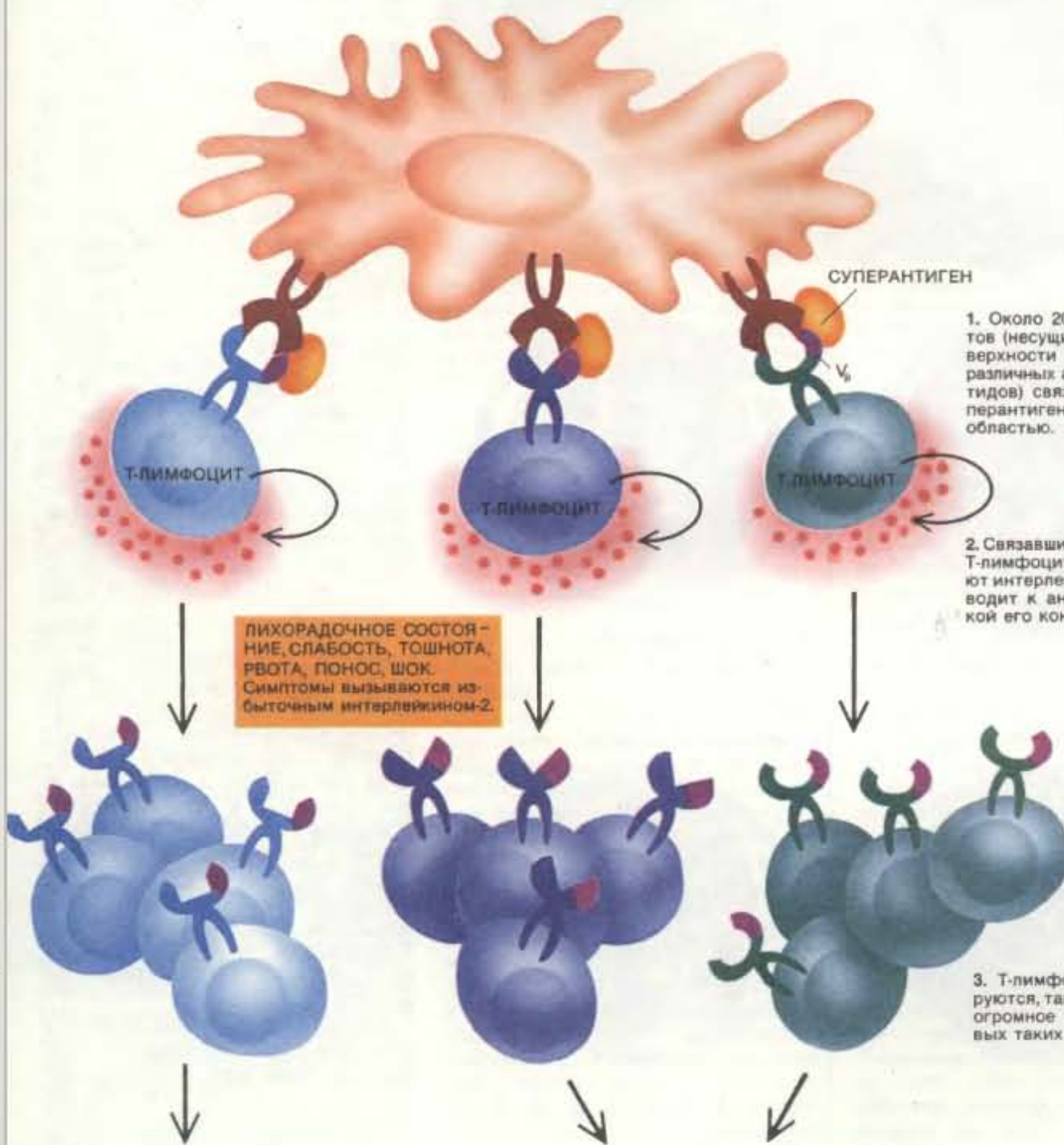
3. Интерлейкин вызывает пролиферацию антиген-специфичных Т-лимфоцитов

ОТВЕТ НА ОБЫЧНЫЕ АНТИГЕНЫ



ИНФЕКЦИЯ ЛИКВИДИРОВАНА
Иммунная система разрушает зараженные клетки (которые несут на своей поверхности чужеродный антиген), не причиняя вреда нормальным клеткам.

ОТВЕТ НА СУПЕРАНТИГЕНЫ



1. Около 20% Т-лимфоцитов (несущих на своей поверхности рецепторы для различных антигенных пептидов) связываются с суперантигеном своей V_{β} областью.

2. Связавшие суперантиген Т-лимфоциты секретируют интерлейкин-2, что приводит к аномально высокой его концентрации.

3. Т-лимфоциты реплицируются, так что образуется огромное множество новых таких клеток.

АУТОИММУННАЯ РЕАКЦИЯ
Активация и размножение немногочисленных Т-лимфоцитов, реагирующих на «свои» антигены, приводят к атаке нормальных тканей.

ПОДАВЛЕНИЕ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ
Т-лимфоциты, стимулированные суперантигеном, могут после активации погибнуть. В результате дальнейшее сопротивление инфекции становится невозможным. В некоторых случаях, это может способствовать подавлению аутоиммунной реакции.

действием энтеротоксина А. В результате получилась совершенно определенная закономерность. С энтеротоксином А взаимодействовали только те пептиды, которые соответствовали боковым сторонам домена, связывающего антиген; пеп-

тид же, соответствующий дну «щели», не связывался.

Мы синтезировали также спиральные участки β -цепи, в которых нативные аминокислоты в определенных положениях были заменены на аланин. Связывание энтеротоксина А

ухудшалось только при тех заменах, которые затрагивали поверхность, не совпадающую с местом связывания обычных антигенов. Эти данные в совокупности показывали, что энтеротоксиновые суперантигены присоединяются к участку молекул МНС класса II, связывающему антигенные пептиды, однако располагаются на его наружной поверхности, а не там, где обычные антигены.

Позднее нам удалось идентифицировать несколько сегментов энтеротоксина А, способных к взаимодействию с белками МНС. Его фрагменты перемешали с молекулами МНС на клетках и определяли, какие из них связываются. Оказалось, что большинство реакционноспособных фрагментов принадлежит N-концевой части молекулы энтеротоксина.

В ходе этого исследования было сделано открытие, которое, возможно, найдет применение в терапевтических целях. Мы обнаружили, что N-концевые пептиды с такой легкостью связываются с молекулами МНС, что по существу предотвращают связывание с ними самого энтеротоксина. Тем самым блокируется способность энтеротоксина стимулировать лимфоциты. Вполне возможно, что такие реакционноспособные фрагменты будут в дальнейшем использоваться для борьбы с пищевыми отравлениями, токсическим шоком и другими расстройствами.

Изучение иной стороны этой проблемы, т. е. взаимодействия суперантигенов с Т-лимфоцитами, значительно продвинулось в 1989 г. Две группы исследователей — Маррак и Каплер с сотрудниками в Колорадском университете, а независимо от них Джейнз и его коллеги из Йельского университета в сотрудничестве с С. Баксером из компании Urjohn — пришли к выводу, что связанные с молекулами МНС энтеротоксины способны активировать Т-лимфоциты, просто взаимодействуя с областью V_{β} Т-клеточного рецептора.

Именно тогда группой Маррак и Каплера было предложено называть подобные энтеротоксины агенты суперантигенами. Этот термин относится лишь к белкам, активирующим множество различных Т-клеточных клонов (каждый из которых специфичен к своему антигенному пептиду) путем связывания с определенными структурами V_{β} .

Впоследствии Н. Гаскойнь и К. Эймс из Скриппсовской клиники в Ла-Хойя (шт. Калифорния) полу-

чили первые прямые доказательства того, что суперантигены могут присоединяться к определенной части V_{β} Т-клеточного рецептора, только будучи связанными с белками МНС. Так, энтеротоксин А в комплексе с молекулой МНС класса II связывался с сегментом V_{β} синтетической β -цепи. В свободном же виде он не взаимодействовал с ней. Соединение с молекулой МНС, возможно, изменяет конформацию энтеротоксина таким образом, что участок, отвечающий за связывание с областью V_{β} , становится доступным Т-лимфоциту, или повышает сродство этого участка к V_{β} .

Все больше накапливается данных о том, что некоторые микробные суперантигены, в том числе белки, производимые стрептококками и микоплазмами, стимулируют Т-лимфоциты точно таким же путем, как энтеротоксины, т. е. взаимодействуя с определенными типами V_{β} . Сходно действуют и так называемые минорные лимфоцит-стимулирующие антигены (МIs), обнаруженные у мышей.

Ранее считалось, что антигены МIs присущи самим грызунам, и поэтому их называли ауто суперантигенами. Теперь, однако, известно, что источником этих антигенов является вирус, вызывающий у мышей опухоль молочной железы (MMTV — от англ. mouse mammary tumor virus). Генетический материал MMTV, относящегося к ретровирусам, включается в мышинный геном и экспрессируется вместе с собственными генами животного, в результате чего в тканях образуются антигены МIs, как если бы это были «свои» белки.

Вполне возможно, что какие-то из этих или других суперантигенов вносят вклад в возникновение аутоиммунных заболеваний, при которых компоненты иммунной системы атакуют нормальные ткани собственного организма. В конце концов резонно полагать, что стимуляция 20% Т-клеточного репертуара организма может привести к неблагоприятной репликации нескольких циркулирующих в крови Т-лимфоцитов, способных взаимодействовать со «своими» антигенами. (В норме аутореактивные Т-лимфоциты ликвидируются или инактивируются, но по воле случая некоторым из них удается иногда избежать этой участи.)

Правомерность такого предположения подтверждается данными о том, что Т-лимфоциты, несущие V_{β} определенных типов, участвуют в развитии некоторых аутоиммунных заболеваний, включая артрит и рассеянный склероз. Возможно, что эти



РЕБЕНОК, БОЛЬНОЙ СПИДОМ, получает азидотимидин (AZT, или зидовудин) из рук своей приемной матери. Ряд данных свидетельствует о том, что один или более суперантигенов, имеющих на вирусе — возбудителе СПИДа, могут играть роль в летальном истощении хелперных Т-лимфоцитов, характерном для инфекции этим вирусом.

вредоносные клетки активируются суперантигенами, связывающимися с данными типами V_{β} . Так, Б. Коул из Университета шт. Юта показал, что суперантигены, производимые *Mycoplasma arthritidis*, способны вызывать у крыс артрит.

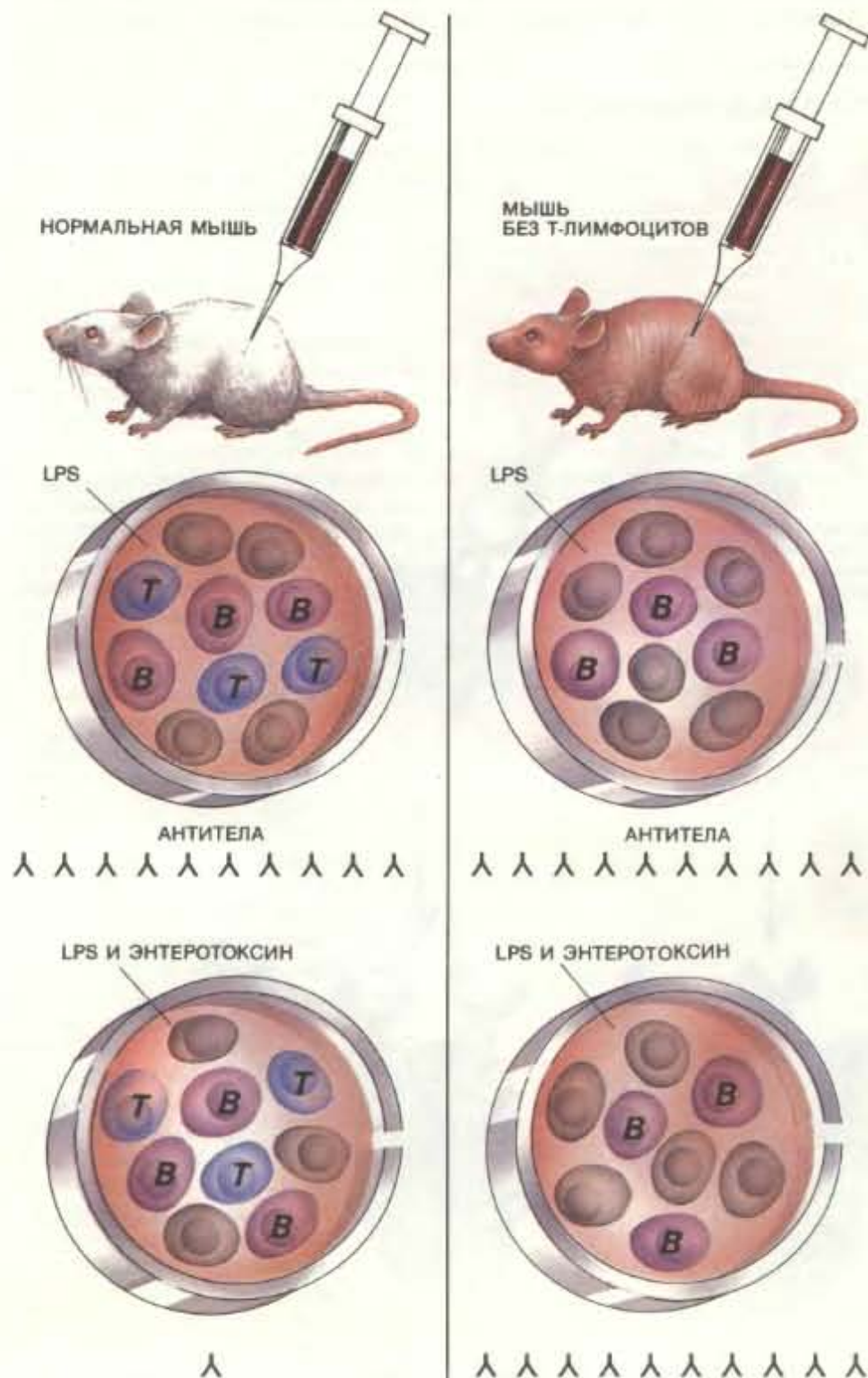
ВТО ЖЕ время имеется ряд данных, свидетельствующих, что в некоторых случаях суперантигены подавляют иммунную систему. Т-клеточные клоны, активированные суперантигенами, часто исчезают или инактивируются после стимуляции. Как сообщили в прошлом году несколько групп исследователей, по крайней мере один суперантиген МIs вызывает у мышей гибель нескольких подклассов Т-лимфоцитов.

Одним из последствий этого может быть рак. При гибели значительной части Т-лимфоцитов иммунная система не будет справляться с задачей выявления и уничтожения раковых клеток. В самом деле, деление Т-лимфоцитов, возможно, и является тем механизмом, с помощью которого MMTV — источник генов, кодирующих антигены МIs, — вызывает развитие опухолей у мышей.

Некоторые исследователи считают, что суперантигены могут играть роль и в иммунодефиците при СПИДе. По неясным пока причинам у людей после заражения виру-

сом иммунодефицита (HIV — от англ. human immunodeficiency virus) — возбудителем СПИДа — число хелперных Т-лимфоцитов резко уменьшается. В результате снижается сопротивляемость организма инфекциям, что приводит в конечном счете к его гибели. В прошлом году Д. Имберти и Д. Прими из Университета в Брешиа (Италия) обнаружили, что в группе пациентов с инфекцией HIV практически отсутствуют Т-лимфоциты с определенными типами V_{β} , что указывает, по их мнению, на участие одного или более суперантигенов. Такая трактовка связанной с инфекцией HIV гибели Т-лимфоцитов, конечно, весьма спекулятивна, но тем не менее заманчива (хотя предлагались и другие разумные объяснения).

Выше наше внимание было сосредоточено на связи между иммунологическими нарушениями, вызываемыми суперантигенами, и активностью Т-лимфоцитов. Но не следует игнорировать возможного пагубного действия суперантигенов на В-лимфоциты. Как показал в 1970-х годах Джонсон, в зависимости от исходной активности иммунной системы энтеротоксины иногда стимулируют производство антител этими клетками, а иногда подавляют. Его работы свидетельствовали также, что подавление образования антител



ОПЫТЫ НА МЫШАХ показывают, что суперантигены могут ослаблять иммунный ответ, активируя супрессорные Т-лимфоциты. При добавлении обычного антигена LPS к крови нормальных мышей (слева) и мышей, лишенных Т-лимфоцитов (справа), наблюдалась, как и следовало ожидать, стимуляция секреции антител против LPS В-лимфоцитами. Если же этот антиген добавляли вместе с энтеротоксином, то образование антител в нормальной крови подавлялось, а в крови без Т-лимфоцитов — нет. Следовательно, подавление выработки антител опосредуется Т-лимфоцитами.

под действием энтеротоксинов опосредуется супрессорными Т-лимфоцитами.

Как стимуляция, так и подавление образования антител могут приводить к тяжелым последствиям. При пониженном количестве антител может ослабляться функционирование иммунной системы, а при чрезмерном их производстве возможны сложные иммунологические расстройства, обусловленные тем, что антитела привлекают различные компоненты иммунной системы к здоровым тканям, в результате чего нарушается их нормальное функционирование.

Изучение суперантигенов важно не только для выяснения причин той или иной патологии. Оно открывает пути лечения этих болезней. Как уже говорилось, здесь можно использовать синтетические пептиды, способные конкурировать с суперантигенами за связывание с хелперными Т-лимфоцитами или молекулами МНС.

Как ни странно, но контролируемое введение целенаправленно выбранных суперантигенов может иметь терапевтический эффект при некоторых болезнях. Например, в опытах с грызунами некоторые суперантигены подавляли популяции нежелательных Т-лимфоцитов и таким образом ликвидировали аутоиммунную атаку здоровой ткани. К. Ким и другие исследователи из Университета в Торонто вводили мышам энтеротоксин В, и это облегчало течение одной из форм волчанки (lupus nephritis), относимой к аутоиммунным заболеваниям. В экспериментах, проведенных нами в сотрудничестве с Дж. Шиффенбауэром и Дж. Суз во Флоридском университете в Гейнсвилле, наблюдалась защита мышей тем же токсином от экспериментального рассеянного склероза. И наоборот, с помощью суперантигенов можно повысить активность подавленной иммунной системы, стимулировав Т-клеточную пролиферацию; но при этом необходимо контролировать способность самих суперантигенов вызывать делецию Т-лимфоцитов.

Такие перспективы подтверждаются удивительным открытием, сделанным Н. Грингсом также в Гейнсвилле: небольшой фрагмент энтеротоксина А, подобно самому этому токсину, может активировать Т-лимфоциты человека. Опыты с другими белками показали, что отдельные фрагменты белковой молекулы часто блокируют активность целого белка (обычно в результате конкурентного связывания с молеку-

лой-мишенью), но редко имитируют интактный белок. Из этих работ следует, что, подбирая и смешивая белковые фрагменты с нужными свойствами, можно разрабатывать лекарственные средства на основе суперантигенов.

Перспективы лечения болезней, вызванных суперантигенами, равно как и возможности использования

этих белков для коррекции нарушений иммунной системы, служат постоянным стимулом для дальнейших поисков. Можно не сомневаться, что в этих исследованиях будут идентифицированы новые суперантигены и обнаружится много важного, что прольет свет на причины иммунологических расстройств и пути их лечения.

Наука и общество

Закулисные игры государственных чиновников

КАК МОЖЕТ правительство, для которого характерна неприязнь к «индустриальной политике», помочь американским производителям в конкурентной борьбе на мировом рынке? Администрация Буша заявила, что у нее есть решение этой проблемы: облегчить бремя дорогостоящих предписаний, налагаемых такими исполнительными органами, как Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств и Агентство по охране окружающей среды. Так, в 1989 г. президент Буш создал при Белом доме Совет по конкурентоспособности во главе с вице-президентом Д. Куэйлом. Этот совет унаследовал полномочия созданной еще при Рейгане Специальной комиссии по изучению вопроса о смягчении упомянутых предписаний.

Вновь созданный совет стал громоздким в ожесточенной борьбе между конгрессом и Белым домом. Демократы выражают протест против позиции совета, который, по их мнению, стал тенью правительством и тайно принуждает исполнительные органы изменять издаваемые ими правила и инструкции. Некоторые комиссии при конгрессе расследуют сейчас вмешательство совета в процесс выработки правил исполнительными органами и ведут юридические схватки за доступ к документам совета.

Официально совет состоит из семи чиновников высокого ранга, включая Дэна Куэйла, Ричарда Дармана (директора Административно-бюджетного управления), Николаса Брэнди (министра финансов), Сэмюэля Скниера (главу президентского аппарата) и Майкла Боскина (председателя совета экономических консультантов). Практически его деятельность осу-

ществляется шестью членами аппарата вице-президента под руководством Аллана Хаббарда. Данная группа не связана с группой частного сектора в промышленности и ведущих ученых, которые имеют такое же название.

Противники совета, возглавляемого Куэйлом, пользуясь утечкой информации из исполнительных органов, обвиняют совет в том, что он, действуя в обход закона относительно процедур выработки правил, оставляет руководству исполнительных органов возможность изменять предлагаемые ими правила на заседаниях за закрытыми дверями. В то же время критически настроенные консерваторы указывают на то, что совет оказался не способным остановить поток издаваемых правил и инструкций. Свод новых правил и инструкций, изданный в прошлом году, по объему на 20% больше по сравнению с теми, которые издавались в конце правления рейгановской администрации.

Кроме того, критики на обоих полюсах политического спектра задаются вопросом: обладает ли небольшой штат совета достаточной компетентностью, чтобы квалифицированно оценить различные по своему характеру правила, предлагаемые федеральным правительством? Например, именно недостаток специальных знаний послужил причиной неуклюжей попытки совета предложить юридическое определение термина «заболоченные земли». Согласно этому предложению, одна треть «заболоченных земель» страны могла бы оказаться вне сферы действия закона об экологической защите.

Со своей стороны члены совета утверждают, что они работают с экспертами из исполнительных органов. Как ни странно, но именно характер контактов вызывает пристальный интерес тех конгрессменов, которые занимаются расследованием. Белый дом утверждает, что обсуждения за-

крытыми дверями являются привлекательной исполнительных органов. Однако К. Санстейн, специалист по административному праву из Чикагского университета, на слушаниях в декабре прошлого года, проведенных конгрессменом из Калифорнии Г. Уоксманом, заявил, что принятие решений в отношении издаваемых инструкций должно по закону принадлежать руководству исполнительных органов. Санстейн далее сказал, что если совет оказывает воздействие на исполнительные органы в отношении разрабатываемых ими положений, его связи с внешними организациями должны стать предметом обсуждения широкой общественности.

Вероятность того, что совет, возможно, превышает свои полномочия в отношении принятия тех или иных правил и инструкций, обусловила создание по меньшей мере еще двух комиссий при конгрессе, с тем чтобы они изучили, насколько успешно удалось совету в ноябре прошлого года реформировать и ускорить процесс выдачи разрешений на применение новых лекарств Управлением по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств. Совет объявил, что в соответствии с новым порядком управление может привлекать экспертов со стороны для проверки результатов клинических исследований и что в самое ближайшее время оно утратит свои полномочия в отношении надзора за начальными стадиями испытаний потенциальных лекарств.

Компания Eli Lilly поймала совет на слове и информировала FDA (несмотря на возражения одного из чиновников управления) о том, что совет просил коллегии наблюдателей Университета шт. Индиана одобрить запланированные исследования лекарственного препарата для лечения болезни Альцгеймера. Однако компания пошла на попятную, когда FDA стало настаивать на том, чтобы новые процедуры вступали в силу только после того, как они пройдут установленный порядок подготовки правил.

По-видимому, и само управление не во всем согласно с решением совета. По словам Д. Кесслера, специального уполномоченного FDA, вначале он был против плана привлечения экспертов со стороны, но позднее пришел к выводу, что такой подход стоит проверить на практике.

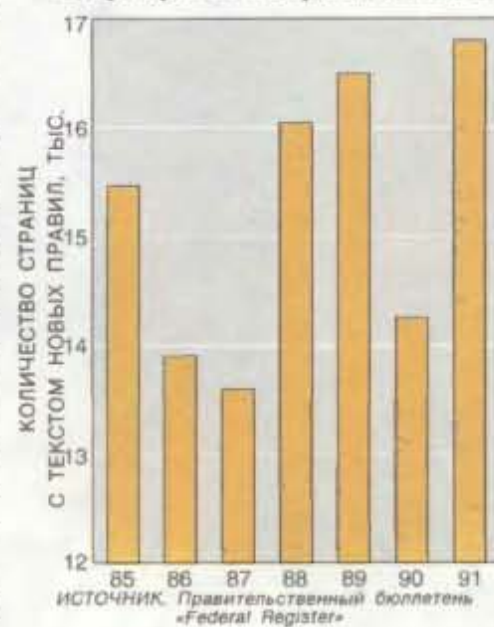
Кесслер не единственный, у кого есть сомнения на этот счет. Научно-исследовательская группа по здравоохранению, ведущее подразделение в общественной организации Ральфа Нэйдера, в декабре опубликовала ре-

зультаты опроса врачей-наблюдателей, работающих в структуре FDA. Из 47 врачей (38% всех опрошенных), которые дали ответы на анкету, более 90% возражают против того, чтобы FDA отстранили от контроля испытания лекарств на ранних стадиях, и более 80% возражают против привлечения сторонних экспертов. Ч. Эдвардз, президент Фонда клинических и научных исследований Скриппса в Ла-Джолла (шт. Калифорния), который полтора года назад провел доскональное исследование деятельности FDA, сомневается в том, что наблюдение «со стороны» позволит сэкономить время и деньги, потому что служащие FDA все же будут обязаны осуществлять этот контроль.

Хотя на критике мер, направленных на упрощение порядка получения разрешений на применение лекарств, нельзя выиграть много голосов, сторонники защиты окружающей среды, выступающие против смягчения законов о выбросе загрязняющих веществ, могут рассчитывать на массовую поддержку общественности. Они обвиняют представителей промышленности в использовании совета по конкурентоспособности в целях нелегального доступа к процессу выработки правил и инструкций, и в настоящее время предпринимают попытки изъять из закона о чистом воздухе, принятого в 1990 г., его принципиальные положения. В соответствии с одним из предложенных советов изменений, которое сейчас рассматривается министерством юстиции, промышленные предприятия будут иметь возможность самим устанавливать предельно допустимые нормы выбросов, а у государственных органов будет всего семь дней на опротестование того или иного решения.

Члены совета не отрицают своих частых контактов с промышленниками. А такие критики, как служба надзора за деятельностью Административно-бюджетного управления и общественная организация Нэйдера, тоже подливают масла в огонь, давая тем самым повод говорить о возможном конфликте интересов. Они утверждают, что Хаббард и Куэйл нарушали закон, когда вмешивались в разработку правил, касающихся деятельности тех компаний, часть акций которых принадлежала им. Куэйл, например, имеет долю в газетной компании, владеющей бумагоделательной фабрикой; Хаббард является собственником половины химической компании и владеет акциями предприятий общественного пользования, пока не пожертвовал их в конце про-

Бюрократы сопротивляются



шлого года на нужды благотворительности. Другие свои вклады он сделал на основе доверительных отношений. Куэйл в 1990 г. выдал Хаббарду документ, «освобождающий его от конфликта интересов». Однако комиссия палаты представителей по контролю за деятельностью правительства, возглавляемая конгрессменом Дж. Коньерзом из Мичигана, планирует начать расследование по этому вопросу. Дело в том, что документ, выданный Хаббарду, «вступил в силу» лишь через год после занятия им нынешней должности.

Водоворот споров вокруг совета, похоже, не утихает. Теперь к этому противостоянию присоединился конгрессмен из Мичигана Дж. Динджелл. В настоящее время он расследует попытки совета повлиять на решения управления по охране окружающей среды и оказать давление на законопроект о сохранении и восстановлении ресурсов — важную часть законодательства, касающегося твердых отходов, и которое должно в этом году вступить в силу. FDA со своей стороны попыталось скрыть от комиссии Динджелла некоторые документы по данному вопросу, на том основании, что они касаются совместных совещаний с советом по конкурентоспособности.

Но Динджелл не сдает так просто своих позиций. Другая комиссия при конгрессе уже прибегла к такому средству, как вызов в суд повесткой, для получения доступа к документам, относящимся к деятельности совета по конкурентоспособности. Так или иначе, отдельные случаи тайного посредничества совета могут быть раскрыты и представлены на суд общественности.

Тим Бердсли

Международный термоядерный экспериментальный реактор

Этот международный термоядерный экспериментальный реактор-токамак (ITER), создаваемый четырьмя сторонами—участницами проекта, будет наиболее мощным из когда-либо построенных. С помощью реакций синтеза между ядрами дейтерия и трития ITER будет генерировать больше энергии, чем потребляет

РОБЕРТ У. КОНН, ВАЛЕРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ЧУЯНОВ,
НОБОЙЮКЕ ИНОЕ, ДОНАЛД Р. СВИТМЕН

В О ВРЕМЯ встречи на высшем уровне в Женеве в ноябре 1985 г. Михаил Горбачев и Рональд Рейган обсуждали ряд проблем мирового значения, в том числе стратегические средства обороны, контроль над вооружениями, права человека. Среди других, незамеченное многими, прошло заявление в заключительном коммюнике, которое привело к созданию проекта, беспрецедентного в истории международного сотрудничества в области науки и техники. Лидеры двух стран призвали к совместной работе по овладению термоядерной энергией «на благо всего человечества». В ответ на этот призыв инженеры и ученые, участвующие в четырех ведущих программах исследований по термоядерному синтезу, проводимых в странах Европейского сообщества, Японии, СНГ (тогда СССР) и США, пришли к соглашению начать в 1987 г. совместное проектирование экспериментальной термоядерной установки. Они назвали ее Международным термоядерным экспериментальным реактором, ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor).

До завершения проекта остается

ВНУТРЕННЯЯ ПОВЕРХНОСТЬ плазменной камеры токамака, например такой, как показанная здесь у камеры токамака JT-60 в Наке (Япония), для защиты от огромного количества тепла, генерируемого плазмой, покрыта защитной «черепицей» — так называемыми «тайлами» — из композитного материала на основе углеродных волокон.

еще около 13 лет. Способность генерировать термоядерную мощность, в 1000 раз большую, чем на существующих экспериментальных установках, делает ITER предпоследним этапом на пути к практическому использованию управляемого термоядерного синтеза. Научные и инженерные знания, полученные в экспериментах на ITER, должны привести к созданию демонстрационной термоядерной электростанции, по-видимому, в течение следующих трех десятилетий.

Действительно, надежда овладеть термоядерным синтезом уже привела к значительным обязательствам со стороны четырех вовлеченных в проект сторон. В июле 1991 г. участники согласились приступить к разработке окончательного инженерного проекта реактора ITER, на что потребуется около шести лет. Проектные центры будут расположены в Калифорнийском университете в Сан-Диего, Институте физики плазмы Общества им. Макса Планка в Гархинге и Термоядерном исследовательском центре Японского института по атомной энергии в Наке. Совет ITER, находящийся в Москве, будет осуществлять общее руководство проектом. Каждая сторона обязалась расходовать около 40 млн. долл. в год на поддержку проектных групп и необходимых исследований, разработок и испытаний.

В духе сотрудничества (и в угоду дипломатии) четыре стороны согласились назначить главой центральной проектной группы европейца, его первым заместителем — японца, главой центра в Сан-Диего — русского, руководителем центра в Гархинге — аме-

риканца, директором центра в Наке — европейца и председателем Совета ITER — русского. Тот факт, что эти сложные назначения были согласованы за относительно короткое время — менее девяти месяцев, — демонстрирует серьезность намерений всех причастных к этому проекту.

Почему столь серьезно, почему управляемый синтез, почему сегодня? Как может выглядеть реактор ITER и чего можно достичь на этой установке? Эти вопросы были в центре нашего внимания, когда мы работали в Научно-техническом консультативном комитете ITER во время первой, концептуальной фазы проекта. Ответы на поставленные вопросы приведены в настоящей статье — это плод усилий международной группы ученых, результаты научных исследований, проводившихся в течение более 40 лет (см. статью: Р. Конн. Технические проблемы создания термоядерных реакторов с магнитным удержанием плазмы, «В мире науки», 1983, № 12).

ПОИСКИ путей создания термоядерного реактора продолжают, так как при ядерном синтезе высвобождается огромная энергия из небольшого количества топлива. В природе такой процесс является источником энергии Солнца и звезд; впервые это было разъяснено Г. Бете из Корнеллского университета еще в конце 30-х годов. Для получения энергии в термоядерных реакторах будут использоваться два изотопа водорода: дейтерий, который имеет один дополнительный нейтрон и иногда называется тяжелым водородом, и три-

тий, который имеет два дополнительных нейтрона. Эти ядра сливаются значительно более эффективно, чем любая другая комбинация легких ядер. Обычный водород, который сжигается в недрах Солнца, вступает в реакции синтеза намного медленнее (в противном случае жизнь Солнца и всей Вселенной была бы слишком короткой).

Очень важно, что топливо для реакторов синтеза легкодоступно. В природе дейтерий содержится в воде: один из каждых 6700 атомов водорода имеет дейтериевое ядро. Тритий распространен меньше. Он радиоактивен и имеет период полураспада 12,3 года, так что в природе в больших количествах он не встречается. Этот изотоп, однако, может быть искусственно получен из имеющегося в изобилии природного сырья в виде отложений металлического лития.

Ядерные реакторы синтеза обещают также быть экологически безвредными. Случайный запуск реактора невозможен, так как количества дейтерия и трития в установке в любой данный момент очень малы. При неконтролируемом горении все имеющееся топливо быстро израсходуется и процесс прекратится. Кроме того, при синтезе между ядрами дейтерия и трития рождаются только быстрые нейтроны и α -частицы (ядра гелия), которые нерадиоактивны. Основные проблемы, связанные с радиацией, возникают из-за вторичных процес-

сов. Энергичные нейтроны могут вызывать трансмутацию ядер в материалах, образующих структуру реактора и его компонентов, и они могут стать радиоактивными. Однако исследования показали, что правильный выбор конструкционных материалов позволит поддерживать такую наведенную активность на очень низком уровне.

Несмотря на многие годы исследований по управляемому синтезу, процесс, позволяющий осуществить слияние положительно заряженных ядер с выделением полезной энергии, до сих пор оказывался неуловимым. Чтобы преодолеть естественное электрическое отталкивание, ядра должны обладать значительной энергией. Температура дейтерий-тритиевой смеси должна достигать по крайней мере 50 млн. кельвинов (для сравнения: температура в центре Солнца составляет около 15 млн. кельвинов). Измеренная в электрон-вольтах (эВ), эта температура равна 4500 эВ и представляет собой температуру воспламенения топлива.

При такой температуре электроны оторваны от ядер (фактически для ионизации водорода нужно только 13,56 эВ). Дейтерий-тритиевая смесь в этом случае представляет собой плазму — электрически нейтральный газ, состоящий из положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов.

Поддержание такой высокой тем-

пературы в плазме было до сих пор одной из важнейших задач термоядерных исследований. Энергия теряется из плазмы в результате нескольких процессов. Например, заряженные частицы в плазме излучают электромагнитную энергию при столкновениях друг с другом. Термоядерные реакции рождают огромное число быстрых нейтронов, которые легко покидают плазму. Излучение, теплопроводность и турбулентная конвекция частиц плазмы — это только некоторые из возможных процессов, приводящих к охлаждению плазмы и снижению ее температуры.

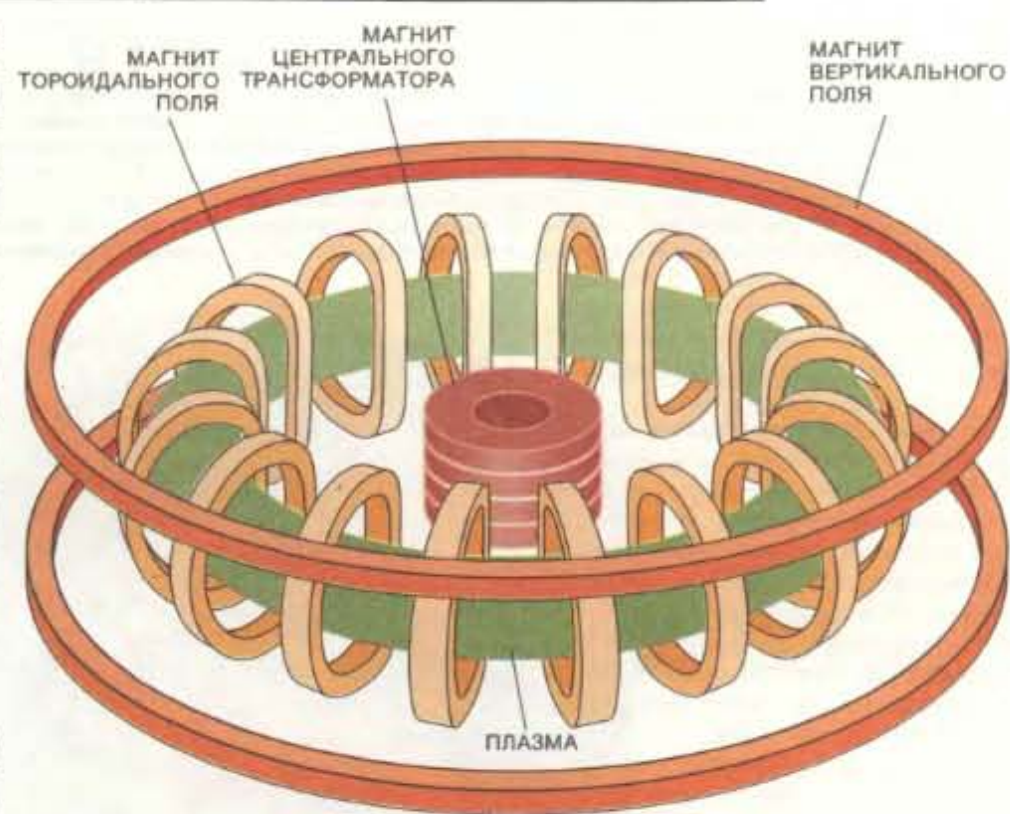
Можно постоянно поддерживать «плазменный огонь», подводя энергию извне с помощью радиочастотных волн или пучков высокоэнергичных нейтральных частиц. Однако существует эффективный самоподдерживающийся источник дополнительного тепла — быстрые α -частицы, которые рождаются в плазме. Эти ядра гелия являются «золотом» термоядерных реакций. Они рождаются с энергией около 3,5 млн. эВ и легко удерживаются магнитным полем, поскольку имеют двойной положительный заряд. При столкновениях с частицами плазмы α -частицы отдают им свою энергию в виде тепла. До сих пор ни в одном эксперименте не удавалось генерировать достаточное число энергичных α -частиц, чтобы полностью компенсировать потери тепловой энергии.

Исследователи называют общее среднее время, за которое тепло уходит из плазмы, временем удержания энергии или энергетическим временем. Это время обозначают греческой буквой τ (тау). Произведение энергетического времени и плотности плазмы n представляет способность плазмы удерживать свое тепло и называется параметром качества удержания. Чтобы термоядерные реакции могли самоподдерживаться и давать полезную энергию, произведение $n\tau$ должно быть больше $2 \cdot 10^{20}$, если выражать время в секундах, а плотность — в числе частиц на один кубический метр, при температуре $T = 10\ 000$ эВ (около 100 млн. кельвинов). Таким образом, цель термоядерных исследований заключается в том, чтобы достичь значения произведения трех величин, n , τ и T , около $2 \cdot 10^{24}$ с \cdot эВ/м 3 .

Наиболее близко к достижению этих условий подошли в настоящее время термоядерные устройства, называемые токамаками. Предложенная в начале 1950 г. русскими физиками А. Д. Сахаровым и И. Е. Таммом, эта установка получила название от сокращения русских слов «тороидальная камера с магнитным полем». Принципы, лежащие в основе работы этого устройства, относительно просты. Сначала плазму получают в вакуумной камере, имеющей форму тора, или бублика. Система электромагнитов, расположенных снаружи от камеры, создает тороидальное магнитное поле, направленное вдоль оси тора. Поле действует как шланг, который поддерживает давление внутри плазмы и предотвращает ее контакт со стенками камеры.

Другая система электромагнитов, расположенных в центре тора (в дыре от бублика), используется для индуцирования в плазме электрического тока, который протекает в тороидальном направлении. Этот ток нагревает плазму до температуры около 1000 эВ. Плазменный ток создает свое магнитное поле, охватывающее тороид. Это поле предотвращает дрейф плазменных частиц за пределы основной области магнитного удержания. Наконец, внешние проводники генерируют вертикальное магнитное поле, удерживающее плазменный шнур от движений вверх и вниз, влево и вправо внутри камеры.

Бывший Советский Союз до середины 60-х годов был единственной страной, где серьезно исследовалась концепция токамака. Позднее Л. А. Арцимович и его коллеги из Института атомной энергии им. И. В. Курчатова сумели значительно увеличить время удержания энергии и темпера-



РАБОТА ТОКАМАКА основана на использовании трех систем электромагнитов. Ряд магнитов создает тороидальное поле, которое удерживает плазму. Магниты центрального трансформатора используются для индуцирования тока в плазме. Этот ток, текущий вдоль тора, нагревает плазму. Магниты вертикального поля действуют так, чтобы держать плазменный шнур в центре тороидальной камеры в устойчивом равновесии.

туру плазмы в токамаках. Их достижения привели к распространению исследований токамаков во многих странах мира.

В результате конструкция токамаков была существенно улучшена. В середине 70-х годов на установках типа токамак были достигнуты температура 3000 эВ и параметр качества удержания около 10^{18} с/м 3 . Сегодня наиболее мощные экспериментальные установки этого типа — токамак JET (Joint European Torus), токамак JT-60 в Японии, экспериментальный термоядерный реактор-токамак TFTR (Tokamak Fusion Test Reactor) и установка DIII-D в США — достигли температуры плазмы 30 000 эВ и параметра качества удержания $2 \cdot 10^{19}$ с/м 3 . Произведение плотности, времени удержания и температуры в течение последних 20 лет увеличилось более чем в 100 раз.

В октябре 1991 г. экспериментаторы, работающие на токамаке JET, продвинули термоядерные исследования еще на один шаг вперед. При использовании дейтерия и трития в JET в течение 2 с генерировалась термоядерная мощность более 1 млн. Вт. Эта энергия в 100 раз превышает энергию, полученные где-либо ранее в экспериментах по управляемому термоядерному синтезу. Кроме того, очень

важно, что полученный результат полностью соответствует ожидаемым расчетным характеристикам. Еще более впечатляющие результаты могут появиться в конце лета 1993 г., когда дейтерий-тритиевые эксперименты начнутся на установке TFTR. Исследователи надеются на получение в этой установке термоядерной мощности 30 млн. Вт. Эта величина примерно равна мощности, требуемой для поддержания температуры плазмы.

Следует также рассмотреть два других достижения в этой области. Первое касается так называемого параметра β (бета); это отношение давления плазмы к давлению внешнего магнитного поля, удерживающего плазму. По существу эта величина является мерой эффективности удержания плазмы магнитами. При заданном давлении плазмы чем больше β , тем меньше требуемое магнитное поле и, следовательно, меньше и более экономичны магниты. В середине 70-х годов в экспериментах достигались значения β около 1%, что примерно на 2—6% меньше величины, которая считается желательной для практического использования токамаков. Исследователи сумели увеличить β с помощью нескольких методов, например «растягивая» сечение плазмы и превращая его из круга в вертикаль-



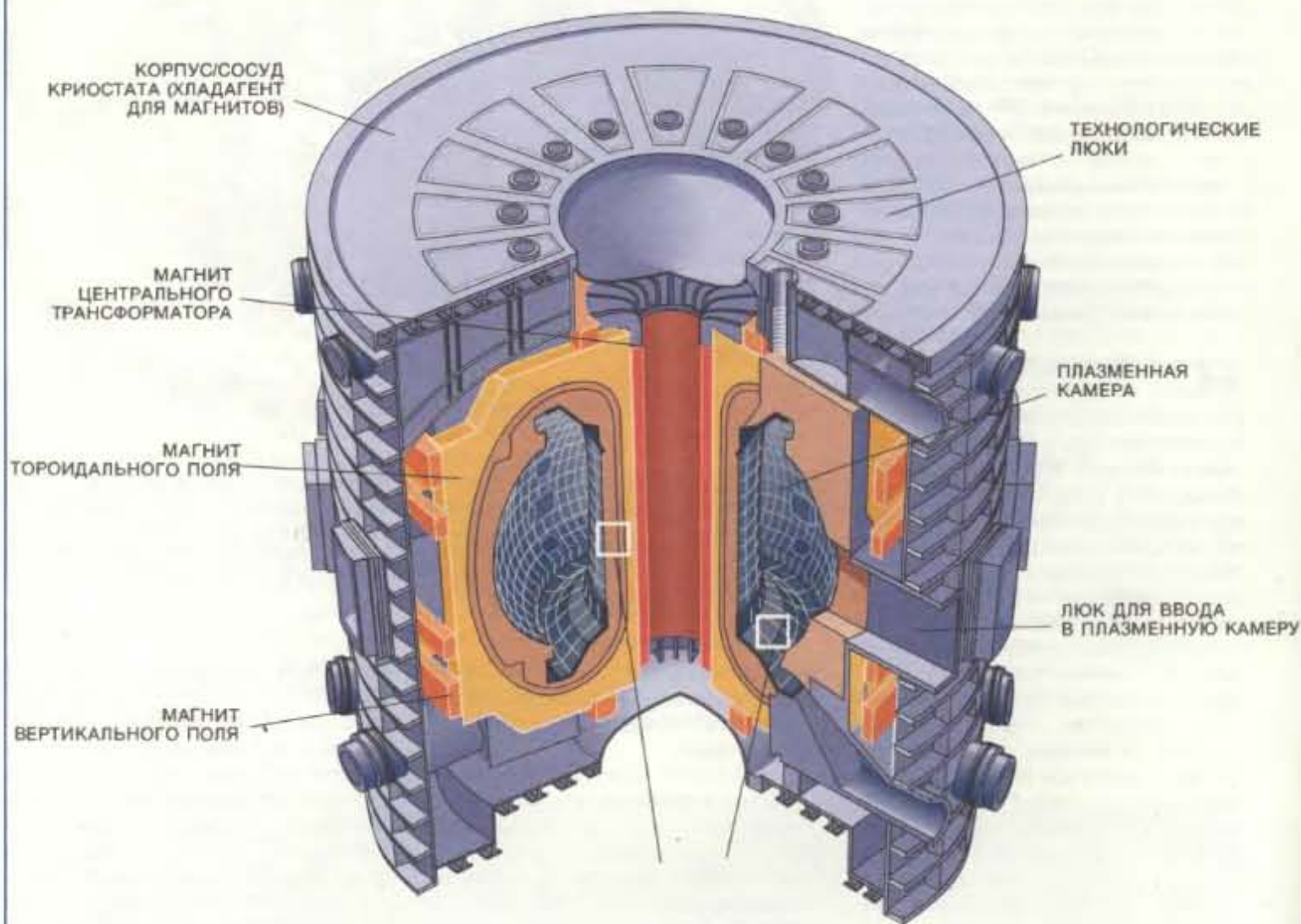
УСЛОВИЯ, когда термоядерная мощность равна мощности, затрачиваемой на нагрев плазмы, близки к достижению на существующих токамаках TFTR, DIII-D, JET и JT-60. Чтобы достичь такого состояния, качество удержания, т. е. произведение плотности плазмы на среднее время ухода энер-

гии из нее, должно быть не менее $5 \cdot 10^{19}$ с на 1 м 3 . Токмак ITER проектируется так, чтобы превзойти эту величину в 10 раз и достичь зажигания, когда выделяющаяся энергия достаточна для поддержания термоядерного горения.

Токамак ITER

Этот экспериментальный реактор будет самым большим из когда-либо построенных токамаков; его высота 25 м. Плазменная камера будет иметь ширину 4,3 м и высоту 8,4 м. На рисунке справа в разрезе показаны отдельные узлы этой установки. Среди наиболее важных — компоненты для тепловой защиты, которые в настоящее время спроектированы лишь в самых общих чертах. Одна

конструкция (а) будет состоять из трех главных частей: первой стенки, blankets и защиты. Она будет служить не только для теплоизоляции, но может также производить тритий. Тепло от плазмы сначала попадает на первую стенку, которая может быть сделана из защитного покрытия «тайлов» из композита на основе углеродных волокон, смонтированных на трубках, охлаждаемых водой. Бла-



нный эллипс. На токамаке DIII-D, построенном компанией General Atomics в Сан-Диего, достигнуто наибольшее для токамаков значение β около 10%. Эта величина значительно превышает необходимую и доказывает экономичность используемых схем магнитного удержания.

Второе связано с поддержанием электрического тока в плазме. Напомним, что этот ток индуцируется с помощью внешних электромагнитов. Согласно законам электродинамики, индуцированный электрический ток может поддерживаться только с помощью магнитного поля, которое непрерывно нарастает. Никакого тока не будет, если поле будет оставаться постоянным. Следовательно, внешние магниты, которые индуцируют ток в плазме, должны генерировать бесконечно нарастающее магнитное

поле, что практически невозможно. Вместо этого экспериментаторы должны через некоторое время «выключать» плазму и снова устанавливать ток в магнитах на начальном уровне. Только внешние неиндуктивные методы поддержания тока могут привести к стационарному существованию плазмы.

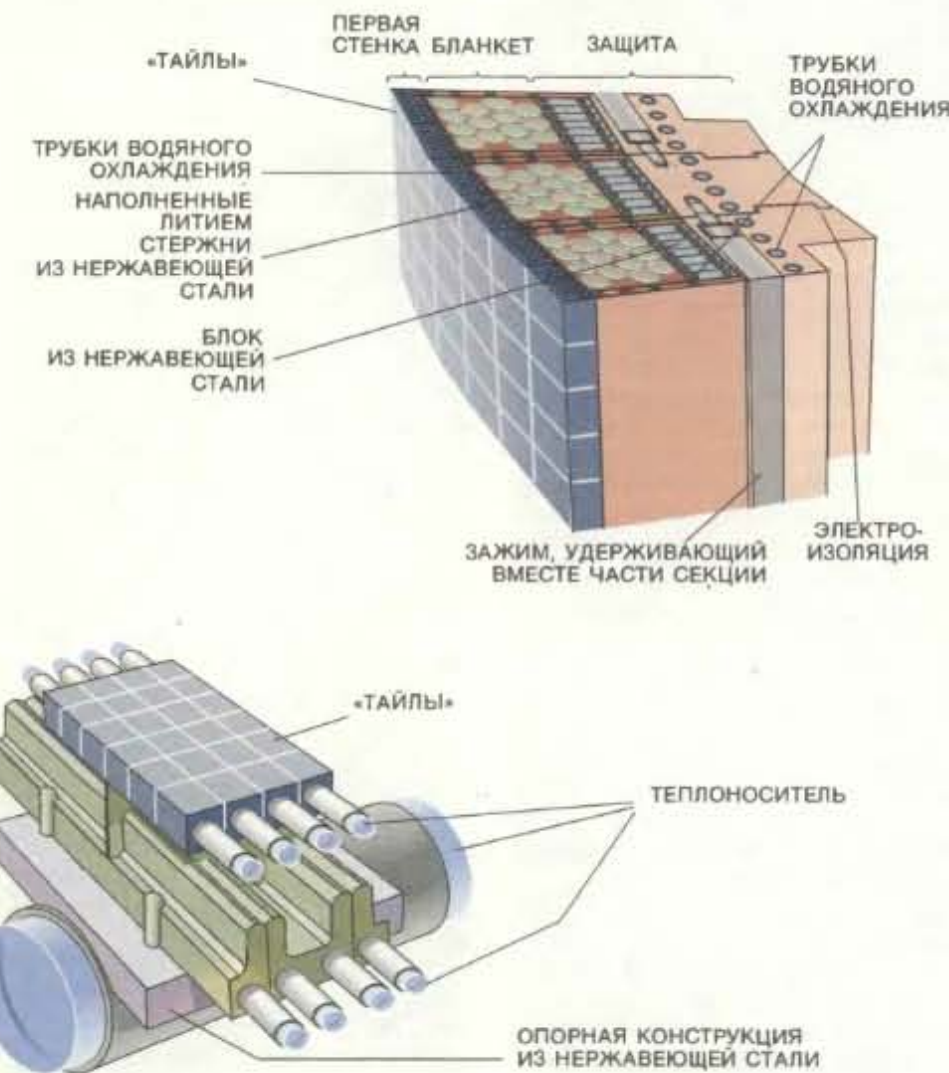
В 1971 г. Р. Биккертон, Дж. Коннор и Б. Тейлор из Калэмской лаборатории в Абингдоне (Великобритания) предложили способ поддержания тока. Они предсказали, что комбинация радиального градиента давления и вязких сил, действующих в направлении поля, в достаточно горячей плазме вызовет появление самоподдерживающегося тороидального тока. Исследователи называют этот самоподдерживающийся электрический ток бутстреп-током. Здесь, кажется, при-

рода наконец пошла нам навстречу и создала «бесплатно» нечто, что позволяет токамакам работать стационарно. Эксперименты с целью подтвердить существование бутстреп-тока были безуспешными до 1989 г., когда на установке TFTR, а затем JET и JT-60 его наконец обнаружили.

Результаты, полученные на JT-60 с бутстреп-током, особенно важны для практического применения управляемого синтеза. В некоторых случаях до 80% плазменного тока в 500 тыс. А поддерживалось за счет «бесплатного» бутстреп-тока. В отдельных экспериментах было достигнуто поддержание тороидального плазменного тока в 2 млн. А.

НЕСМОТЯ на определенный прогресс в экспериментах на токамаках, несколько проблем остаются не-

решенными. Исследователи еще не выяснили фундаментальную природу турбулентного переноса тепла и частиц поперек силовых линий магнитного поля — процесса, который снижает температуру плазмы. Знание физики «зажигания» и поддержания термоядерного горения также является неполным. На ITER будут исследоваться эти проблемы. Основными целями проекта ITER являются достижение условий зажигания и длительного термоядерного горения, которые будут типичны для реального термоядерного реактора, а также испытание и демонстрация технологий для практического использования управляемого синтеза.



решенными. Исследователи еще не выяснили фундаментальную природу турбулентного переноса тепла и частиц поперек силовых линий магнитного поля — процесса, который снижает температуру плазмы. Знание физики «зажигания» и поддержания термоядерного горения также является неполным. На ITER будут исследоваться эти проблемы. Основными целями проекта ITER являются достижение условий зажигания и длительного термоядерного горения, которые будут типичны для реального термоядерного реактора, а также испытание и демонстрация технологий для практического использования управляемого синтеза.

Эти цели программы ITER были определены в результате международного сотрудничества от 40 до 60 ученых, включая нас и наших коллег,

которые участвовали в Научно-техническом консультативном комитете. Объединенная международная группа работала в течение длительных периодов времени в Институте физики плазмы Общества им. Макса Планка с 1987 по 1990 г. Ее члены часто встречались с Консультативным комитетом Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в Вене — официальном агентстве, под эгидой которого осуществляется эта программа. После того как были определены основные технические характеристики токамака ITER, группа перешла к концептуальному проекту всего устройства. Затем были разработаны план работы на установке и исследовательская программа; это важный вопрос, так как реактор будет работать по крайней мере 15 лет. Разработан также график сооруже-

ния токамака ITER. Строительство будет осуществляться с 1997 по 2004 г.; установка вступит в строй в 2005 г. Конечно, этот график зависит от постоянного согласия между участниками проекта. Политические факторы затрудняют гарантии этого. Мы ожидаем, однако, что стороны смогут прийти к решению о месте строительства в течение четырех лет, после чего у них будет в запасе еще один год до принятия окончательного решения.

Мы считаем, что для завершения инженерного проекта и проведения соответствующих исследований и разработок потребуется истратить около 1 млрд. долл. Эти затраты должны быть разделены поровну между четырьмя сторонами-участниками и распределены на 6-летний период реализации проекта. Расходы на сооружение установки оценены примерно в 5,8 млрд. долл. в течение 6—7-летнего периода. Еще предстоит определить, будут ли эти расходы распределены поровну между партнерами или страна, на территории которой будет размещен реактор, должна нести большие расходы с учетом последующей компенсации за счет прибыли местной экономики. Во время строительства для исследований и разработок потребуется еще 500 млн. долл. Суммирование этих цифр дает полную стоимость разработки и сооружения ITER около 7,5 млрд. долл. в течение 13 лет.

После сооружения установки программа ITER будет состоять из двух основных стадий. Первая, называемая физической стадией, продлится 6—8 лет. В это время исследователи попытаются достичь условий зажигания и длительного горения, типичных для энергетического термоядерного реактора. После пуска и проведения полных испытаний исследования будут сфокусированы на стационарном поддержании плазмы и условий для дейтерий-тритиевого синтеза. Будут также изучаться эффекты нагрева плазмы α -частицами, динамика и контроль горения плазмы, а также диффузия и удаление гелия, после того как ядра гелия отдали всю энергию плазме.

Следующая стадия — это многолетняя программа решения технических и инженерных проблем. Многие технологии будут продемонстрированы уже на физической стадии — из наиболее важных, например, работа сверхпроводящих магнитов, системы нагрева плазмы и поддержания тока, устройства для введения топлива и удаления «зола», инструменты для дистанционного обслуживания и внешние обеспечивающие системы. На технологической стадии будут ис-

пытываться интегральные характеристики и надежность оборудования, а также альтернативные материалы и конструкции.

Конструирование и инженерные разработки должны привести к созданию реактора ITER, который благодаря синтезу дейтерия и трития сможет генерировать мощность 1000 МВт. Это будет значительное достижение. Ожидаемый термоядерный выход будет на три порядка величины больше, чем уже достигнуто на установке JET, наиболее мощной термоядерной установке в настоящее время. Плазменная система сначала будет работать в импульсном режиме, поддерживая ток в течение чуть более 3 мин, прежде чем возникнет необходимость вернуть ток трансформатора в начальное состояние. К концу программы плазма будет поддерживаться непрерывно с использованием некоторой комбинации естественного возникающего бутстреп-тока и вспомогательной системы поддержания тока, исследуемой в настоящее время на установках JT-60 и TFTR. Ток в плазме должен достичь около 25 млн. А, что превышает ток, используемый в JET, на 20 млн. А. Размеры токамака ITER будут примерно в два раза больше, чем самого крупного токамака, работающего в настоящее время: эллиптическое поперечное сечение тора будет иметь ширину 4,3 м, высоту 8,4 м и большой радиус тора — более 6 м.

Чтобы удерживать плазму, 16D-образных сверхпроводящих магнитов будут генерировать сильное тороидальное магнитное поле. Эти сверхпроводящие магниты будут самыми большими в мире — 14,8 м в высоту и 7,1 м в ширину. Сверхпроводящий провод, сделанный из ниобий-оловянных проволочек, погруженных в медную матрицу, будет поддерживаться при температуре около 4,5 К с помощью жидкого гелия. Сверхпроводник будет способен нести ток 35 000. А; в каждом магните будет 240 витков такого провода.

Таким образом, эта система будет способна создавать магнитное поле 4,85 Т (тесла) в центре плазменного шнура. Однако из-за тороидальности максимальное магнитное поле, создаваемое на внутренней вертикальной «ноге» D-образной катушки, будет достигать 11,2 Т. Это поле, которое в 200 тыс. раз сильнее, чем среднее магнитное поле Земли, будет запасать в восемь раз больше энергии, чем в магнитах современных токамаков. Другие сверхпроводящие магниты будут создавать магнитный поток в трансформаторе (для возбуждения и поддержания тока в плазме) и управлять формой поперечного сечения плазмы.

Эти сверхпроводящие магниты нужно изолировать от находящейся рядом плазмы. Огромное количество тепла, выделяющееся в термоядерных реакциях, делает охлаждение магнитов абсолютно бесполезным. Кроме того, быстрые нейтроны, возникающие в реакциях синтеза, будут повреждать материалы магнита. Эти нейтроны уносят 80% тепла, высвобождающегося при синтезе. Остальные 20% передаются плазме с помощью α -частиц, а плазменное тепло уходит наружу в виде электромагнитного излучения (в основном рентгеновских лучей) и заряженных частиц, которые могут диффундировать наружу из основного объема плазмы.

Тороидальная камера, обращенная к плазме, является первым слоем тепловой защиты; ее называют первой стенкой. Она будет сделана из нержавеющей стали, охлаждаемой водой. Защитная «черепаха» (так называемые «тайлы») из композита на основе углеродных волокон будет защищать стальные панели от плавления и тепловой усталости. Такое покрытие похоже на уже используемое в экстремальных условиях — «тайлы» на нижней поверхности космического корабля шаттл, защищающие его во время вхождения в плотные слои атмосферы. «Тайлы», которые можно будет снимать для проведения профилактического ремонта, должны функционировать при температуре около 1800 К и будут излучать большую часть поглощенного ими тепла.

Тепло, уходящее из плазмы с заряженными частицами, будет переноситься вдоль силовых линий магнитного поля в верхнюю и нижнюю части плазменной камеры. Здесь специальная система пластин, называемая дивертором, будет принимать мощность около 100 МВт. Дивертор является одной из крайне важных систем ITER, так как тепловая нагрузка может достигать 25 млн. Вт/м². Для сравнения отметим, что средняя солнечная радиация, достигающая поверхности Земли, составляет только 1300 Вт/м². И в этом случае для дивертора были предложены также «тайлы» из композита на основе углеродных волокон, но в этой области нужно провести еще много исследований и разработок.

ЗА ПЕРВОЙ стенкой будет расположена 1,5-метровая конструкция, называемая бланкетом и защитой, — центральный элемент технологической стадии ITER; это единственная из основных систем, которая никогда не испытывалась ранее. Специалисты предложили для нее несколько конструкций. Окончательная будет выбрана в течение следующих шести лет

на инженерной стадии проекта.

Один из предложенных вариантов описан ниже для иллюстрации важных особенностей системы. В этом варианте бланкет состоит из полых стержней, сделанных из нержавеющей стали, внутренние полости которых заполнены сферами диаметром 1 мм из литевой керамики, такой, как оксид лития или алюминат лития. (В другом варианте предлагается применить литий в виде слоев из спеченного порошка.) Вода, омывающая стержни снаружи, будет отводить тепло, поддерживая сферы внутри стержней при температуре в интервале 670—870 К.

Бланкет такой конструкции должен забирать у нейтронов почти всю их энергию (в виде тепла). Нейтроны будут замедляться достаточно сильно для того, чтобы быть поглощенными в бланкете. Это поглощение позволяет генерировать, т. е. воспроизводить, топливо. Естественные изотопы лития, особенно ядра лития-6, легко захватывают быстрые нейтроны и разваливаются с образованием гелия и трития. Фактически можно произвести больше трития, чем потребляется. Для этого исследователи должны ввести в бланкет некоторое количество бериллия. Когда бериллий захватывает быстрый нейтрон, он испускает два вторичных нейтрона, которые могут быть захвачены литием.

Тритий, произведенный в этих стержнях, будет постепенно диффундировать из литевых керамических сфер наружу. Гелиевый газ низкого давления проходит внутри стальных труб, очищая их и унося тритий в систему улавливания и рециркуляции. Этот газ служит также для усиления теплообмена между наполнителем из литевых сфер и стенками удерживающих труб.

За зоной тритиевого размножения и теплоотвода находится главный барьер, оберегающий магниты, — водоохлаждаемая защита. Хотя в основном она должна быть сделана из нержавеющей стали, в защите будут содержаться также свинец и карбид бора. Эта комбинация эффективна с точки зрения захвата нейтронов, проскочивших через бланкет. Из каждого ватта нейтронной мощности, падающей на первую стенку, лишь менее 60 мВт тепла достигнут магнитной системы. Кроме того, такая защита останавливает гамма-лучи, генерируемые при взаимодействии нейтронов с атомами бланкета. Она служит также для защиты сотрудников и наблюдателей от облучения.

Для полного обеспечения работы реактора ITER должно быть разработано еще много других систем. Например, для пополнения количества

дейтерия и трития в плазме нужны средства их инъекции. Система очистки должна быть способна удалять гелий и поддерживать в тороидальной камере вакуум. Тот факт, что тор радиоактивен, означает, что для его обслуживания нужны телеуправляемые роботы.

Настоящая термоядерная электростанция — та, которая вырабатывает электрическую энергию, — потребует каких-то способов преобразования тепла, генерируемого в термоядерных реакциях. Для этой цели мог бы использоваться теплоноситель, охлаждающий бланкет и защиту. Он переносил бы примерно 2500 МВт тепловой энергии, генерируемых в таком энергетическом реакторе, и отдавал бы это тепло парогенератору. Образующийся пар мог бы затем вращать турбины, производящие около 1000 МВт электрической мощности.

Хотя токамак ITER будет построен для комплексных испытаний компонентов реактора, сам он не будет производить электроэнергию. Требования, предъявляемые к реактору, производящему полезную энергию, будут изучены во второй части рабочей программы ITER; это может привести к модификации материалов и конструкций, использованных в базовой установке.

Таким образом, эта вторая часть программы будет посвящена изучению новых материалов и концепций, которые могут оказаться более подходящими для энергетического реактора. Для бланкета и защиты будут испытываться такие материалы, как сплавы ванадия и упрочненная волокном керамика из карбида кремния, которые значительно меньше активируются, чем нержавеющая сталь. Предложено также использовать литий и сплав свинца с литием в жидкой фазе для генерации трития. В жидкой фазе литий мог бы служить и теплоносителем.

ДЛЯ проверки соответствия конструкции нужным требованиям необходимо, чтобы интенсивность нейтронного потока была достаточно большой; тогда результаты испытаний можно будет экстраполировать до требований энергетического реактора. В ITER поток первичных термоядерных нейтронов будет составлять 1,2 МВт на 1 м²; этого достаточно для определения того, насколько эффективно работает данная конструкция бланкета и защиты. Изменения тепловых и физических свойств используемых керамических материалов можно будет наблюдать примерно через месяц непрерывной работы (или по эквиваленту интегрального облучения). Изменения свойств ме-

таллических конструкций можно будет исследовать после 1—3 лет работы.

Из-за значительной продолжительности этих материаловедческих испытаний они могли бы проводиться на отдельной термоядерной установке, намного меньшей, чем ITER. Испытания, проводимые на ITER, потребуют, чтобы реактор функционировал непрерывно от одной до нескольких недель в любое заданное время. Если умножить число испытаний на длительность каждого из них и возможное число вариантов конструкции, то становится понятным, почему необходима многолетняя программа исследований. Важна также технологическая часть программы ITER как прототипа

термоядерной электростанции.

Программа ITER открывает новые возможности и в другом смысле. В настоящее время реализация проектов «большой науки», таких, как Сверхпроводящий суперколлайдер (SSC) и «Геном человека», ограничена финансовыми возможностями одной страны — США. Проект ITER, напротив, является полностью международным с самого своего зарождения. Его реализация может продемонстрировать совершенно новый подход к крупномасштабным научно-техническим проектам. Во всех случаях можно быть уверенным, что ITER приведет нас к новому уровню термоядерных исследований.

Наука и общество

Кто виноват?

ПОЧЕМУ при таких заболеваниях, как инсулинзависимый диабет, рассеянный склероз и ревматоидный артрит, иммунная система атакует компоненты собственного организма? Исчерпывающего ответа на этот вопрос пока нет, но после многолетних поисков на молекулярном уровне появились некоторые предположения. Авторы гипотез ревностно их защищают, и потому Д. Фостман с группой иммунологов весьма огорчила многих, объявив, что исследователи прозвали главную причину инсулинзависимого диабета. Если Фостман и ее коллеги правы, то ставятся под сомнение прежние представления. Однако некоторые специалисты считают данные Фостмана необщедоступными.

Инсулинзависимый диабет, или диабет типа I, развивается, судя по всему, тогда, когда клетки иммунной системы, называемые Т-лимфоцитами, атакуют клетки островков поджелудочной железы, секретирующие инсулин. В отсутствие инсулина подскакивает уровень глюкозы в крови, что имеет тяжелые, а то и фатальные последствия. В вопросе о том, почему иммунная система атакует островковые клетки, полной ясности нет, но имеются кое-какие указания на возможный механизм. Люди, страдающие диабетом, и мыши линии NOD (от англ. nonobese diabetic — больные диабетом без ожирения), которые характеризуются предрасположением к развитию этого заболевания, обладают, по-видимому, аномальными генами белков МНС (от англ. major histocompatibility complex — главный комплекс гистосовместимости) класса II.

Эти белки, присутствующие на по-

верхности определенных клеток, участвуют в процессе так называемого представления чужеродных антигенов, попадающих в кровь и другие ткани организма извне, Т-лимфоцитам, которые в результате приводятся в «боевую готовность». В последнее время среди иммунологов стало почти общепринятым мнение, что организм млекопитающего бывает подвержен диабету вследствие дефекта белков МНС класса II, из-за чего иммунная система воспринимает нормальные клетки островков поджелудочной железы как аномальные или чужеродные.

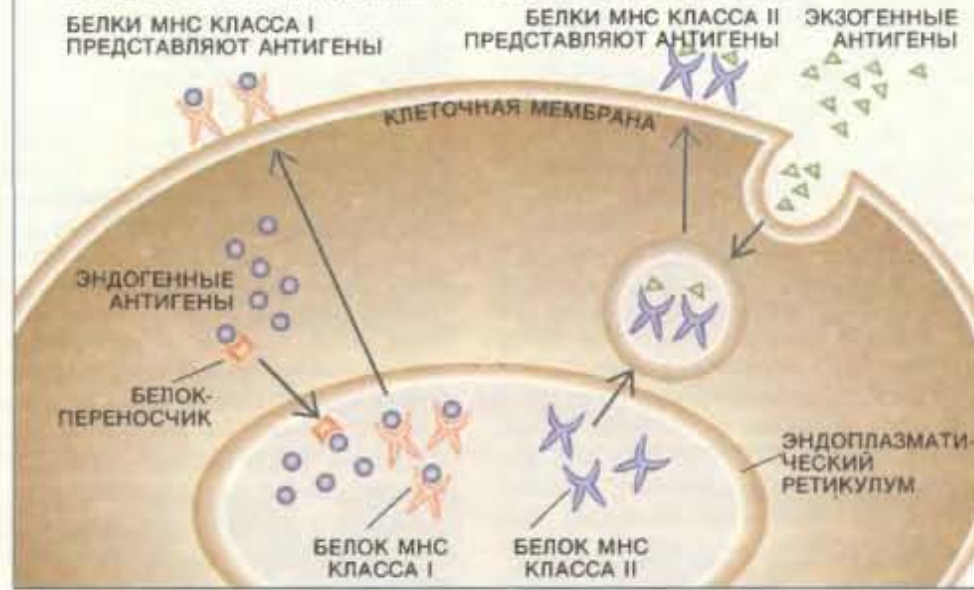
Работа Фостман с сотрудниками, опубликованная в декабре прошлого года в журнале «Science», противоречит этому мнению тем, что, так сказать, смешает фокус, связывая причину аутоиммунного диабета с другими белками МНС — класса I, а не II. Белки МНС класса I тоже располагаются на клеточной поверхности и участвуют в представлении антигенов — но не чужеродных, а собственных компонентов организма. В тимусе они, видимо, играют роль в «обучении» незрелых Т-лимфоцитов распознаванию «своих» и «чужих» антигенов.

Как полагает Фостман, при диабете Т-лимфоциты не просто обманываются и потому атакуют островковые клетки, а дело в том, что они не научились распознавать антигены этих клеток как нормальные компоненты собственного организма. Хотя в работе Фостман с коллегами внимание сосредоточено на диабете, предложенный ими механизм может иметь значение и при других аутоиммунных заболеваниях.

Группа Фостман пришла к заключению о роли белков МНС класса I, показав, что люди, принадлежащие к группе особо высокого риска в отно-

Роль белков главного комплекса гистосовместимости

Белки главного комплекса гистосовместимости (МНС) играют регуляторную роль в иммунной системе. Чтобы попасть на поверхность клетки, такой белок должен связаться с антигеном. При этом молекулы МНС класса I в отличие от класса II пользуются «услугами» белка-переносчика. Согласно новой гипотезе, причиной аутоиммунных расстройств могут быть дефект переносчика и возникающая вследствие этого недостаточность белков МНС класса I.



шении диабета, и больные им страдают резкой недостаточностью этого белка. У мышей специфической линии, не имеющих определенного белка МНС класса I, наблюдалась тенденция к развитию диабета.

Дальнейшие исследования на мышах NOD, у которых, похоже, тоже не хватает данного белка, позволили предположить, что у этих животных имеется мутация в гене, кодирующем белок-переносчик, способствующий взаимодействию молекул МНС класса I с антигенами. Поскольку молекулы МНС класса I нестабильны, если не связаны с антигенами, дефект белка-переносчика может приводить к снижению уровня этих молекул и тем самым к иммунологическим нарушениям.

Новые данные поднимают немало вопросов. Белки МНС класса I представляют все собственные антигены организма — не только связанные с диабетом. При недостаточности этих белков должны, вероятно, развиваться разнообразные аутоиммунные расстройства помимо инсулинзависимого диабета. Действительно, как отмечает соавтор Фостман Дж. Эйзенбарт из Джослинского диабетического центра в Бостоне, наблюдения врачей свидетельствуют, что подверженность какому-либо аутоиммунному заболеванию увеличивает подверженность и другим подобным расстройствам. «И у мышей, и у людей развитие диабета типа I часто сопровождается рядом аутоиммунных заболеваний», — поясняет он. — Какая конкретно болезнь поразит данного индивида, определяется отчасти слу-

чайностью, а в некоторой степени — генетическими факторами».

Многих иммунологов не убедили данные и рассуждения Фостман. Э. Лейтер из Джексоновской лаборатории в Бар-Харборе (шт. Мэн), долгое время изучавший генетические причины диабета у мышей NOD, утверждает, что рассматриваемая Фостман мутация не вызывает никакого дефекта белка-переносчика, кодируемого затронутым геном. Тогда неясно, почему эта мутация обуславливает понижение уровня белков МНС класса I. Другие исследователи сообщали, что, по их наблюдениям, у мышей NOD вообще нет дефицита белков МНС класса I.

По словам Т. Спайса из Онкологического института Даны—Фарбера в Бостоне, считающегося авторитетом по белкам-переносчикам, у людей известно несколько вариантов переносчика, имеющего отношение к связыванию белков МНС класса I с антигенами, но ни один из них не коррелирует сколько-нибудь заметно с диабетом. Кроме того, он предостерегает, что такие исследования находятся еще в начальной стадии и пока никто систематически не занимался дефектами белков-переносчиков при диабете.

Наиболее сильные генетические признаки подверженности диабету, судя по всему, касаются белков МНС класса II. Но в упомянутой статье в «Science» подчеркивается, что у мышей мутантный ген белка-переносчика соседствует с областью генов МНС класса II и эта близость могла ввести в заблуждение относительно связи

между белками МНС класса II и подверженностью диабету. Однако Эйзенбарт не отвергает роли белков МНС класса II. «Несомненно, в МНС есть масса возможностей для множества разнообразных эффектов», — говорит он. — Не думаю, что роль класса I как-то исключает или уменьшает важность класса II».

Как полагает Эйзенбарт, следующим этапом исследований должно быть выяснение того, почему у больных диабетом понижен уровень белка МНС класса I: является причиной этого нарушение функционирования переносчика или что-то еще? По всей вероятности, такой феномен определяется не только генетическими факторами. Известны случаи, когда из двух близнецов лишь один страдает диабетом и именно у него понижен уровень белка МНС класса I. Возможно, какие-то иные факторы вызывают нехватку этого белка. Будет ли решена загадка причин инсулинзависимого диабета новыми работами группы Фостман, сказать трудно, но эти исследования наверняка расширят основания для гипотез.

Зарплата не по труду

В НАШИ дни, когда наблюдается общее снижение экономических показателей, лишь одни цифры продолжают неуклонно расти: зарплата высших руководящих работников. За последние 20 лет реальная зарплата среднего американского рабочего (с учетом инфляции) упала почти на 13%, тогда как зарплата высших руководящих работников выросла почти вчетверо. Эти данные приведены Грэфом Кристалом, профессором Калифорнийского университета в Беркли, в его недавно вышедшей книге «В поисках излишков: сверхзарплата американских руководящих работников».

Такие сообщения стали причиной нарастания общественного возмущения и предъявления требований к правительству принять какие-либо меры. Однако большинство экономистов считает, что эти выступления направлены скорее на подавление симптомов «болезни», чем на устранение ее причин.

С точки зрения экономистов, резкое увеличение зарплат высших руководящих работников указывает или на хроническую нехватку этих работников, или, что более вероятно, на то, что соответствующий рынок прекратил правильно функционировать. Данные, собранные Кевином Мерфи и Майклом Йенсенем из Гарвардского университета, показывают, насколько неэффективно действует этот

рынок. Типичная крупная компания, доходы которой составляют 400 млн. долл., выплачивает своим высшим руководящим работникам 1,04 млн. долл.; компания, которая терпит на ту же сумму убытков, платит своим руководителям 800 тыс. долл.

Чтобы понять, почему не работает рынок высших руководящих работников, рассмотрим элементы хорошо функционирующего рынка, например рынка новых автомобилей. В этом случае факторы спроса и предложения регулируют повышение и снижение цен на машины. Хорошо информированные производители, которые в состоянии оценить настроение потребителей, обеспечивают соответствующее предложение автомобилей. Хорошо информированные потребители, «вооруженные» экземплярами издания «Потребительский бюллетень» и советами родственников и друзей, определяют спрос. Поскольку покупка автомобиля считается крупным и долгосрочным капиталовложением, у потребителя появляется сильное желание заключить наилучшую возможную сделку. В конце концов он вступает в трудные переговоры с агентом по продаже автомобилей, который в свою очередь борется за наивысшую цену, потому что от этого зависит его собственная зарплата.

В отличие от этого, по словам Мерфи, рынок высших руководящих работников лишен таких факторов воздействия на эффективность. Во-первых, предложение высших руководящих работников не очень сильно меняется. Компании обычно формируют состав руководящих работников высшего звена из числа своих младших руководителей. Согласно исследованиям Мерфи и Йенсена, приблизительно 90% работников высшего руководящего состава к моменту, когда их назначили на эту должность, уже проработали на фирме 10 и более лет. Во-вторых, ощущается недостаток надежных критериев оценки качества работы руководителя. Советы директоров — номинальные покупатели на рынке высших руководящих работников — нанимают нового начальника или назначают на эту должность «старого» руководителя, основываясь на гораздо меньшем количестве информации о нем, чем та, которой пользуется покупатель автомобиля.

Кристал говорит, что, как только руководитель начинает управлять фирмой, большая часть информации, которую совет директоров получает о его деятельности, исходит от него самого. Положение руководителя укрепляют консультанты по зарплате, которых он нанял и которые или указывают ему на других руководящих

работников высшего ранга, получающих больше денег, или разрабатывают критерии работы, выставляющие в самом выгодном свете результаты его деятельности.

Те, кто покупает услуги высших руководящих работников, не только плохо информированы, у них, кроме того, еще и отсутствуют стимулы для улучшения положения дел. Поскольку члены совета директоров редко владеют большим количеством акций фирмы, их личная финансовая обеспеченность не повышается и не понижается в ходе работы фирмы. «Кроме банкротства, не существует никакого внешнего механизма, который бы наказывал совет директоров за принятые им нелепые решения в отношении зарплат или за слабое общее руководство», — замечает Джозеф Грюндфест, бывший член Комиссии по ценным бумагам и биржам, а ныне — профессор Станфордской правовой школы.

Более того, совет директоров нередко имеет веские причины содействовать получению высшим руководящим работником более толстого «пакета зарплат», поскольку члены совета часто работают в этой же фирме, и высший руководитель может их уволить, или же они — «со стороны», и высший руководитель «отобрал» их как номинальных представителей интересов акционеров. Эти сторонние члены совета в свою очередь, весьма вероятно, являются или высшими руководящими работниками других крупных акционерных компаний, или же «профессиональными» директорами, которые заседают сразу во многих советах. По словам Бенджамина Хермалина, профессора из Беркли, «раскачивание лодки» могло бы подвергнуть риску директорские гонорары этих последних.

Зарплата высших руководящих работников не всегда была столь высокой. В годы непосредственно после второй мировой войны большинство американских высших руководителей на фирмах получали в качестве стимула для их хорошей работы право выбора акций. По мере роста акционерного капитала фирмы росло и их благосостояние. Но когда в 70-х годах рост рынка ценных бумаг приостановился, высшие руководящие работники стали доказывать, что рынок «дал сбой» и обесценивает деятельность их компаний и, следовательно, их услуг тоже. Вошло в моду «консультирование по зарплате», вспоминает Кристал, и консультанты изобретали все более изощренные способы обеспечения хорошего вознаграждения высших руководителей за их работу независимо от результатов финансовой деятельности компании.

Правительство может принять некоторые меры для того, чтобы разблокировать механизмы правильного функционирования рынка высших руководящих работников и повысить эффективность их работы, требуя от фирм предоставления более достоверных данных как в отношении общих результатов финансовой деятельности, так и в отношении зарплат этих высших руководителей. Однако, как считают экономисты, чтобы вернуть рыночные механизмы в рабочее состояние, члены советов директоров должны стать более умными потребителями труда высших руководителей. И, кроме того, советы директоров должны иметь сильные стимулы, чтобы в полной мере стремиться к повышению доходов своих акционеров, чьи интересы они, так сказать, представляют.

Один из таких стимулов — деньги. Как указывает Хермалин, экономическая необходимость кладет конец практике, столь присущей американским советам директоров, в соответствии с которой эти советы почти повсеместно управляются людьми, которым нечего терять или приобретать в результате рыночной деятельности компании. В управлении деятельностью фирм все более активную роль начинают играть такие крупные держатели акций, как, например, пенсионные фонды.

Однако, если такие «корректирующие» воздействия не возымеют в скором времени должного эффекта, общественное мнение может заставить правительство произвести более радикальные изменения в структуре управления компаний. Конгрессмен Мартин Сабо из Миннесоты предложил увеличить налоги фирмам, которые платят своим высшим руководящим работникам более чем 25-кратную ставку самого низкооплачиваемого рабочего (сейчас высшие руководители получают в среднем в 160 раз больше рабочего). Для сравнения: японские высшие руководители зарабатывают всего лишь в 20 раз больше, чем рабочие.

Комиссия по ценным бумагам и биржам и сенатор Карл Левин из Мичигана предложили решение, комбинирующее свободный рынок с идеальной справедливостью: разрешить акционерам непосредственно голосовать по оплате труда высших руководителей. Это весьма решительное предложение в случае его реализации привело бы в действие наиболее жесткий из классических экономических механизмов применительно к вопросу о том, чего в действительности стоят наши боссы.

Пол Уоллич и Элизабет Коркоран

Твердые кислотные катализаторы

В разработке этих важных промышленных материалов достигнут значительный прогресс. Применение некоторых новых твердых кислотных катализаторов может снизить степень вредного воздействия на окружающую среду получаемых продуктов

ДЖОН МЬЮРИГ ТОМАС

ПРОЦЕССЫ, протекающие в «микрореаляторах», порах и полостях твердых кислотных катализаторов, составляют основу многих промышленных производств. Они в своих внутренних каналах и камерах, как и другие катализаторы, ускоряют химические реакции, которые в их отсутствие протекают гораздо медленнее. Но в отличие от других катализаторов твердые кислоты позволяют достичь очень высокой эффективности и сохранить окружающую среду.

Каждый год с помощью синтетических катализаторов производится продукции более чем на триллион долларов. Без них было бы невозможно поддерживать на необходимом уровне производство удобрений, фармацевтических препаратов, топлива, синтетических волокон, растворителей и поверхностно-активных веществ. Действительно, производство 90% всех промышленных продуктов связано с катализом на той или иной стадии. Поскольку эти агенты играют центральную роль в нефтехимической и других отраслях промышленности, химики и ученые-материаловеды постоянно ведут поиск новейших катализаторов и работают над улучшением свойств уже используемых.

В настоящее время эти проблемы вновь стали актуальными. В США, Западной Европе и в других странах новые, а также готовящиеся к принятию законы в области промышленности предусматривают более строгие меры по защите окружающей среды. Так, вскоре в законодательном порядке будет запрещен выброс в атмосферу таких продуктов, как канцерогенный бензол, компонент бензина. К другим веществам, подлежащим контролю, относятся ядовитый монооксид углерода, коррозионные и химически активные оксиды серы и азота, а также диоксид углерода и летучие углеводороды, которые обуславливают «парниковый» эффект.

Как составной части важных промышленных процессов катализаторам принадлежит решающая роль в подавлении или полной ликвидации образования вредных для окружающей среды продуктов. Благодаря продолжающимся исследованиям с помощью некоторых катализаторов удалось получить моторное топливо, почти не содержащее бензола. Другие катализаторы позволили получить компоненты бензина с повышенным октановым числом и таким образом улучшить эксплуатационные качества двигателей, сократив потребность в свинце (см. статью: Р. Джексон. Биметаллические катализаторы, «В мире науки», 1985, № 1).

Однако многие из эффективных катализаторов, включая те, которые могут быть использованы для ограничения выхода токсичных побочных продуктов, имеют свои недостатки. В жидкой форме они часто представляют собой высокотоксичные или агрессивные кислоты, например фтористый водород. Так, в 1989 г. в промышленности США было использовано 44 млн. т серной кислоты и 12 млн. т фосфорной кислоты, хотя и не только для катализа. Эти кислоты вызывают коррозию емкостей для хранения; они опасны при транспортировке и при работе с ними. Кроме того, поскольку реагенты смешиваются с жидкими кислотами, разделение продуктов реакции часто представляет трудный и энергоемкий процесс.

Твердые кислотные катализаторы не только инициируют выход продуктов реакции, но могут также ослабить их влияние на окружающую среду. Поскольку кислотность этих твердых веществ находится «внутри», с ними легко работать — их даже можно держать в руке. Кроме того, они очень эффективны: кислотность некоторых из этих веществ более чем в 10 млн. раз превышает кислотность серной кислоты. Примерно половина промышленных каталитических реак-

ций осуществляется с использованием этих катализаторов.

Твердые кислотные катализаторы высшего качества необходимы в промышленном производстве и для охраны окружающей среды. Работы по созданию принципиально новых и более эффективных катализаторов этого типа успешно проводились в последние десятилетия. Недавно использование более совершенных методов химии твердого состояния и компьютерного моделирования позволило исследователям, в том числе и мне, создать несколько разных форм твердых кислотных катализаторов.

ХОТЯ структура этих катализаторов отличается от жидких кислот, их действие основано на том же принципе. Кислоты характеризуются способностью отдавать ион водорода H^+ . Сильные кислоты легко отдают большое число этих ионов. Протоны часто выделяются из таких частиц, как ионизованная гидроксильная группа, в которой связь между кислородом и водородом разрывается с образованием ионов O^- и H^+ . Протоны также могут выделяться из гидратированных ионов, например H_3O^+ или $H_2O_2^+$.

Способность отдавать протоны делает кислоты ценными катализаторами. Когда реагент получает или присоединяет протоны кислоты, он образует так называемый реакционно-способный интермедиат (промежуточное соединение). Этот положительно заряженный интермедиат может изменять форму и конфигурацию двумя путями. Интермедиат может просто отдать протон (возвращая его катализатору); при этом образуется изомер — соединение, имеющее такой же молекулярный состав, но отличающееся молекулярной структурой. Или же интермедиат может и дальше участвовать в реакции, которая заканчивается образованием новой молекулы. В этом случае

протон также возвращается катализатору.

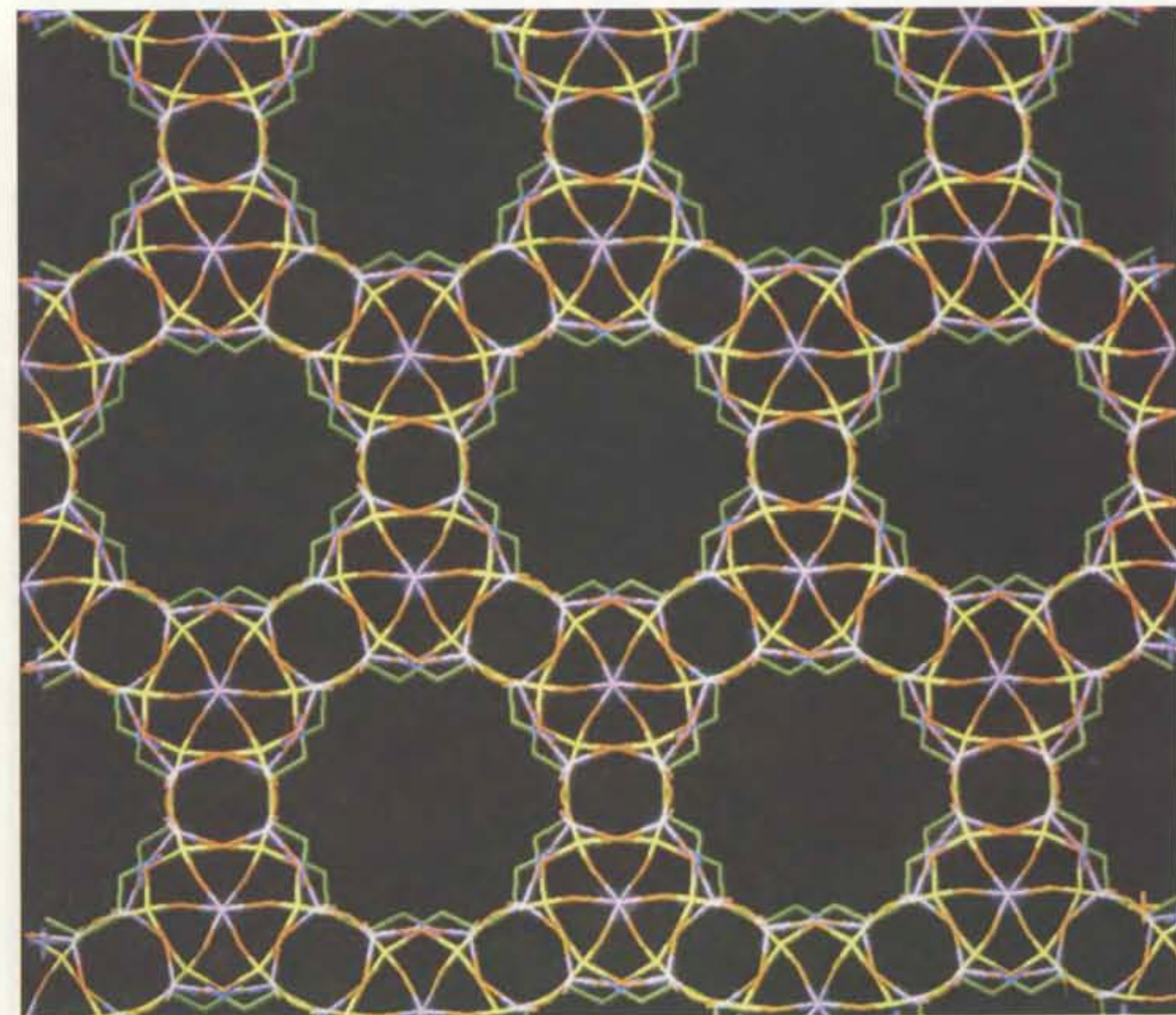
Среди первых твердых кислотных катализаторов, применявшихся в промышленном производстве, были алюмосиликатные гели. Эти агенты катализируют крекинг углеводородов — процесс, при котором сложные, объемные молекулы, делающие нефть вязкой, превращаются в меньшие по размеру высоколетучие молекулы, подобные тем, которые входят в состав бензина. Алюмосиликатные гели не имеют определенной структуры и содержат множество пор диаметром от нескольких ангстрем до нескольких тысяч ангстрем. Поверхность каждой микропоры свободно присоединяет протоны, что обеспечивает кислотную каталитическую активность геля.

Некоторые характеристики алюмосиликатных гелей, особенно неодинаковый размер их пор и аморфная структура, снижают их каталитические возможности. Эти вещества имеют тенденцию терять свою активность в процессе крекинга углеводородов, поскольку большие углеродные молекулы, образующиеся при полимеризации некоторых исходных продуктов катализа, принимают форму пор. В результате, пока они накапливаются и засоряют поры, происходят нежелательные побочные реакции. Кроме того, поскольку гели в отличие от кристаллов не имеют регулярной структуры, их протоны распределены неравномерно и поэтому сложно проводить точный контроль катализа.

В середине 60-х годов алюмосили-

катные гели были в основном заменены более эффективными твердыми кислотными катализаторами, называемыми цеолитами, что в переводе с греческого означает «кипящие камни». Они представляют собой пористые кристаллы, пронизанные мельчайшими каналами, диаметр которых находится в интервале от 3 до 8 Å (см. статью: Дж. Керр. Синтетические цеолиты, «В мире науки», 1989, № 9). Цеолиты не имеют недостатков алюмосиликатных гелей. Поры этих необычных кристаллов настолько малы, что образование больших молекул, приводящее к углерод-содержащему остатку, в значительной степени подавляется.

В зависимости от точного атомного строения цеолитов 50% их объема могут занимать поры. По существу



ПОРИСТЫЕ СЛОИ алюмофосфатов, подобные этому, можно будет использовать в качестве твердых кислотных катализаторов, если атомы водорода удастся ввести в них так, чтобы поры в этих слоях стали «кислотными». Разны-

ми цветами показаны связи между различными атомами: алюминий (желтый), фосфор (фиолетовый), кислород (красный), углерод (зеленый) и азот (синий).

все атомы, составляющие каркас таких структур, доступны любой молекуле, достаточно малой по размеру, чтобы проникнуть во внутреннюю сеть каналов. Другими словами, большинство атомов цеолитов являются поверхностными. Если бы полную ложку кислотного цеолитного катализатора можно было бы рассыпать, образуя слой толщиной в одну молекулу, то полученная площадь была бы больше бейсбольного поля.

Кроме большой площади поверхности в порах цеолитов протоны, способные к переносу, находятся в хорошо определенном окружении с регулярной структурой. Эти протоны, или активные центры, равномерно распределены по всей внутренней структуре. Поэтому во многих твердых катализаторах других типов очень трудно определить число и природу активных центров, для цеолитов это сделать несложно. Мы знаем, что в некоторых цеолитах, например, имеется 10 млн. триллионов активных центров на один грамм «развернутой» поверхности их пор.

Понимание того, что экспериментальные методы поверхностной химии и химии твердого состояния применимы к исследованию цеолитов, привело к более глубокому проникновению в природу этих материалов. В 1980 г. вместе с моими студентами из Кембриджского университета я начал серию экспериментов в области химии твердого состояния, которые прояснили многие особенности новых цеолитных катализаторов. Например, совместно с Э. Читемом из Оксфордского университета мы использовали метод рассеяния нейтронов, или дифракцию нейтронов, для точного определения природы активного центра катализатора крекинга углеводородов нефти — лантановую форму ионообменного цеолита-Y, или LaY.

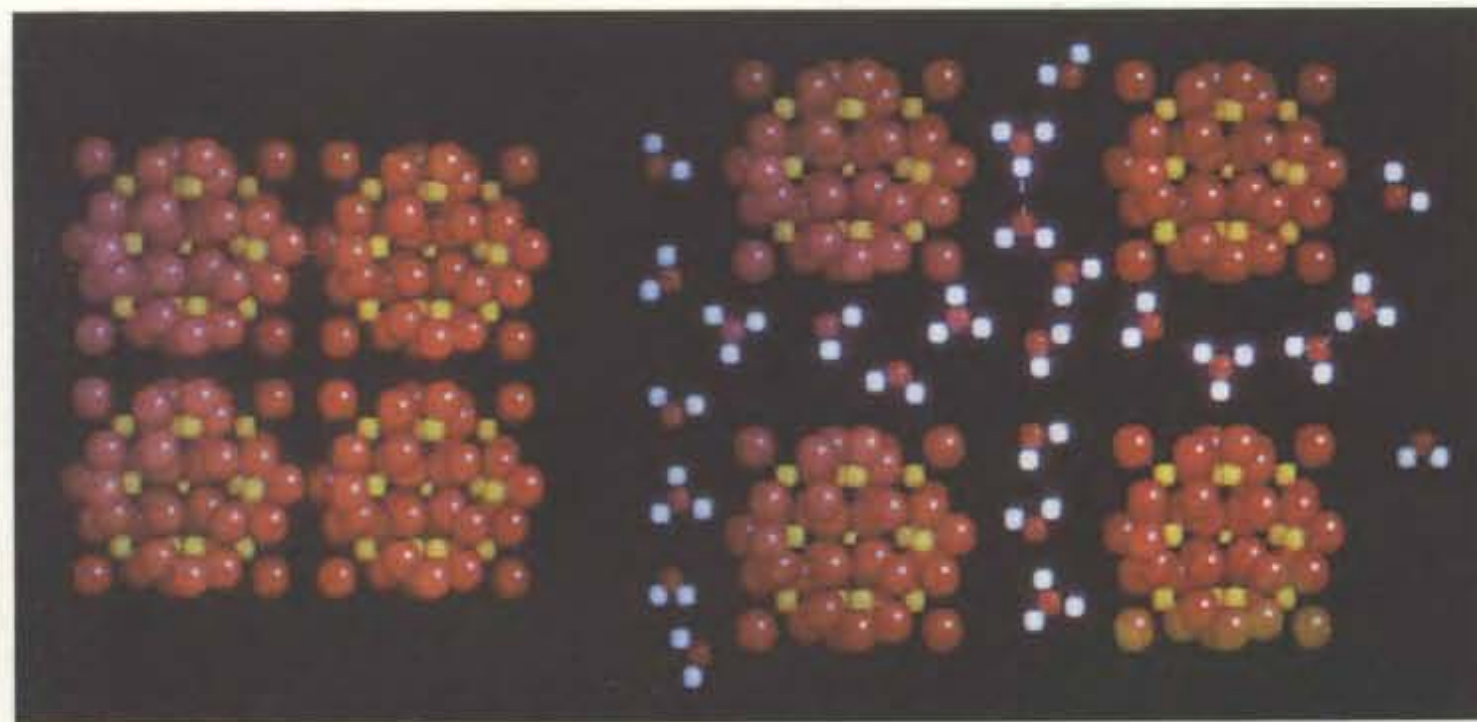
Для неорганических катализаторов, таких, как ферментные катализаторы, знание особенностей структуры активного центра позволяет разобраться в механизме их действия. Такое понимание составляет основу для практической разработки улучшенных катализаторов. Поскольку про-

тоны рассеивают нейтроны интенсивнее, чем рентгеновские лучи, более надежно их можно обнаружить при воздействии пучков нейтронов. Однако мы использовали также рентгеновскую дифракцию, ядерный магнитный резонанс (ЯМР), микроскопию высокого разрешения и многие другие методы для выявления состава и каркасной структуры этих катализаторов.

Одним из наиболее важных свойств цеолитов, которое легче обнаружить, в частности с помощью метода электронной микроскопии, является их способность вызывать селективный по форме молекул катализ. Этот принцип, к изучению которого приступили в начале 60-х годов П. Вайс и его коллеги из Mobil Research and Development Corporation, достаточно прост. Когда в микропорах данного цеолита происходят химические реакции, только те молекулы продукта выводятся наружу, которые точно совпадают по форме с формой каналов цеолита и могут по ним двигаться. Другими словами, форма полостей

Некоторые важные реакции, в которых используются твердые кислотные катализаторы

ПРОЦЕСС	РЕАКЦИЯ	ПРИМЕР катализатор	ПРОДУКТЫ
КРЕКИНГ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ Большие вязкие молекулы превращаются в ряд меньших, более летучих молекул.	$n(C_{12}H_{18})$ НЕФТЕПРОДУКТ	LaY	$n(C_2H_4) + n(C_6H_6) + n(C_4H_8)$ ЭТИЛЕН БЕНЗОЛ БУТЕН
ДИСПРОПОРЦИОНИРОВАНИЕ АРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ Две молекулы одного соединения каталитически перегруппировываются, образуя два различных соединения.	$2(C_6H_5CH_3)$ ДВЕ МОЛЕКУЛЫ	ZSM-5	$C_6H_6 + C_8H_{10}$ БЕНЗОЛ КСИЛОЛ
АЛКИЛИРОВАНИЕ Углеводородный фрагмент добавляется к органическому соединению путем использования алкена, такого, как этилен или 2-метилпропен. Этот процесс рассматривается как обратный крекингу.	$C_6H_6 + C_2H_4$ БЕНЗОЛ ЭТИЛЕН	ZSM-5	C_8H_{10} ЭТИЛБЕНЗОЛ (ПРЕДШЕСТВЕННИК СТИРОЛА)
ПРЕВРАЩЕНИЕ МЕТАНОЛА В БЕНЗИН Метанол, относительно распространенное химическое соединение, легко превращается в источник топлива.	$CH_2C(CH_3)_2 + (CH_3)_2CH$ 2-МЕТИЛПРОПЕН ИЗОБУТАН	КИСЛОТНАЯ ГЛИНА	$(CH_3)_2CCH_2CH(CH_3)_2$ ИЗООКТАН
СИНТЕЗ МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА (МТБЕ) Этот ценный бензиновый компонент, который повышает октановое число и тем самым улучшает характеристики двигателей, образуется при кислотном катализе.	$n(CH_3OH)$ МЕТАНОЛ	ZSM-5	$n(C_4H_{10}) + n(H_2O)$ БЕНЗИН ВОДА
ОБРАЗОВАНИЕ ЭТИЛАЦЕТАТА Этот важный растворитель и компонент духов и ароматизирующих веществ может быть получен из этилена и уксусной кислоты.	$CH_3OH + CH_2C(CH_3)_2$ МЕТАНОЛ 2-МЕТИЛПРОПЕН	КИСЛОТНАЯ ГЛИНА	$CH_3OC(CH_3)_2$ МТБЕ
	$C_2H_4 + CH_3COOH$ ЭТИЛЕН УКСУСНАЯ КИСЛОТА	КИСЛОТНАЯ ГЛИНА	$CH_3COOC_2H_5$ ЭТИЛАЦЕТАТ



ЧЕТЫРЕ ИОНА КЕГГИНА (слева) состоит из центрального атома — кремния или фосфора (маленькие желтые шарики), окруженного кислородом (красные шарики), молибденом или фосфором (большие желтые шарики). Такие ион-

ные структуры Кеггина поглощают полярные молекулы (красные и белые), которые слабо заряжены, и превращаются в «набухающие» квазижидкости (справа) с большой площадью поверхности и высокой кислотностью.

может контролировать форму продукта данной каталитической реакции.

Многие промышленно важные реакции катализируются твердым кислотным катализатором, называемым ZSM-5, действие которого основано на принципе избирательности по форме молекул. Хорошим примером может служить синтез *пара*-ксилола, предшественника нейлона. Когда молекулы толуола соединяются с метанолом на катализаторе ZSM-5, получается только необходимый для промышленности *пара*-ксилол с молекулами стержнеобразной формы, а не *орто*-ксилол, молекулы которого имеют форму бумеранга. Использование этого катализатора дает также этилбензол, когда этилен добавляется к бензолу, — без использования трихлорида алюминия, химически «неприятного» и вредного для окружающей среды катализатора. Этилбензол — предшественник стирола.

Д. Корбин и его коллеги из фирмы Du Pont расширили стратегию такого катализа, используя кислотный цеолитный катализатор, названный Rho. Этот катализатор, впервые синтезированный Р. Баррером из Империял-Колледжа в Лондоне, позволил осуществить производство метиламинов из метанола и аммиака. Стандартный кислотный катализатор, подобный алюмосиликатным гелям, дает три типа метиламинов с молекулами увеличивающегося объема — назовем их

a, *b* и *c* — в термодинамически предсказанной пропорции 15:23:62. Метиламины образуются в таком соотношении, поскольку поры катализатора позволяют молекулам каждого продукта двигаться свободно.

В случае цеолита Rho, однако, размер пор ограничен так, что наименее объемный метиламин (*c*, триметиламин) выводится из реакции. В результате соотношение продуктов составляет 14:86:04. Диметиламин (*b*) — важный химический компонент для синтеза резины, волокон, красителей и фармацевтических препаратов. Очевидно, что предпочтителен высокий выход именно этого продукта. Используя преимущества катализатора, можно получить требуемый продукт.

БОЛЬШАЯ площадь поверхности и наличие множества активных центров способствуют тому, что цеолиты являются очень эффективными катализаторами. Однако, в то время как цеолиты обеспечивают более или менее жесткую трехмерную сеть взаимосвязанных каналов для каталитических процессов, некоторые неорганические твердые вещества имеют двумерные «входы». Для ряда реакций эти двумерные твердые кислотные катализаторы могут быть почти так же эффективны, как и цеолиты.

Действительно, твердые кислоты с большой площадью поверхности, совершенно отличающиеся от цеолитов, можно разработать и «сделать» так, чтобы создать микроокружение

для проведения контролируемого катализа. Исследования, которые мы с коллегами начали 20 лет назад в Университетском колледже Уэльса в Аберистунте, привели к разработке ряда новых катализаторов, названных модифицированными глинами.

Моя работа по каталитическим свойствам твердых кислот началась почти случайно. Как физикохимик, я хотел исследовать динамику «сэндвичевых» соединений, которые образуются, когда молекулы внедрены (интеркалированы) в пространство между отдельными слоями глины. Глины — очень распространенные в природе, пористые, податливые материалы. Они состоят из слоев атомов, как правило, углерода, кислорода, алюминия или магния в кристаллической форме. В большинстве случаев слои имеют отрицательный заряд и удерживаются вместе положительно заряженными ионами натрия и кальция, которые находятся в интерламнарном (межплоскостном) пространстве (см. статью: А. Дж. Кернс-Смит. Первые организмы, «В мире науки», 1985, № 8).

Особенно нас интересовало объяснение явления интеркаляции; мы также хотели улучшить характеристики глин, используя новые методы на основе рентгеновских лучей, нейтронов и электронов. В сотрудничестве с Х. Пернеллом и Дж. Валлантином из Университетского колледжа в Суонси (Англия) мои студенты и я сделали два открытия, которые впоследствии



ПОРЫ ЦЕОЛИТА ZSM-5 диаметром 5,5Å на электронной микрофотографии (слева внизу) выглядят как регулярно расположенные белые пятна. Модель отдельной поры (вверху слева) показывает расположение атомов кремния (желтые)

и кислорода (красные). Если атом кремния замещен атомом алюминия (синий), то ион водорода (белый) присоединяется к атому кислорода, что сохраняет электронейтральность системы (в центре). Этот протон обеспечивает кислотность поры для каталитической активности. Когда реагент, такой, как метанол, соединяется с протоном (справа), образуется активное промежуточное соединение.



оказались чрезвычайно полезны при создании твердых кислотных катализаторов.

Во-первых, мы установили, что в межплоскостном пространстве глины ионы натрия, кальция и редкоземельных элементов легко замещаются гидратированными протонами в форме H_3O^+ . Так, мы изучили этот процесс в глине, называемой монтмориллонитом, которая состоит из алюмосиликатных слоев. Такое замещение ионов не изменяет внешний вид глины. Путем замены ионов в межплоскостном пространстве мы просто превращали соль в кислоту.

Во-вторых, мы открыли замечательную способность таких кислотных глин катализировать некоторые реакции. Например, алкены, такие, как гексен (ненасыщенный углеводород), могут взаимодействовать с водой в межплоскостном пространстве с образованием дигексильного эфира — ценного растворителя. Протоны, находящиеся в межплоскостном пространстве, успешно используются как каталитические агенты. Вскоре оказалось, что полученные нами кислотные глины могут катализировать многие промышленные реакции, причем некоторые из них в настоящее время приобрели особое значение в связи с проблемами охраны окружающей среды.

Особенно нас поразило, с какой легкостью полученная нами кислотная глина катализировала образование этилацетата, важного промышленного растворителя, а также компонента духов и ароматизирующих веществ. Более 100 тыс. т этой ароматной, бесцветной жидкости получают еже-

годно, обычно с использованием двух стадий каталитического процесса. На первой стадии для гидратации этилена в этанол в качестве катализатора используется концентрированная серная кислота. На второй — серная кислота применяется для ускорения реакции этанола с уксусной кислотой с образованием воды и этилацетата. Однако эти процессы несовершенны. В них не только используется жидкая коррозионная кислота, но и вода, выделяющаяся на второй стадии, разбавляет кислоту, снижая ее кислотность, поэтому требуются большие количества последней.

С помощью нашей кислотной глины можно получить этилацетат в одну стадию, исключая необходимость использования концентрированной жидкой серной кислоты. Твердый кислотный катализатор позволяет также избежать проблемы разбавления, поскольку вода не образуется, когда интеркалированная уксусная кислота взаимодействует с этиленом, давая этилацетат.

Однако не все глины могут быть эффективными катализаторами. Некоторые имеют примеси, делающие их неустойчивыми. Глины из отдельных районов, например монтмориллонит из Вайоминга, содержат небольшие количества переходных металлов в слоях. Несмотря на низкое относительное содержание, эти примеси вызывают побочные реакции, препятствующие основной реакции катализа.

Глины, не имеющие таких примесей, являются очень ценными катализаторами, применение которых не связано с получением соединений,

вредных для окружающей среды. Одна из присадок бензина, которые находят все большее применение, — метил-трет-бутиловый эфир (МТВЕ). Это соединение — наиболее подходящая присадка, повышающая октановое число в бензинах нового поколения, не содержащих свинца. Она также сводит к минимуму давление паров горючего, и поэтому при работе двигателя на холостом ходу в атмосферу не выбрасываются газы, обуславливающие «парниковый» эффект. Еще одно преимущество состоит в том, что она обеспечивает дополнительное поступление кислорода в горючее, что способствует его более полному сгоранию. В результате при сгорании топлива образуется меньше монооксида углерода и других загрязнителей окружающей среды.

Полученная нами монтмориллонитовая кислотная глина, не имеющая примесей переходных металлов, оказалась очень эффективным катализатором реакции образования МТВЕ из метанола и 2-метилпропена при температурах ниже 100°C. В настоящее время для этого процесса обычно используют сульфонированные смолы, которые содержат серу, что в конечном итоге приводит к загрязнению почвы в тех местах, куда выбрасывается обработанный катализатор. Однако катализаторы на основе глины не оказывают вредного действия на окружающую среду, и отработанные катализаторы можно использовать для засыпки почв.

Исследования, выполненные недавно в Японии с совершенно другим типом твердых кислот, называемых гетерополикислотами, основаны на от-

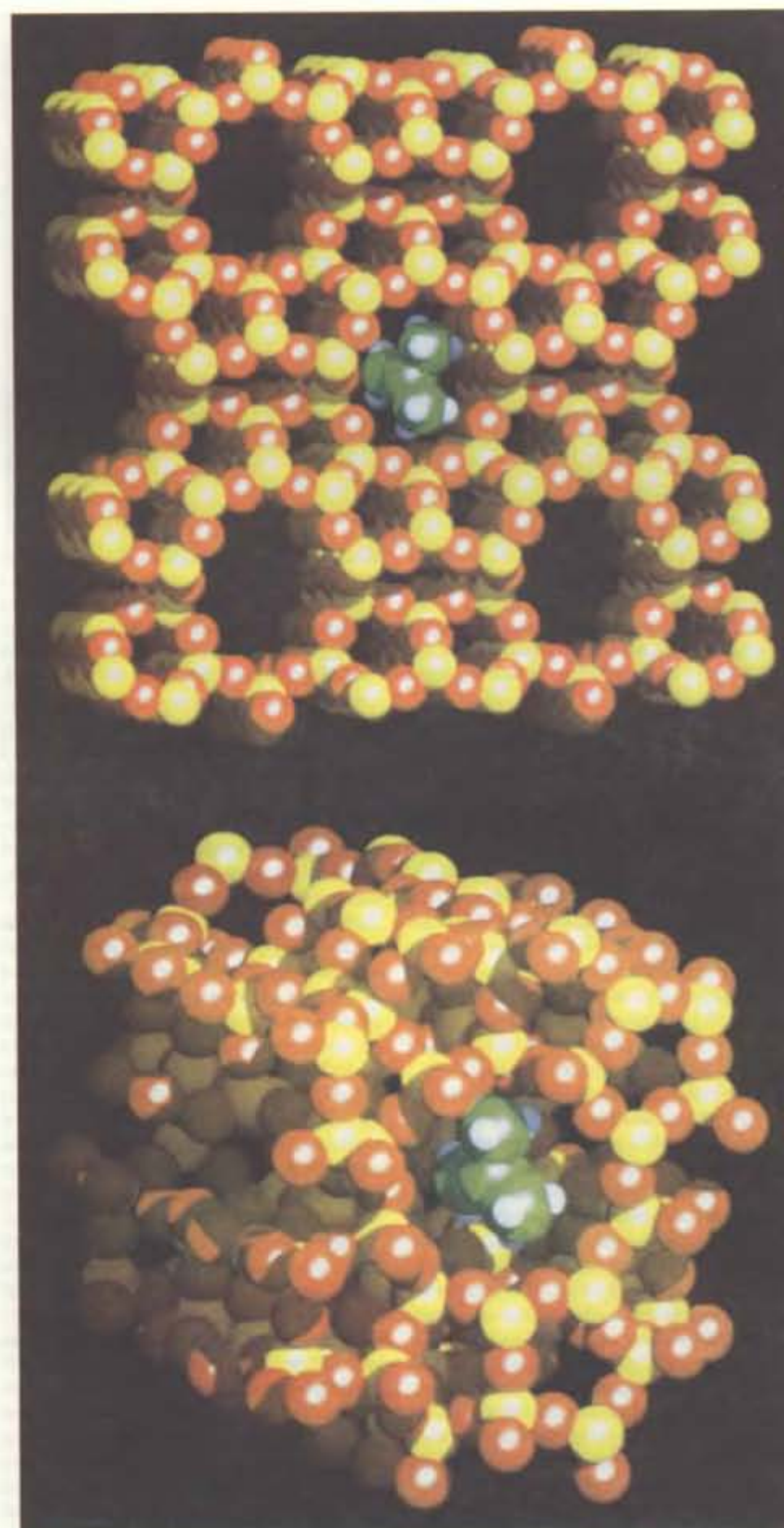
крытии, сделанном в 1835 г. шведским химиком Якобом Берцелиусом. Кроме того, что он ввел термин «катализ», Берцелиус обнаружил кислоту нового типа; через 100 лет Дж. Кетгин, специалист в области рентгеновской кристаллографии, определил структуру этого класса кислот. Он установил, что эти богатые кислородом соединения имеют центральный атом — фосфор, мышьяк, кремний или германий, а также атомы молибдена или вольфрама и высокую концентрацию способных к переносу протонов. Позднее такие гетерополикислоты стали называть ионными системами Кетгина.

КОГДА глина набухает, поглощая воду или органические молекулы, получаются гетерополикислоты. Такие соединения могут содержать большое количество воды и многих других полярных молекул — это молекулы, не имеющие общего электрического заряда, один конец которых имеет небольшой отрицательный заряд, а другой — положительный.

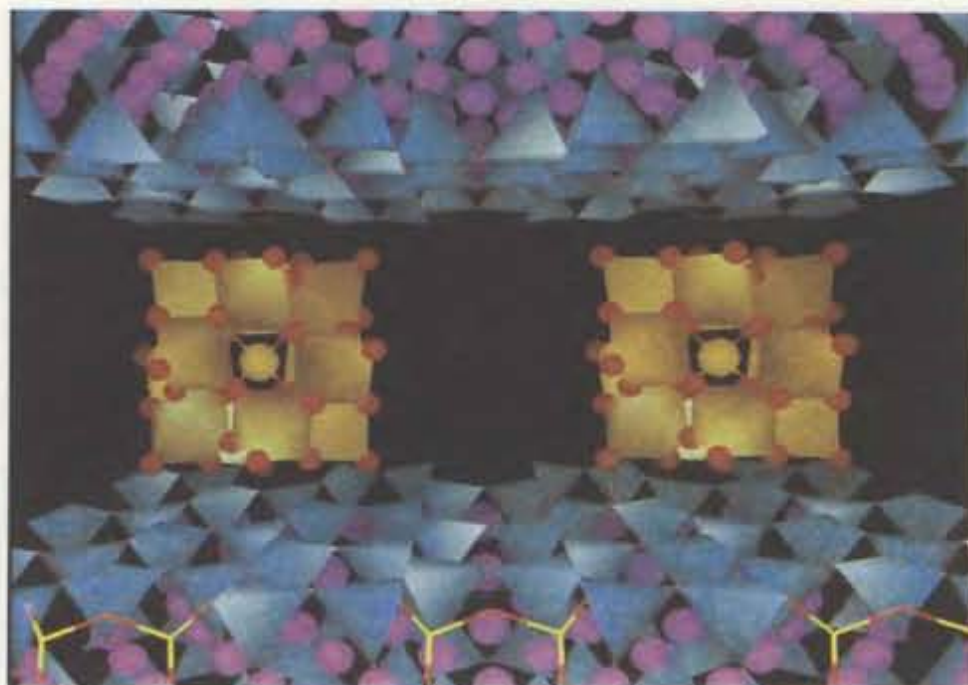
В результате образуется набухающее твердое тело — квазижидкость, в которой гидратированные протоны и захваченные молекулы обладают большой подвижностью так же, как и межплоскостном пространстве других кислотных катализаторов. В набухающих системах реагенты имеют доступ ко множеству протонов, поскольку существует большая площадь поверхности, как и в трехмерных катализаторах, подобных цеолитам. Точные молекулярные детали процесса набухания остаются загадкой.

Ёсио Ино, Макото Мисоно и их коллеги из Токийского технологического института и Токийского университета продемонстрировали каталитическую способность этих твердых ионных систем Кетгина. Например, они смогли осуществить превращение алкенов, таких, как этилен и пропилен, в спирты — этанол и изопропанол, которые широко применяются в промышленности. Обычно для этой реакции в качестве катализатора используются агрессивные жидкости, в том числе концентрированная серная кислота.

Хотя твердые ионные системы Кетгина не обладают способностью участвовать в селективном по форме молекул катализе, появилась возможность внедрения положительно заряженных, богатых алюминием аналогов ионов Кетгина в межплоскостное пространство глины. Изучение полученных «пилларированных» глины, впервые начатое Баррером, активно продолжает Д. Воган из фирмы Exxon Research and Engineering в Нью-Джерси.



ДВА ТВЕРДЫХ КИСЛОТНЫХ КАТАЛИЗАТОРА, Theta-1 (вверху) и ZSM-5 (внизу) имеют поры, размер которых соответствует диаметру молекул двух изомеров бутена: 2-метилпропена (белый и зеленый), используемого в промышленном производстве, и бутена-1 (не показан), который менее пригоден для этого. Благодаря форме пор оба катализатора способствуют изомеризации бутена-1 в 2-метилпропен. Однако в ZSM-5 образуются также нежелательные побочные продукты, поэтому ZSM-5 менее эффективен для этого процесса, чем Theta-1.



«ПИЛЛАРИРОВАННЫЕ» ГЛИНЫ, представленные здесь в виде полиэдрической модели, — это тип твердого кислотного катализатора, в котором кислотные глины сочетаются с ионами, подобными ионам Кеггина. Слои глины состоят из кремния (синий) и магния (малиновый). Ионы, подобные ионам Кеггина, состоящие из атомов кислорода (красные) и алюминия (желтые), находятся в межплоскостном пространстве.

Такая обработка глин для катализа имеет два преимущества. Во-первых, при этом межплоскостное пространство глины превращается в двухмерные поры. Во-вторых, этот процесс способствует термической устойчивости глины, предотвращая сжатие ее слоев при тепловой обработке. Однако пилларированные глины, по-видимому, не могут выдерживать жесткие условия, необходимые для каталитического крекинга углеводородов нефти. Зато они имеют большие возможности в качестве чистых и эффективных кислотных катализаторов для производства простых и сложных эфиров, потребность в промышленном использовании которых постоянно возрастает.

Несомненно, что значительные усилия были затрачены на разработку эффективных твердых кислотных катализаторов, которые могут использоваться вместо вредных жидкостей или низкокачественных твердых катализаторов, применяемых сегодня. Однако проблема производства еще более чистых видов топлива по-прежнему остается актуальной. По мере истощения запасов нефти для получения топлива будут использоваться тяжелые фракции нефти. Эти фракции содержат больше вредных веществ и поэтому должны подвергаться такому каталитическому крекингу, который обеспечивал бы снижение выхода побочных продуктов, содержащих серу и азот. Кроме того,

из автомобильных видов горючего необходимо удалять бензол. Но самая острая проблема заключается в необходимости создания таких твердых кислот, которые смогут катализировать получение изооктана путем алкилирования бутана 2-метилпропеном, — это основная реакция при производстве высокооктанового бензина.

Чтобы достичь этих целей, можно использовать несколько путей. Один из них состоит в разработке различных микропористых структур, состоящих из алюмофосфатов. Десять лет назад С. Уилсон и Э. Фланинген и их коллеги из компании Union Carbide сообщили об открытии широкого класса алюмофосфатов (ALPO) — молекулярных сит. Некоторые из них имеют каркас, подобный цеолитам, другие — совершенно новую структуру. Группа специалистов из Union Carbide и другие, в том числе М. Дейвис из Калифорнийского технологического института, Дж. Смит и его группа из Чикагского университета, а также их коллеги из Университета Брюнеля в Англии, обнаружили, что многие ионы металлов, таких, как кобальт, цинк, магний и марганец, могут замещать ионы алюминия. Такое замещение приводит к образованию разных твердых кислот.

ТОЧНАЯ кислотность этих твердых веществ зависит частично от структуры молекулярного сита и частично от природы иона металла. В

общем алюмофосфаты, в которых алюминий частично замещен магнием, проявляют тенденцию к более высокой кислотности, чем в случае замещения марганцем или кобальтом. Необходимо провести еще очень много исследований, прежде чем можно будет сказать, смогут ли эти трехмерные неорганические каркасы действовать как сильные катализаторы.

Наша работа, выполненная совместно с Р. Джонсом, Жуэи Ху и Дженом Ченом из Университета провинции Гири (Китай), привела к созданию структуры с пористыми слоями из алюмофосфатов. Эта структура имеет промежуточное строение между трехмерными цеолитами или ALPO и двумерными глинами. Хотя ей не присуща кислотность, можно обработать ее так, чтобы достичь подходящей кислотности.

Другой подход к получению твердых кислот заключается в осторожной подгонке структуры и свойств существующих цеолитов на основе методов компьютерной химии. Действительно, известные синтетические цеолиты с увеличенными отношениями содержания кремния и алюминия открывают большие возможности. Так, кислотность катализаторов крекинга может быть значительно увеличена — даже если число протонов падает — в результате увеличения отношения кремния к алюминию на 20—30%. Причины этого не ясны. Очевидно, что это — оптимальное отношение, при котором кислотность самая высокая.

Используя цеолитные катализаторы, содержащие большее количество кремния, Я. Максвелл, В. Сток и А. Хок из Shell Research Laboratory в Амстердаме достигли 250-кратного снижения содержания серы в некоторых бензопродуктах. Новые катализаторы, разработанные специалистами компании Shell, в которые введены микрочастицы никеля и вольфрама, также могут катализировать крекинг углеводородов нефти и превращение бензола и других ароматических соединений в соответствующие неканцерогенные формы. Аналогичные методы с использованием цеолита, называемого морденитом, который содержит небольшое количество платины, позволили специалистам из Shell получить высокооктановые бензины путем гидризомеризации пентан-гексановой смеси.

РАЗНЫЕ формы твердых кислотных катализаторов, описанные выше, были получены в химической лаборатории благодаря увлеченности, терпению и удаче, которая сопутствовала исследователям. Однако

в последнее время при поиске новых катализаторов все чаще используются более рациональные методы компьютерного анализа. Это одно из наиболее примечательных достижений в данной области.

Однородные гетерогенные катализаторы, в которых активные центры распределены равномерно и доступны для контакта, легче поддаются математическому анализу. Для компьютеров подходят регуляторные системы. Для таких катализаторов с регулярной структурой можно проводить молекулярно-динамические и квантовомеханические расчеты. Труднее поддаются компьютерному анализу неоднородные катализаторы, подобные силикагелю, или многофазные системы, состоящие из хорошо разделенных слоев металлов, нанесенных на подложку из алюминия, которые превращают так называемый синтез-газ (смесь монооксида углерода и водорода) в углеводороды (см. статью: И. Домбровский. Химическое топливо от Солнца, «В мире науки», 1992, № 2).

Например, вместе с моими сотрудниками я решил разработать цеолитный кислотный катализатор для производства МТВЕ, важного компонента бензина, описанного выше. МТВЕ получают из 2-метилпропена, одного из четырех изомеров бутена. Хотя один из изомеров, бутен-1, весьма доступен, поскольку его получают при крекинге нефти, 2-метилпропен менее доступен, как и два других изомера, которые нас не интересовали. Поэтому мы начали поиск катализатора для производства 2-метилпропена из бутена-1.

Для проведения компьютерного анализа К. Фриман, К. Кэтлоу и я выбрали два перспективных твердых кислотных цеолита: ZSM-5 и Theta-1, последний был открыт в British Petroleum Laboratories восемь лет назад. Мы выбрали эти катализаторы, поскольку ширина их каналов точно равна 5,5 Å — расстоянию, если можно это так назвать, примерно сравнимо с диаметром молекул двух изомеров, которые мы исследовали. Эти цеолиты отличаются структурой каналов: в ZSM-5 каналы пересекаются, образуя регулярную сеть больших полостей; в Theta-1 каналы не пересекаются и таких полостей нет.

Используя метод Монте-Карло и молекулярно-динамические расчеты, мы сравнили подвижность и энергию связи для всех четырех изомеров в этих двух микропористых твердых катализаторах. Было установлено, что 2-метилпропен намного легче, чем любой из трех других изомеров, проходит через оба катализатора. На

основе расчетов пространственной структуры мы предположили, что нежелательные побочные продукты — димеры, т. е. соединенные пары молекул изомеров, — должны образовываться в больших полостях в местах пересечения каналов. Поэтому мы предсказали, что для изомеризации бутена-1 в 2-метилпропен предпочтительнее использовать катализатор Theta-1 по сравнению с ZSM-5.

Наука и общество

Утечка мозгов — забота общая

НЕРАЗБЕРИХА, царящая в России и в других государствах, входивших в состав уже несуществующего Советского Союза, и их стремление достичь устойчивого развития через шоковую терапию в экономике, ставят под вопрос возможность сохранения того, что осталось от когда-то процветающей науки бывшей империи. Сообщения государственных деятелей, приезжающих в США с официальными визитами, эмигрантов и американских ученых, недавно побывавших в Содружестве Независимых Государств, свидетельствуют о быстротечности углубляющейся дезинтеграции.

Во многих научно-исследовательских организациях в декабре прошлого года прекратили выплату заработной платы, и у них нет твердой валюты для поддержания работоспособности импортного оборудования. «У нас нет экономической стратегии, — говорит Ж. Алферов, директор Физико-технического института им. Иоффе в Санкт-Петербурге и вице-президент Российской академии наук, финансирующей большую часть гражданских научно-исследовательских институтов в СНГ. — Мы получаем деньги от месяца к месяцу. Многие институты не в состоянии даже платить за электроэнергию и теплоснабжение».

Институт, возглавляемый Алферовым, не одиноко. По свидетельству П. Джозефсона, ученого-историка из Колледжа Сары Лоуренс, недавно вернувшегося из СНГ, где он в течение трех месяцев знакомился с состоянием науки, сотрудники Украинского физико-технического института в Харькове часами сидят без дела, потому что нет энергии для подачи на линейный ускоритель. Ученые, занятые в оборонной промышленности, испытали особенно сильный удар, когда СНГ резко сократило объем финансирования научно-исследовательских работ в этой области на 50%.

Наш прогноз оказался верным.

Проблема разработки новых катализаторов будет актуальной еще на протяжении долгого времени. Катализаторы лучшего качества позволят обеспечить в будущем сохранность окружающей среды, когда конечной целью станет использование в промышленном производстве полностью безотходных технологий.

По мере того как финансирование науки сокращается до невероятно малых размеров, проблема выплаты непогашенных долгов стала наиболее острой. По словам Г. Швейцера, директора Управления по центральной Европе и Евразии Национальной академии наук США, новая Российская академия наук унаследовала от Академии наук СССР долги зарубежным ученым за их публикации в бывшем Советском Союзе. Институт, возглавляемый Алферовым, полностью отказался от подписки на журналы, издаваемые в западных странах, и сотрудники испытывают большие трудности с поддержанием в рабочем состоянии вычислительных машин и множительной техники. Как отмечает Г. Шер, старший управляющий Русской программы в Национальном научном фонде США, биологические лаборатории испытывают недостаток необходимых для работы реактивов и исследования в этих лабораториях близки к полной остановке.

Другая проблема — это зарубежные поездки ученых. Несмотря на официальную отмену всех ограничений на выезд, как указывает Алферов, установленная Аэрофлотом цена на билет (в оба конца) в Нью-Йорк до недавнего времени составляла около 100 тыс. рублей, что примерно в 10 раз превышает годовую заработную плату почти каждого ученого. С января, правда, цены на билеты снизились в три раза, но они все же недоступны для индивидуальных пассажиров.

Новое правительство пытается помочь науке. В ноябре прошлого года президент России Б. Н. Ельцин освободил некоторые институты от налогов и дал им право создавать специальные фонды СКВ для поддержания импортного оборудования в работоспособном состоянии. Как сказал Алферов, Академия наук подготовила свои предложения по бюджету, которые предусматривают значительное увеличение заработной платы ученым. По словам М. Волошина, заме-



УЧЕНЫХ, работающих на сверхсекретных военных объектах СНГ, таком, как в Челябинске, пытаются переманить американские компании. Фото В. Веленгурина (Совфото).

стителя директора Института теоретической физики при Университете шт. Миннесота, в настоящее время физик на должности старшего научного сотрудника в СНГ получает до 1500 руб. в месяц — меньше, чем водитель автобуса. Но и заработную плату водителя автобуса тоже нельзя считать высокой, если учесть, что только в январе цены в Москве увеличились в 3,5 раза.

Многие ученые в СНГ, у которых есть хорошие связи с зарубежными коллегами, решили пережить трудное время за границей. Как указывает Шер, ему сказали, что семь из девяти старших научных сотрудников в одной из лабораторий Института молекулярной генетики в Москве недавно уехали и сейчас работают за рубежом.

Отъезды ученых в таких масштабах вызывают тревогу за утечку мозгов, которая может привести к тому, что в СНГ будет ощущаться недостаток в талантливых ученых, которые так необходимы для создания конкурентоспособной экономики. Большинство из тех, кто работает за границей, как говорит Алферов, собираются вернуться, как только наступят лучшие времена. Но и Алферов, и Джозефсон считают, что экономические трудности могут побудить многих деморализованных обстоятельствами молодых ученых оставить науку и найти более высокооплачиваемую работу. Существует, однако, немало обстоя-

тельств, препятствующих оказанию помощи науке со стороны частных лиц и организаций, отмечает Швейцер. До 40% всего объема вложений иностранных фондов, хранящихся на банковских счетах в СНГ, автоматически переводятся в рубли по невыгодному курсу. Некоторые организации тем не менее пытаются оказать безвозмездную помощь. Так, фонд Макарура намерен оплатить подписку на два года на переставшие поступать в СНГ научные журналы, издаваемые американскими научными организациями. По оценкам Американского химического общества в 1991 г. СНГ отказалось от подписки на его издания на сумму 177 тыс. долл.

Корпорация Carnegie в Нью-Йорке в течение последних нескольких лет ежегодно тратила сотни тысяч долларов на то, чтобы установить систему связи по электронной почте с СНГ. Эта корпорация также выделяет дополнительные средства американским ученым на оплату их сотрудничества с учеными СНГ. А Американский институт физики берет на себя частичную оплату подписки издательствам журналов в СНГ, которые этот институт переводит и распространяет на западе.

Проявляя предпринимательские способности, Волошин и Алферов изыскивают потенциально богатый источник финансирования, примерно такой же, каким обладает правительство США для оплаты расходов на

фундаментальные исследования. Учитывая, что оплата труда в СНГ по меньшей мере в 10 раз ниже, чем в США, американские доллары, затраченные на научно-исследовательские работы в СНГ, по их мнению, дали бы гораздо больший эффект, чем при использовании их с той же целью в США. Кроме того, утверждает Алферов, США могли бы использовать высокий научный потенциал, накопленный в СНГ в таких областях, как физика плазмы, физика высоких энергий, спектроскопия и электроника. Национальный научный фонд США, как сообщил Шер, финансирует около 40 программ совместных фундаментальных исследований, проводимых с участием ученых СНГ, а Национальные институты здоровья уже выделили более полумиллиона долларов на выплату стипендий ученым, участвующим в совместных с СНГ научных программах. Однако США не финансирует непосредственно иностранных ученых.

Тем не менее русские ученые и ученые других государств СНГ могут воспользоваться американской и европейской щедростью иными способами. Конгрессмен из Калифорнии Дж. Браун, председатель Комитета по науке, космическим исследованиям и технологиям, предложил основать американо-российский дарственный фонд в размере 200 млн. долл. для финансовой поддержки совместных исследований. Президент Франции Франсуа Миттеран предложил создать международный фонд для оказания финансовой помощи науке в СНГ.

Частный сектор также проявил заинтересованность. Несколько оборонных компаний США уже пытаются завязать связи с бывшими советскими институтами оборонной промышленности. Среди желающих сорвать «первый плод» — калифорнийская компания TRW в Редондо-Бич. Л. Франклин, вице-президент компании по вопросам космических и оборонных исследований, сказал, что во время недавнего визита в бывший СССР у него сложилось впечатление, что «они могут все раскритиковать». Теперь, как заявил Франклин, TRW заключила временное соглашение с бывшими советскими организациями, занимающимися военными и космическими исследованиями, о создании совместного предприятия по мирному исследованию космического пространства и надеется получить одобрение со стороны Пентагона.

Такое предприятие, видимо, отвечает интересам правительственной администрации, озабоченной тем, что такие политические деятели, как Саллам Хуссейн и Муаммар Кадда-

фи, сумеют найти работу «свободным рукам» ученых СНГ. Госсекретарь Джеймс Бейкер предложил создать некий «очистительный дом», где бы смогли найти себе применение ныне безработные ученые из военных отраслей бывшего Советского Союза для решения проблем, связанных с уничтожением оружия. А официальные представители Пентагона рас-

сматривают вопрос о покупке советских космических технологий, таких, например, как ядерные реакторы космического базирования, а также обычные и «экзотические» двигательные системы.

Волошин не отрицает, что опасность, вызванная безработицей ученых оборонных отраслей, — вполне реальная, и считает, что США в реше-

нии этой проблемы должны играть более заметную роль. «Несмотря на краткосрочные выгоды, которые США могут извлечь от утечки мозгов из бывшего СССР, — говорит Волошин, — в далекой перспективе они проигрывают, если допустят развал науки в этой стране».

Тим Бердсли

Перепись душителей

Фиговый листочек скрывал тайные прелести Евы. Но у растений, родственных фиговому дереву, есть и свои секреты. Дж. Томсон из Университета шт. Нью-Йорк в Стоуни-Брук с группой экологов обнаружили, что широко распространенное в американских тропиках полупаразитическое древесное растение *Clusia rosea*, называемое фикусом-душителем, нередко представляет собой колонию индивидуальных экземпляров, слившихся и образующих как бы одно растение.

Их открытие, о котором сообщается в журнале «Science», демонстрирует сложность количественной оценки биологического разнообразия, не говоря уже о его сохранении. Специалисты по охране природы выражают тревогу по поводу выживания *Clusia*, поскольку жизненный цикл этого растения весьма уязвим, а его плоды служат основным продуктом питания тропических млекопитающих и птиц.

Clusia rosea вырастает из семян, содержащихся в помете животных, скапливающемся в развилинах деревьев. Разрастающиеся корни, сливаясь, образуют вокруг ствола дерева-хозяина деревянистое решетчатое сплетение. В конце концов «душитель» заглушает поступление питательных веществ в ткани охваченного дерева, откуда и происходит зловещее название.

Томсон задался вопросом, принадлежит ли зрелое удушительное сплетение одному экземпляру *Clusia* или в нем сливаются несколько индивидуальных растений. «Это, несомненно, один из тех вопросов, над которыми до хрипоты спорят биологи-тропиковеды за кружкой пива», — говорит он. Но, похоже, никто идею слияния не проверял.

Томсон и его сотрудники отправились в Панаму, чтобы проверить, есть ли генетические различия между ветвями *Clusia* на одном дереве-хозяине. Из 14 изученных сплетений только одно оказалось индивидуальным, а большинство были образованы двумя-тремя слившимися растениями; нашлись даже один «душитель» из восьми экземпляров. «Было такое чувство, что если хорошенько поискать, то может открыться новый феномен, — вспоминает Томсон. — Удивляло то, что это явление, по-видимому, основное в характере роста *Clusia*».

Томсон отдал себе отчет в том, что мозаичная природа «душителей» имеет значение для мер по сохранению вида. У *Clusia rosea* в одном и том же экземпляре чередуются мужская и женская фазы, причем размножение происходит с помощью крохотных симбиотических ос. Самцы этих ос все время живут внутри женской структуры, называемой циконием (образующей мясистый плод с завязями во внутренней полости цветоложа), в которой развиваются цветки и плоды. Самки покидают это убежище, чтобы отложить яички в другом циконии, только после того, как зацветают мужские цветки; при этом они переносят пыльцу с одного растения на другое.

Популяция *Clusia* может выжить, только если содержит одновременно экземпляры в мужской и женской фазах, удаленные друг от друга на расстояние, не большее, чем осы могут преодолеть за день-два. К сожалению, сетует Томсон, пока нет способа измерить территорию, охватываемую осами. Коллега Томсона Э. Харр из Смитсоновского института по изучению тропиков в Панаме предложил наилучший способ для оценки размеров популяции *Clusia*, достаточных для ее самоподдерживающегося существования, путем определения «отцовства» семян. Если в данном урожае плодов семена происходят от многих отцовских экземпляров, то популяция, по всей вероятности, стабильна.

Однако, как отмечает Томсон, недостаточно сосчитать оплетенные *Clusia* деревья — необходимо также рассмотреть «расписание» цветения каждого из индивидуальных экземпляров в сплетении. Если ветви, входящие от одного и того же сплетения, цветут в разное время, то для сохранения по-

пуляции нужно всего несколько деревьев, потому что они дадут такой же эффект, как гораздо большее множество экземпляров. И наоборот, если все образующие данное сплетение растения цветут одновременно (быть может, в ответ на какой-то общий химический стимул), то требуется много деревьев, чтобы обеспечить достаточное число экземпляров, находящихся в нужной стадии развития. В таком случае при сокращении лесов вид будет гораздо уязвимее.

Согласно Томсону, предварительные сообщения свидетельствуют, что в пределах одного сплетения ветви *Clusia* действительно цветут одновременно; возможные следствия этого весьма мрачны. Он и другие исследователи намерены вести дальнейшую работу с целью получить более убедительные данные.



РАСТЕНИЕ-ДУШИТЕЛЬ *Clusia rosea* оплетает своими корнями дерево-хозяина, которое в итоге может погибнуть. (Фотография: W. Hodge/P. Arnold.)

Нередко человек, лишившийся руки или ноги, продолжает живо ощущать присутствие этой конечности и может чувствовать в тех или иных частях такого фантома мучительную боль

РОНАЛД МЕЛЗАК

В 1866 г. КРУПНЕЙШИЙ американский невролог своего времени С. Уэйр Митчелл опубликовал первое сообщение о фантомных конечностях, которое в виде короткого анонимного рассказа появилось на страницах не научного журнала, а «Atlantic Monthly». Главный герой этой «Истории Джорджа Дедлоу» во время Гражданской войны в результате ампутации теряет руку. А спустя некоторое время он приходит в сознание в незнакомой больнице после ампутации еще и обеих ног.

«Внезапно я почувствовал в левой ноге сильную судорогу. Я хотел было протянуть к ноге... свою единственную руку, но, осознав, что слишком слаб для этого, позвал служителя.

— Потрите мне левую икру, пожалуйста.

— Икру? Да у вас ног-то нет. Их отрезали».

По мнению некоторых историков, Митчелл решил на публикацию в ненаучном издании потому, что хотел проверить реакцию современников на идею фантомных конечностей. Он боялся, что ему не поверят, как это можно чувствовать руки и ноги после их ампутации.

На самом деле феномен фантомных конечностей — довольно обычное явление, как и ощущение ужасных болей в отсутствующих частях тела. Однако ни причины этого явления, ни природа связанных с ним страданий до конца не изучены. Недавно мы с сотрудниками выдвинули ряд предположений, открывающих новый подход к борьбе с зачастую непереносимыми фантомными болями. Наши соображения, кроме того, заставляют усомниться в некоторых фундаментальных представлениях современной психологии и неврологии.

САМОЕ необычное в феномене фантомных конечностей — то, что человек продолжает ощущать ампутированные конечности как реально существующие. Живость этих ощущений, к тому же точно локализован-

ных в пространстве (что особенно ярко выражено в первое время после ампутации), такова, что он может, например, попытаться встать с постели на несуществующую ногу или взять чашку кофе утраченной рукой. Фактически фантомная конечность — особенно, если она болит — может казаться «вещественнее» настоящей.

Фантомная рука у человека, который сидит или стоит, обычно представляется ему висящей вдоль тела, а во время ходьбы — двигающейся строго координированно с другими конечностями; иными словами, она ведет себя так же, как нормальная рука. Аналогично и фантомная нога у сидящего человека надлежащим образом согнута; когда он ложится, она распрямляется горизонтально, а когда встает — вертикально.

Однако бывает также, что лишившийся конечности ощущает ее «застывшей» в каком-нибудь необычном положении. Так, одному мужчине казалось, что фантомная рука у него вытянута от плеча под прямым углом к телу; всякий раз, когда нужно было пройти в дверь, он, чтобы не задеть стену, поворачивался боком. Другой мужчина, которому фантомная рука представлялась согнутой за спиной, спал только на животе или на боку, так как отдыхать на спине она ему мешала.

Жуткое чувство реальности фантома часто усиливается ощущениями, напоминающими те, которые были в настоящей конечности до ее утраты. Так, может вновь возникать впечатление болезненной язвы или бурсита, которым некогда был поражен большой палец стопы, или даже тесного кольца на пальце руки. В таких случаях человек не просто «вспоминает» прежние ощущения, но переживает их со всей силой и детально действительного опыта. Чувство реальности фантома усиливается и употреблением искусственной руки или ноги; обычно ощущается, что протез «облегает» фантом, как перчатка — руку.

В реальности фантомной конечности

убеждает ее обладателя и разнообразие возникающих в ней ощущений. Обычно это чувства давления, тепла и холода, а также различные боли. Фантомная конечность может казаться влажной (например, когда человек видит, как его искусственная нога попадает в лужу) или чесаться, тем самым причиняя сильные мучения, которые иногда удается облегчить, почесав то воображаемое место, где ощущается зуд. Можно чувствовать, что фантомную конечность как бы шекочут или колют или что она потеет.

ИЗ ВСЕХ возникающих в фантомных конечностях ощущений самым страшным и мучительным, безусловно, является боль, от которой страдают 70% людей, перенесших ампутацию. По описаниям пациентов эта боль часто бывает жгучей, судорожной или стреляющей и варьирует от эпизодической и слабой до непрерывной и сильной. Обычно она начинается вскоре после ампутации, но иногда появляется только через несколько недель, месяцев или лет. В числе обычных жалоб — ощущение того, что кисть сжата в кулак и большой палец зажат сверху остальными пальцами, которые впиваются ногтями в ладонь, так что всей руке тяжело и больно. В ноге могут возникать судороги в икре. Часто кажется, будто пальцы ноги прижигают раскаленной докрасна кочергой.

Наконец, поразительная особенность фантомных конечностей, еще сильнее убеждающая человека в реальности их существования, состоит в том, что он воспринимает фантом как часть самого себя, как неотъемлемую принадлежность своего тела. Так, фантомная ступня кажется не только настоящей, но и, безусловно, собственной. Даже если человеку представляется, что она «болтается» в воздухе на некотором расстоянии от культи, не соединяясь с остальной ногой, он воспринимает ее как часть своего тела, движения которой скоординированы с движениями других ко-

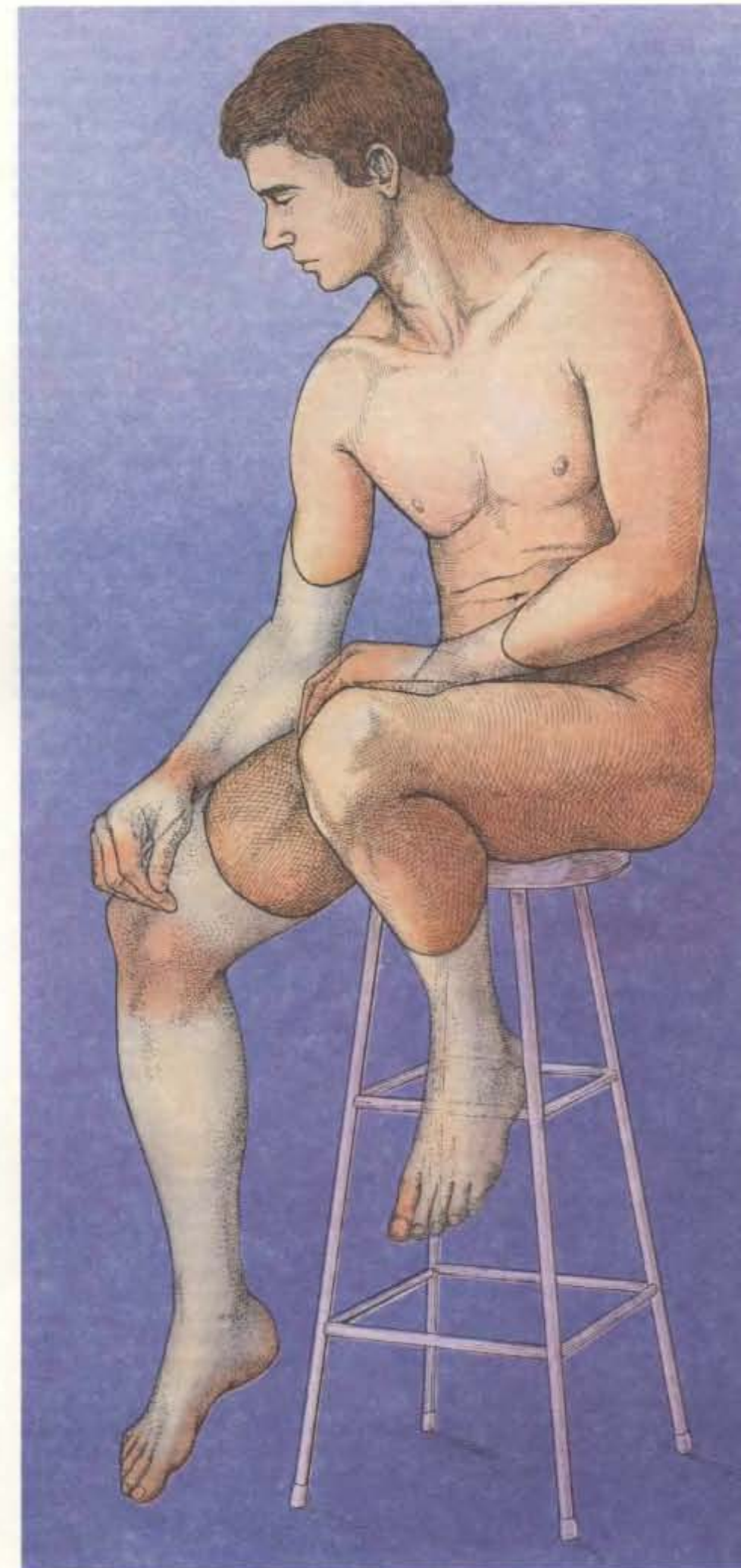
нечностей и туловища.

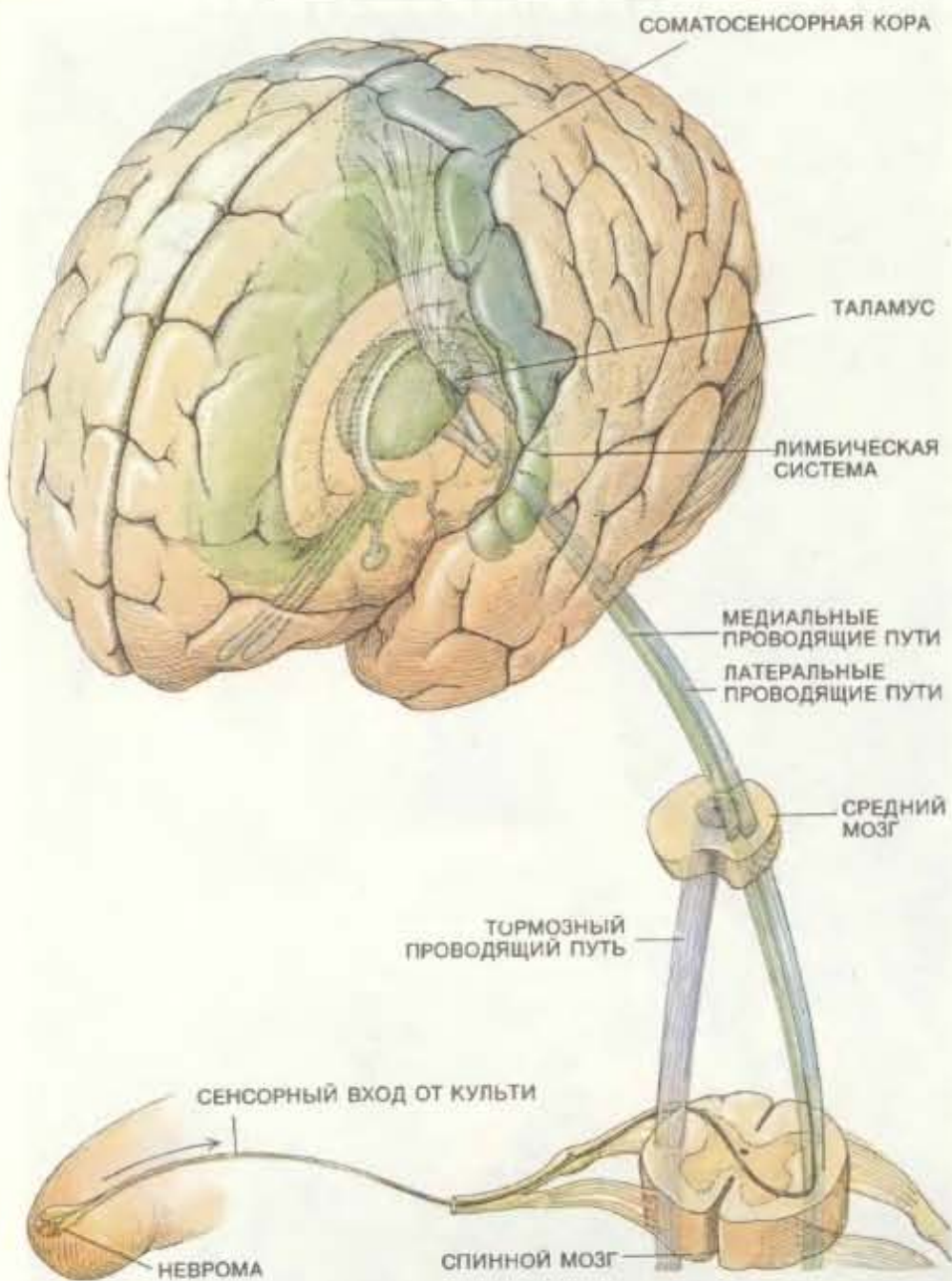
Феномен фантомной конечности возможен не только после хирургической ампутации. Иногда при дорожных происшествиях (когда, например, мотоциклиста выбрасывает из седла и тот ударяется о мостовую) случается передний вывих плеча, при котором все нервы руки вырываются из спинного мозга (так называемая авульсия плечевого сплетения). На месте бесполезной отныне руки возникает скоординированный, как правило, с нею фантом. Но если глаза у пострадавшего закрыты, а кто-то другой двигает его настоящую руку, фантом своего положения не изменяет. Рука из плоти и крови на раздражения реагировать не способна, зато ее фантомный дубликат обычно отличается чрезвычайной болезненностью. К несчастью, ампутация настоящей руки не избавляет ни от самого фантома, ни от фантомной боли.

Фантомные ноги и другие части тела, включая наружные половые органы, часто возникают и при параплегии, которая наступает из-за полного разрыва спинного мозга; в этом состоянии человек не ощущает своего тела ниже разрыва и не может управлять им. Фантом нередко «отъединяется» от тела сразу же после несчастного случая. Так, человеку, попавшему в автомобильную катастрофу, может казаться, что ноги у него подтянуты к груди или закинута за голову, даже если он видит их распростертыми на дороге. Впоследствии движения фантомных конечностей все так же координируются с движениями прочих частей тела, по крайней мере тогда, когда глаза потерпевшего открыты. Правда, некоторые страдающие параплегией жалуются на то, что, хотя их настоящие ноги неподвижно лежат на постели, фантомы совершают непрерывные циклические движения, вызывающие болезненное утомление. Сообщают о фантомах и пациенты с анестезированным спинным мозгом, например при его блокаде во время родов.

СОГЛАСНО самой старой теории, фантомные конечности и связанные с ними боли возникают в результате того, что на конце культи сохра-

ТИПИЧНЫЕ ПРИМЕРЫ фантомных конечностей объединены на этом рисунке, сделанном со слов нескольких пациентов. Отдельные части фантома могут ощущаться особенно живо (окрашенные участки на белых областях). Человек воспринимает фантомную конечность как нечто совершенно реальное; ему кажется, что она принимает разные положения и болит.





ПРОВОДЯЩИЕ ПУТИ, по которым идут нервные сигналы от тела к головному мозгу. После потери конечности спонтанная активность нервных клеток в денервированных областях спинного и головного мозга увеличивается и принимает аномальный вспышкообразный характер.

жившие в ней нервы, которые разрастаются в узелковые утолщения, называемые невромами, продолжают генерировать импульсы. Эти импульсы через спинной мозг и различные ядра таламуса, являющегося центральной релейной станцией головного мозга, достигают соматосенсорной области коры. В классических моделях нервной системы соматосенсорные корковые области считаются центрами ощущений.

Такие представления легли в основу попыток облегчать фантомные боли, блокируя передачу нервных импульсов на всех уровнях системы соматосенсорных проекций. Так, перерезались нервы, идущие от культы, — обычно непосредственно выше невро-

мы или же у корешков (небольших пучков нервных волокон в тех местах, где чувствительные нервы разделяются на более тонкие ветви непосредственно перед вступлением в спинной мозг). Перерезались и проводящие пути в самом спинном мозге, а области таламуса и коры, получающие сенсорную информацию от данной конечности, удалялись.

Этот подход может дать облегчение на несколько месяцев или даже лет, но обычно боль возвращается. И ни одна из подобных процедур не избавляет от самой фантомной конечности. А следовательно, ни феномен фантомных конечностей, ни связанные с ним страдания одной только импульсной активностью невро-

объяснить нельзя.

Другая гипотеза, близкая к первой, усматривает источник фантомной конечности не в невrome, а в спинном мозге, предполагая, что фантомы возникают вследствие чрезмерной спонтанной импульсной активности спинномозговых нейронов, утративших нормальный сенсорный вход от тела. Выходные же сигналы этих клеток передаются в кору, как если бы они продолжали получать внешние раздражения. Эта гипотеза отчасти обязана своим возникновением проведенному в 1960-х годах исследованию, в котором показано, что после перерезки чувствительных нервов имеет место сильная спонтанная импульсная активность нейронов спинного мозга, часто принимающая аномальный характер вспышек.

Однако ряд наблюдений свидетельствует, что и этого объяснения феномена фантомов недостаточно. При параплегии после полного разрыва спинного мозга в верхних его отделах больные иногда испытывают сильные боли в ногах и паху. Но нейроны спинного мозга, передающие импульсы от этих областей в головной мозг, располагаются гораздо ниже уровня разрыва, и стало быть, возникающие в них импульсы через разрыв проходить не должны.

Некоторые проведенные недавно работы позволили предположить, что возникновение фантомных конечностей может быть связано даже с еще более высоким уровнем центральной нервной системы — с самим головным мозгом. Согласно одной из гипотез, фантомы возникают в головном мозге в результате изменения потока сигналов в системе соматосенсорных проекций.

Так, Ф. Ленц, работавший в Университете г. Торонто, наблюдал аномально высокий уровень и вспышкообразный характер активности нейронов таламуса в случае параплегии после разрыва спинного мозга прямо под шеей, когда тем не менее ощущались боли в нижней половине тела. Оказалось, что сверхактивные клетки также реагировали на прикосновения к голове и шее, хотя они располагались в тех отделах таламуса, которые обычно реагируют на раздражение тела только ниже уровня разрыва. Этот факт навел на мысль, что в таламус, по проекционным путям от чувствительных нейронов головы и шеи через уже имевшиеся, но прежде бездействовавшие синапсы стали поступать нервные сигналы, освободившиеся от какого-то тормозного влияния.

Подобные изменения в соматосенсорном таламусе или коре могли бы

объяснить, почему в конечностях, которых уже нет или которые больше неспособны передавать сигналы в головной мозг, возникают те или иные ощущения. Но одними только изменениями нервных процессов в таламусе или коре фантомы и фантомные боли все-таки не объясняются, иначе оба феномена ликвидировались бы удалением затронутых отделов соматосенсорной коры или таламуса.

ОЧЕВИДНО, причина возникновения фантомных конечностей гораздо сложнее, чем предполагают все рассмотренные выше гипотезы. Но никаких других идей не было. Сосредоточив свои научные интересы на мозговых механизмах боли, я долгие годы попутно размышлял над причинами фантомов и связанных с ними болей, изучал страдающих от них пациентов.

Мои собственные работы и работы других исследователей привели меня к заключению, что фантомные конечности возникают по преимуществу в головном мозге, о чем говорят и данные Ленца. Но участие головного мозга в развитии этого феномена далеко не ограничивается соматосенсорной системой.

Любое объяснение этого загадочного феномена должно учитывать огромное разнообразие фантомных ощущений, реальность фантомов для их обладателя и его восприятие даже «свободно плавающих» фантомных конечностей как неотъемлемой части своего тела. Такая модель и была предложена мною. Приняли ее хорошо, но для того, чтобы оценить гипотезу по достоинству, нужна, конечно, более обстоятельная проверка. Как бы то ни было, а пока она уже подсказала новые идеи в поиске путей борьбы с фантомной болью.

Суть моего предположения состоит в том, что в головном мозге имеется некий нейроматрикс (нейронная сеть), который не только реагирует на сенсорную стимуляцию, но и непрерывно генерирует характерную совокупность импульсов, «удостоверяющую» целостность тела и его принадлежность данному индивиду. Я называю эту совокупность сигналов «нейроподписью». Если такой матрикс действует в отсутствие сенсорного входа с периферии тела, он создает впечатление присутствия конечности даже тогда, когда ее нет.

Чтобы обеспечить все описанные выше свойства фантомов, нейроматрикс должен представлять собой достаточно пространственное образование, охватывающее по крайней мере три главные нейронные системы головного мозга. Одна из них — это, безус-

ловно, классический чувствительный нервный путь, проходящий через таламус к соматосенсорной коре.

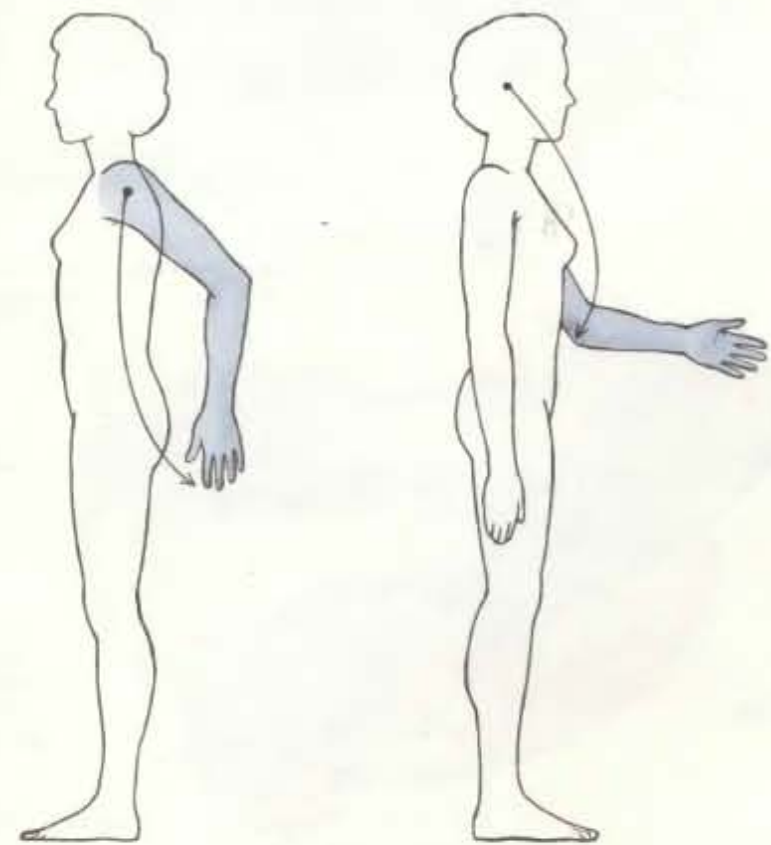
Вторая система должна содержать нервные пути, идущие через ретикулярную формацию мозгового ствола к лимбической системе, которая, как известно, играет центральную роль в возникновении эмоций и мотивации. Я включаю эти пути в свою модель фантомов отчасти потому, что мною и другими исследователями было замечено, что при параплегии с полным разрывом спинного мозга в его верхних отделах люди продолжают чувствовать себя в прежнем, как бы не поврежденном теле и описывают ощущения, возникающие в денервированных областях тем же самым эмоциональным языком, что и до травмы («больно», «приятно», «утомительно» и т. п.).

Третью систему составляют корковые области, важные для процессов самоузнавания и оценки сенсорных сигналов. Главную часть этой системы образует кора теменной доли мозга, которая, как было установлено при изучении больных с повреждением мозга, необходима для возникновения у человека чувства собственно-

го «Я». Действительно, больные с поврежденной теменной долей одного мозгового полушария нередко сбрасывают свою ногу с больничной койки, будучи уверенными в том, что нога эта принадлежит кому-то другому. Такое поведение свидетельствует о том, что у здорового человека теменная доля генерирует сигнал, сообщающий ему: «Это — мое тело; это — часть моего собственного «Я»».

Я полагаю, что сенсорные сигналы с периферии или из других участков тела достигают головного мозга, проходя параллельно через все три системы. По мере того как сигналы анализируются, информация о них распределяется между этими системами и преобразуется в интегрированные выходные сигналы, посылаемые в другие участки мозга. В некоей мозговой структуре этот выход трансформируется в осознанное восприятие; правда, до сих пор в точности не известно, где именно происходит трансформация нервных сигналов в сознание.

СКОЛЬ БЫ динамичной ни казалась описанная выше картина, в действительности нервные процессы



ОЩУЩЕНИЯ в болезненной фантомной руке возникали у женщины при раздражении электрическим током различных участков тела (точки). Раздражение культы (слева) вызвало ощущение ударов электрическим током то одного, то другого пальца. Раздражение правого уха (справа) вызывало чувство тепла в области фантомного локтя и пульсации, спускавшейся к фантомному запястью и большому пальцу. (По наблюдениям Дж. Катца, в настоящее время работающего в Торонтском университете, и автора статьи.)

могут быть еще динамичнее. Далее, я предполагаю, что когда нейроматрикс анализирует сенсорную информацию, он снабжает выходной сигнал своей характерной «нейроподписью». Таким образом, выходной сигнал как несет информацию о сенсорном входе, так и удостоверяет то, что ощущение возникло в собственном теле данного индивида. «Нейроподпись» можно уподобить главной теме оркестровой пьесы. Когда разные инструменты исполняют свои партии (входной сигнал), общее звучание оркестра изменяется, но музыкальный материал неизменно остается в рамках, определяемых главной темой («нейроподписью»), обеспечивающей

непрерывность музыкального восприятия, даже если детали исполнения варьируют.

Специфика «нейроподписи» индивида могла бы определяться характером связей между клетками, составляющими нейроматрикс, т. е. тем, какие именно нейроны соединены друг с другом, а также числом, типами и эффективностью синаптических связей. Как, вероятно, заметит читатель, знакомый с нейрофизиологией, моя концепция нейроматрикса имеет много общего с понятием «клеточный ансамбль», давно предложенным Д. Хеббом из Университета Макгилла. Хебб полагал, что в головном мозге синаптическая связь между дву-

мя нейронами усиливается в результате одновременной их активации сенсорным входом. В конце концов образуется целый ансамбль взаимосвязанных нейронов, так что сигнал, приходящий в какую-нибудь одну его часть, распространяется и на остальные его элементы, даже если ансамбль охватывает очень обширные области мозга.

В отличие от Хебба, однако, я рассматриваю нейроматрикс как ансамбль, межнейронные связи в котором преимущественно детерминированы не опытом, а генами. Хотя со временем на матрикс мог бы накладываться отпечаток и опыт — ликвидируя, усиливая или ослабляя существующие синапсы или добавляя новые. Так, в результате опыта, вероятно, в матриксе содержится память о боли, скажем, от гангренозной язвы, чем и объясняется быстрое возобновление этой боли в фантомной конечности.

Мысль о генетической детерминированности связей в матриксе имеет простое обоснование: мне и моим коллегам много раз встречались люди, родившиеся без руки или ноги и тем не менее явственно чувствовавшие фантом. Так, один умный и серьезный 8-летний мальчик, у которого от рождения были парализованы обе ноги, а правая рука оканчивалась локтем, рассказывал, что, когда он помещает свой локоть в небольшое углубление для манипуляции рычагом, приводящим в движение кресло на колесах, он чувствует, как у него из локтя появляются фантомные пальцы («такие же, как у других людей»), которыми он хватается за край углубления. Подобные фантомы могут сохраняться и в зрелом возрасте: 32-летний инженер, родившийся с ногой до колена, сообщает, что явственно ощущает фантомы голени и ступни, которые, однако, раз или два в неделю на несколько часов исчезают. Их возвращение всякий раз вызывает у него удивление и восторг.

Нелишне отметить в скобках, что издавна бытующее мнение о том, что фантомы возникают, только если ампутация происходит в возрасте старше 6—7 лет, ошибочно. Мой стажер Р. Лакруа и я подтвердили появившиеся ранее сообщения о том, что фантомы могут быть и у детей, лишившихся конечности в возрасте 1—2 лет. Нам доводилось видеть детей с болезненными фантомами ног, утраченных в возрасте до 2 лет.

Таким образом, мириады оттенков тех ощущений, которые испытывают здоровые люди, обусловлены изменениями сенсорного входа. Анализ этого входа и его преобразование в сложные переживания ощущений и соб-

ственного «Я» осуществляются нейроматриksom, имеющим преимущественно «жесткий монтаж». Но даже в отсутствие внешних стимулов во многом тот же самый диапазон переживаний может возникнуть под действием других сигналов, проходящих через нейроматрикс, — например, сигналов от спонтанно разряжающихся нейронов самого матрикса или спинного мозга либо сигналов, возникающих в невромах. Где бы ни генерировался вход в матрикс, результат будет одним: быстрое распространение сигналов по матриксу и восприятие конечности как части целого «Я» даже в том случае, если настоящей конечности нет.

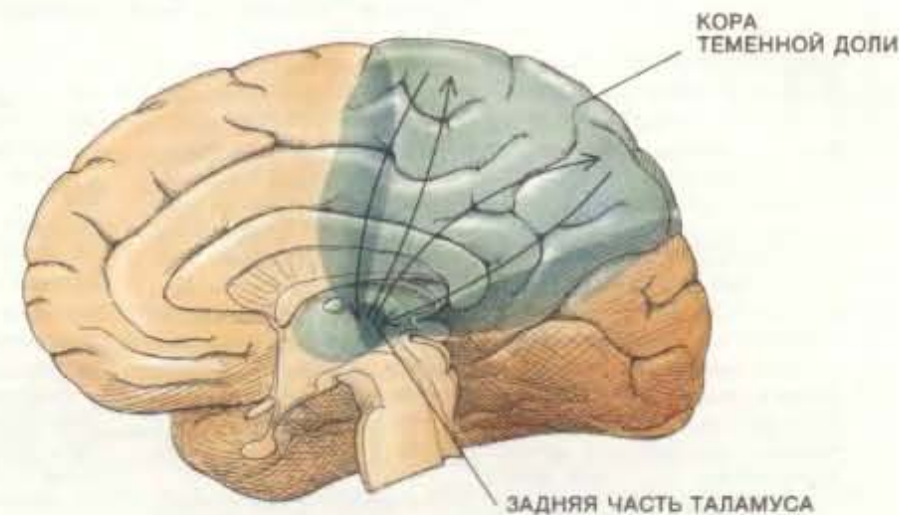
Отмечающееся иногда исчезновение фантомных конечностей и более со временем объясняется, по-видимому, тем, что нейроны головного мозга, некогда реагировавшие на в дальнейшем утраченные или парализованные конечности, образуют все более прочные связи с частями тела, сохранившими чувствительность, которые они и начинают затем обслуживать. При этом, вероятно, изменяется и «нейроподпись», что вызывает модификацию фантома и фантомной боли. Но навсегда фантомы, как правило, не исчезают. Так, иногда они возобновляются спустя десятилетия после своего кажущегося исчезновения, а это говорит о том, что многие свои характеристики нейроматрикс стойко сохраняет даже после модификации.

МОИ УЧЕНИКИ А. Ваккаринно, Дж. Маккенна, Т. Кодерр и я уже получили некоторые прямые свидетельства в пользу моего предположения, что головной мозг — и косвенно нейроматрикс — способен генерировать ощущения самостоятельно. Основой наших исследований был так называемый формалиновый болевой тест.

Крысе под кожу лапы вводили формалин (раствор формальдегида в воде), который вызывает в первые 5 мин после инъекции быстро усиливающуюся, а затем ослабевающую боль. (Степень и продолжительность неприятных ощущений у животного определяются по таким поведенческим реакциям, как, например, лизание лапы.) Вслед за этой «ранней» болевой реакцией развивается «поздняя», начинающаяся приблизительно через 15 мин после инъекции и длящаяся около часа.

С помощью этого теста мы обнаружили, что анестезирующая блокада лапы полностью избавляет животное от поздней боли только в том случае, если анестетик вводится заблаговре-

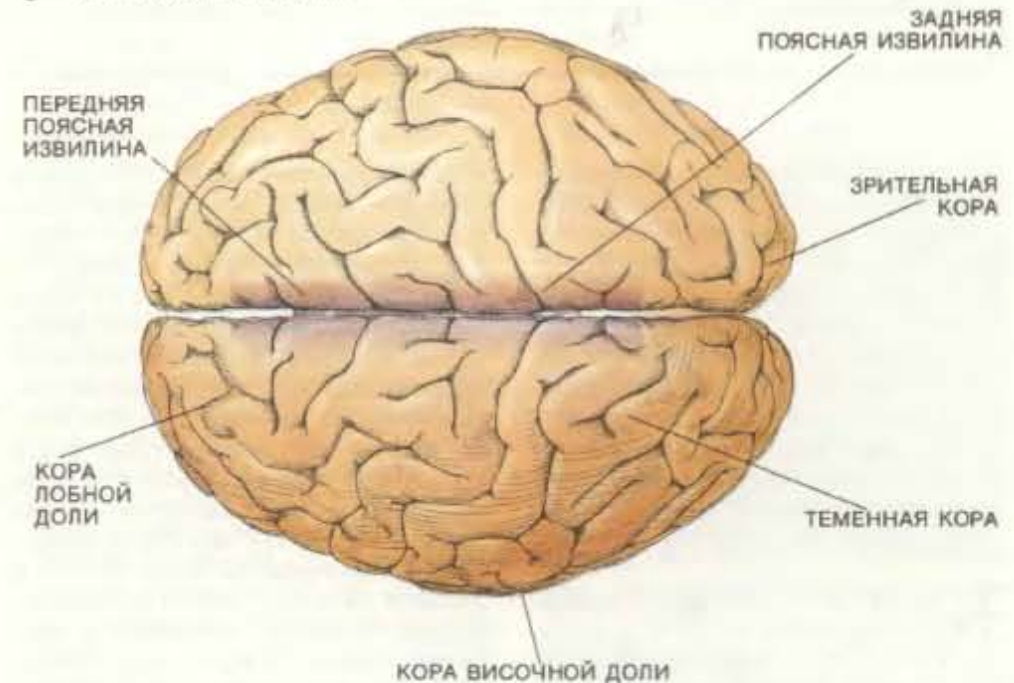
а СОМАТОСЕНСОРНАЯ СИСТЕМА



б ЛИМБИЧЕСКАЯ СИСТЕМА



в КОГНИТИВНАЯ СИСТЕМА



ФАНТОМНЫЕ КОНЕЧНОСТИ, по мнению автора статьи, возникают в результате активности трех нейронных систем головного мозга. Одна из них (а) — это чувствительные соматосенсорные зоны и соседняя с ними теменная кора, перерабатывающие информацию о теле. Другая (б) — лимбическая система, ответственная за эмоции и мотивацию. Третья (в) включает обширные корковые нейронные сети, связанные с такими формами когнитивной деятельности, как память о прошлом опыте и соотнесение сенсорного входа с характеристиками собственного «Я».



ЗДОРОВАЯ РУКА, потерявшая чувствительность под воздействием надутых манжетки для измерения кровяного давления, в некотором отношении похожа на фантом. Испытуемый видеть руку не мог, так как стол был покрыт черной материей. Показано, в каких положениях испытуемый ощущал свою кисть до надувания манжетки и через разные интервалы времени после этого, когда ему казалось, что рука приближается к туловищу. (Исследование проведено совместно с И. Гроссом, сейчас работающим в Университете Бар-Илан в Израиле.)

Зрительные и слуховые фантомы

Причиной зрительных и слуховых фантомов, как и фантомов конечностей, также является активность головного мозга в отсутствие сенсорного входа. Люди, чье зрение ухудшилось вследствие катаракты или утраты какой-либо части системы переработки зрительной информации в головном мозге, иногда рассказывают о поразительно подробных зрительных ощущениях. Впервые этот синдром описал в 1769 г. швейцарский естествоиспытатель и философ Шарль Бонне в статье о замечательных зрительных ощущениях своего деда Шарля Люллена, который из-за катаракты лишился большей части зрения, но в остальном сохранил хорошую физическую и психическую форму. С тех пор о ярких фантомных зрительных впечатлениях сообщали многие психически здоровые люди.

Зрительные фантомы нередко сосуществуют с ограниченными нормальным зрением. Человек, видящий фантомы, без труда отличает их от реальных зрительных ощущений. Зрительные фантомы возникают внезапно и неожиданно при открытых глазах. Несмотря на явную невозможность существования фантомных видений, они обычно воспринимаются как нечто реальное. Чаще всего фантомные образы — это люди и большие здания; реже видятся миниатюрные объекты, например, маленькие животные. Фантомные видения представляют не просто воспоминания о прошлом опыте; часто в них фигурируют такие события, места и персонажи, с которыми человек никогда прежде не сталкивался.

Впервые увидев зрительный фантом, можно испугаться. По словам одной обследованной нами женщины, чье зрение сильно ухудшилось вследствие дегенерации сетчатки, ей стало очень страшно, когда, выглянув как-то из окна, она на месте привычного лесистого пространства увидела высокое здание. Хотя было понятно, что это всего-навсего фантом, видение казалось настолько реальным, что можно было пересчитать ступени крыльца и разглядеть другие детали. Вскоре оно пропало, но через несколько часов появилось снова. По словам этой женщины, зритель-

ные фантомы у нее продолжают возникать и исчезать независимо от того, чем она занимается или о чем думает.

Фантомные зрительные ощущения отмечаются по большей части у пожилых людей — возможно, потому, что с возрастом зрение обычно ухудшается. Среди людей, частично или полностью лишившихся зрения, около 15% сообщают о зрительных фантомах. Не исключено, что на самом деле таких случаев больше, так как иногда человек не хочет говорить о своих фантомах, боясь, что его примут за психически ненормального.

Фантомные звуки тоже довольно распространенный феномен, только мало кто отличает их от реальных. Люди, теряющие слух, обычно слышат шумы в голове, которые описываются как свист, звон, скрип или грохот поезда. Эти кажущиеся звуки бывают настолько громкими и неприятными, что человеку требуется помощь по поводу вызываемых ими страданий.

Некоторые люди характеризуют кажущиеся звуки как «оформленные» — музыку или голоса. Одна женщина, которая до потери слуха была музыканткой, «слышала» фортепианные концерты и сонаты. Ощущения были необыкновенно реальными, и сначала она даже думала, что звуки раздаются из соседского радиоприемника. Эта женщина говорит, что сама «выключать» музыку не может и что та делается громче, когда она собирается ложиться спать. У другой женщины, потерявшей значительную часть и зрения, и слуха, возникали как зрительные, так и слуховые фантомы. Она восторженно рассказывала, как один раз «видела» цирковое представление и «слышала» сопровождавшую его музыку.

Как и фантомные конечности, фантомные видения и звуки возникают тогда, когда головной мозг лишается нормального входа от сенсорных систем. В отсутствие этого входа активность клеток в центральной нервной системе возрастает. А механизмы головного мозга преобразуют эту нейронную активность в исполненные смысла ощущения.

менно и предотвращает возникновение ранней боли. Если же ранняя боль возникла, то поздняя ослабляется лишь частично. Тот факт, что боль у животного сохраняется даже после блокады нервов, проводящих болевые сигналы, дает основание предполагать, что хроническая боль (как в фантомных конечностях) определяется не только сенсорной стимуляцией во время неприятного ощущения, но и стойкими мозговыми процессами, не требующими постоянной «подпитки».

КАКОВ ЖЕ конкретный механизм возникновения боли в фантомной конечности? Чаще всего больные жалуются на жжение. Это ощущение могло бы возникнуть в результате прекращения потока сенсорных сигналов от конечности к нейроматриксу. Лишившись нормальной сенсорной стимуляции, нейроматрикс, вероятно, должен генерировать высокоинтенсивную вспышкообразную актив-

ность, подобную той, что наблюдал в таламусе Ленц. А сигнал с такими характеристиками вполне может трансформироваться в чувство жжения.

Другие формы боли могут быть связаны с попытками нейроматрикса заставить конечности двигаться, как в норме. Когда ампутированная или парализованная конечность на этот приказ не отвечает, нейроматрикс (а его установка на то, что конечности в самом деле способны двигаться, как раз отвечает «жесткий монтаж») может начать генерировать более частые и сильные сигналы, чтобы принудить мышцы привести конечность в движение. Подобные выходные сигналы могут восприниматься больным как судороги или как стреляющая боль.

Хотя исследования с целью проверки этих представлений и разработки новых методов борьбы с болью едва начались, уже получены некоторые любопытные данные. А нужда в таких методах очень острая — и пото-

му, что фантомные боли причиняют многим людям длительные и мучительные страдания, и потому, что, к сожалению, лишь очень немногие из имеющихся сейчас средств дают стойкое облегчение в подобных случаях.

Сегодня для борьбы с фантомными болями используются различные терапевтические приемы. Одним больным помогает стимуляция культи электрическим током, вибростимуляция или иглоукальвание. Другим — релаксация и гипноз. Иногда заметное облегчение приносят лекарственные препараты, обычно применяемые против эпилепсии или депрессии, или же различные сочетания антидепрессантов и наркотиков (например, метадона). Однако примерно в половине случаев стойкой хронической фантомной боли не помогает ни один из существующих методов.

Согласно одному обнадеживающему сообщению, приблизительно у 60% больных наблюдается избира-

тельное исчезновение болей в фантомных конечностях (но не самих фантомов) после экспериментальной процедуры в зоне входа заднего корешка в спинной мозг. Эта процедура, разработанная Б. Нэшолдом из Университета Дьюка, заключается в нейрохирургическом разрушении клеток спинного мозга, получающих прямой вход от сенсорных нервов культи, т.е. избирательно уничтожаются клетки в том месте, где сенсорные (чувствительные) корешки входят в спинной мозг. (Прежние попытки «заглушить» активность соматосенсорной проекционной системы обычно сводились к перерезке чувствительных корешков или проводящих путей в спинном мозге.) Метод Нэшолда применяется еще слишком мало, так что пока непонятно, надолго ли исчезает боль.

Предложенная мною модель деятельности мозга постулирует, что возникновение фантомной боли связано с активностью нейроматрикса как единого целого, и, следовательно, эффективного облегчения болей можно добиться, по-видимому, путем изменения активности проводящих путей вне соматосенсорной системы, а также в результате сочетания этого подхода с другими терапевтическими приемами. Исследования здесь имеет смысл начать с лимбической системы. До самого последнего времени в борьбе с болью лимбическим структурам отводилась второстепенная роль, так как болевые раздражители непосредственно эти структуры не активируют. Тем не менее, если лимбическая система, как я предполагаю, влияет на генерируемый нейроматриksom выход, она должна быть способна влиять и на боль, ощущаемую в фантомных конечностях.

Ваккарини, Маккенна, Коделер и я начали изучать возможности влияния на лимбическую систему с целью облегчения фантомной боли. Мы показали, что локальные инъекции лидокаина (родственного кокаину вещества, мешающего нейронам передавать сигналы) в различные области лимбической системы приводят к заметному ослаблению экспериментально вызванных болей у крыс, в том числе модели боли в фантомной конечности. Такой подход стоило бы испытать и на человеке, но, конечно, только после обстоятельных исследований.

Феномен фантомных конечностей бросает вызов не только медицине. Он ставит под сомнение и истинность некоторых фундаментальных представлений психологии. Так, согласно одному из них, ощущения возникают только в ответ на действие раздражителей, а ощущения в отсутствие тако-

вых — психическая аномалия. Феномен же фантомных конечностей, а также зрительных и слуховых фантомов свидетельствуют о несостоятельности этого утверждения. Головной мозг не только воспринимает и анализирует поступающие в него сигналы — он способен порождать перцептуальный опыт даже без внешнего входа. Для того чтобы чувствовать собственное тело, иметь его совсем необязательно.

Согласно другому прочно укоренившемуся представлению, восприятие человеком собственного тела определяется сенсорными входными сигналами, оставляющими в головном мозге следы памяти; совокупность этих сигналов и следов представляет собой образ тела. Однако наличие фантомов у людей, лишенных конечностей от рождения или потерявших их в раннем возрасте, ука-

зывает на то, что нейронные сети, отвечающие за восприятие тела и отдельных его частей, изначально существуют в головном мозге. Отсутствии входных сигналов не мешает этим сетям генерировать нервные посылки, касающиеся отсутствующих частей тела; генерация таких посылок не прекращается на протяжении всей жизни человека.

Короче говоря, фантомные конечности остаются неразрешимой загадкой до тех пор, пока мозг рассматривается как структура, пассивно воспринимающая сенсорные сигналы от тела. Но стоит только признать, что телесные ощущения генерируются самим мозгом, как феномен этот начинает казаться далеко не столь таинственным. Сенсорные входные сигналы всего лишь модулируют эти ощущения, но непосредственно они их не вызывают.

Наука и общество

Поддержка малых предприятий

КОГДА небольшая японская промышленная фирма хочет узнать что-нибудь о новой технологии производства, она может обратиться в один из 170 региональных центров, разбросанных по всей территории островного государства. В США 350 тыс. фирм, количество сотрудников которых не превышает 500 человек, могут прибегнуть к помощи только нескольких программ, принятых правительствами штатов. Примерно 50 млн. долл., ежегодно отпускаемых в США на эту деятельность, составляют около одной десятой тех средств, которые тратят японцы.

Получение новой технологии небольшими промышленными компаниями является решающим шагом в создании сетей поставщиков, которые могут обеспечить надежную поставку гаек и болтов для производства больших автомобилей и многих других изделий. Отсутствие такой системы снабжения является одной из причин отставания США в промышленном производстве. «В основном эти компании работают по технологии 50-х и 60-х годов», — говорит Мэрилен Келли, профессор в области менеджмента и социальной политики из Университета Карнеги—Меллона.

Попытка федерального правительства расширить допуск малых компаний к передовым технологиям началась в 1989 г., когда Националь-

ный институт стандартов и технологий (НИСТ) основал свои первые три центра промышленной технологии (ЦПТ). Эти центры (в штатах Огайо, Нью-Йорк и Южная Каролина) попытались оказать поддержку техническим колледжам, а также программам штатов и частным программам промышленного развития. Позднее были основаны два центра в штатах Мичиган и Канзас; договора на организацию еще двух должны быть оформлены в апреле.

За время своей работы в течение первых 30 месяцев три центра имели дело с 6 тыс. компаний. Годовой бюджет программы деятельности ЦПТ составлял от 5 до 15 млн. долл., но компании, которым оказана помощь, сформировали новые доходные статьи или добились экономии на издержках, что, по оценке Филипа Нанзетта, руководителя программы ЦПТ для НИСТ, составило 140 млн. долл. Много времени центры уделили оказанию помощи компаниям с простыми проектами, такими, как изменение общей планировки завода или закупка персональных компьютеров для регистрации материально-производственных запасов. «Выгода от помощи малой компании намного превышает расходы на нее», — говорит Нанзетта.

На своем первом заседании по поводу программы поддержки малых предприятий комиссия конгресса из девяти членов, назначенная министром торговли для решения вопроса о

продолжении финансирования малых компаний, дала высокую оценку деятельности двух первых ЦПТ, одновременно высказав критику в адрес центра в Южной Каролине.

Самые старые из центров в настоящее время сталкиваются с финансовыми проблемами. В законе о программе помощи малым компаниям указывалось, что федеральные отчисления должны равномерно распределяться по штатам и что каждый центр промышленной технологии перейдет на самофинансирование по прошествии шести лет. Администрация Рейгана вначале выступила против программы; администрация Буша оказала ей вялую поддержку, несмотря на то что сторонники программы в конгрессе продолжали выступать за финансирование службы помощи малым компаниям в объеме, большем той суммы, которую предлагала администрация.

Сенатор от штата Южная Каролина Эрнст Холлингз, один из сторонников помощи малым фирмам, и другие законодатели предложили оказать поддержку центрам промышленной технологии в виде создания вспомогательных программ в других штатах. Однако администрация Буша возражает. «Нет веских доказательств того, что мы будем в состоянии решить эту проблему существующими методами, — говорит сотрудник отдела управления и бюджета. — Мы не можем позволить себе создавать центр в каждом округе». Возможно, пройдет длительное время, прежде чем для получения сведений о выпускаемой в данный момент продукции и результатах статистического контроля качества достаточно будет просто позвонить по местному телефону.

Гэри Стикс



Со второго взгляда

ПОДОБНО ДАМЕ, оставшейся без кавалера на балу, космические объекты, называемые галактиками низкой поверхностной яркости, «томилась от невнимания к ним». До недавнего времени все известные галактики этого класса относились к карликовым. Эти небольшие объекты со слабозакрученными рукавами считались самыми малыми объектами во Вселенной. Однако недавно астрономы приступили к их тщательному изучению, и выяснилось, что это — удивительно разнообразная и интересная группа объектов.

Интерес к галактикам низкой поверхностной яркости возобновился в 1987 г., когда группа ученых, возглавляемая Г. Ботаном из Орегонского университета, проанализировала радионизлучение карликовой галактики в созвездии Девы. Было установлено, что объект находится на расстоянии в 10 раз большем, чем ожидалось. Эта галактика, названная Malin 1, вовсе не карликовая — ее масса примерно в триллион раз больше массы Солнца, а диаметр в два раза больше нашей Галактики — Млечного Пути. «Это свидетельствует о том, насколько предвзято наше восприятие, — говорит Ботан. — Имеется гигантская галактика, а мы открыли ее совершенно случайно».

Теперь, когда астрономы знают, что искать, они обнаружили, что такие огромные, но трудно доступные для наблюдений галактики низкой поверхностной яркости могут быть широко распространены во Вселенной. Последний «улов» группы Ботана — похожая галактика, иногда называемая Malin 2. С. Шнайдер из Массачусетского университета в Амхерсте, исследовавший радионизлучение подобных объектов, сообщает, что он «видит гораздо больше объектов, чем предполагалось найти».

Исследователи, пытающиеся понять, как образовались и эволюционируют галактики, должны учитывать, что они могут не «замечать» значительную часть вещества. Самый главный вопрос: почему эти объекты по внешнему виду отличаются от «нормальных» галактик с высокой поверхностной яркостью? Ботан считает, что многие карликовые галактики низкой поверхностной яркости представляют собой угасающие объекты, в которых очень давно прекратилось звездообразование.

ГАЛАКТИКИ низкой поверхностной яркости (слева) имеют примерно такие же размеры и массу, как и «нормальные» галактики (справа), но содержат гораздо меньше звезд. Изображены получены Патрицией Кнезек.

Однако гигантские галактики низкой поверхностной яркости больше похожи на галактики, в которых некогда не образовывалось много звезд. Шнайдер отмечает, что при наблюдениях диски этих галактик выглядят голубыми, что указывает на молодой возраст их звезд и дефицит тяжелых элементов; старые звезды придавали бы дискам красный цвет. Спектральный анализ, выполненный С. Макго из Мичиганского университета, Ботаном и другими учеными, подтверждает, что гигантские галактики содержат только следовые количества химических элементов, образовавшихся в ходе звездной эволюции.

Ядра гигантских галактик низкой поверхностной яркости состоят из роя звезд, очень похожих по цвету и светимости на звезды в ядрах нормальных галактик. В этих плотных центральных областях звезды, очевидно, образуются обычным путем. Галактики Malin 2 нет ни в одном каталоге, частично потому что ее яркое ядро похоже на звезду, тогда как слабый диск обнаруживается только при тщательном исследовании. Последние наблюдения показали, что большие галактики с удалением от ядра становятся более голубыми; это, возможно, указывает на медленное распространение процесса звездообразования в направлении от ядра.

По-видимому, внешние области дисков гигантских галактик низкой поверхностной яркости развиваются иным путем, чем у нормальных галактик типа нашей. Ряд исследователей отмечает низкую поверхностную плотность этих галактик. Известно, что звезды образуются в облаках молекулярного водорода. Но плотность таких объектов, как Malin 1, может быть настолько низкой, что водород в них остается в несвязанном, атомарном состоянии. Такие диффузные во-



дородные облака в этих галактиках просто не могут распасться на фрагменты и коллапсировать в звезды. Но некоторые из недавно открытых галактик, по-видимому, имеют нормальную плотность.

Шнайдер сообщает, что гигантские галактики низкой поверхностной яркости, как правило, находятся на очень больших расстояниях от других галактик. Поэтому они не подвержены гравитационному воздействию соседних галактик. Как известно, такие взаимодействия порождают гравитационные волны, вызывающие сжатие водорода и последующий всплеск звездообразования. Отсутствием гравитационного взаимодействия можно объяснить, почему Malin 1 и другие объекты этого класса относительно «бедны» звездами.

Возможно, некоторые звезды образуются во внешних областях Malin 2, но в больших, далеко отстоящих друг от друга газопылевых комплексах, напоминающих в какой-то степени неправильные галактики, в отличие от более мелких, более равномерно распределенных звездообразующих областей в диске нашего Млечного Пути. Ботан предполагает, что огромные галактики низкой поверхностной яркости являются «большими объектами, которые никогда не дробятся на фрагменты», т. е. это комплексы размером со скопления, никогда не распадающиеся на отдельные галактики.

Очевидно, что гигантские галактики низкой поверхностной яркости находятся на иной стадии эволюции, чем лучше изученные нормальные галактики. Однако Шнайдер сомневается, называть ли эти галактики более примитивными. «Мы часто думаем, что человек более развит, чем какая-нибудь бактерия, — поясняет он, — но в действительности оба организма являются результатом эволюции, продолжающейся миллиарды лет». Точно так же «бедные» звездами внешние области гигантских галактик низкой поверхностной яркости отражают иной, а потому игнорируемый путь развития.

Хотя гигантские галактики низкой поверхностной яркости существуют в относительной изоляции от других галактик, маловероятно, что они заполняют огромные пустоты (войды), найденные на картах последних обзоров крупномасштабного распределения ярких галактик. Однако тот факт, что галактики низкой поверхностной яркости наблюдаются только в областях низкой пространственной плотности вне скоплений, указывает на то, что такие обзоры дают искаженную картину распределения галактик. Патриция Кнезек из Массачусетского

университета, которая вместе со Шнайдером картографирует эти галактики, считает, что «в этих медленно эволюционирующих объектах заключена значительная доля вещества Вселенной». Космологи, примите это к сведению!

Охотники за планктоном

ПЛАНКТОН, везде планктон, но как его увидеть? Такие жалобы несутся от океанографов. Планктонные организмы — крошечные растения и животные — образуют основу морской пищевой цепи, но об их плотности или распределении мало что известно, и в особенности, встречается ли планктон в скоплениях, служащих «пастбищами» для более крупных морских организмов, в том числе зоопланктона.

Новая система, получившая название планктонного видеорежистратора (ПВР), может позволить океанографам найти некоторые ответы. Метод и аппаратура, разработанные исследователями Вудс-Холского океанографического института, обещают в корне изменить подход к исследованиям планктона. «Люди, находящиеся на подводной лодке, и то не могут наблюдать за процессами так отчетливо, как это позволяет делать ПВР», — отмечает П. Виебе, директор отдела биологии в Вудс-Холе.

Буксируя ПВР за судном, ученые получают возможность наблюдать за изучаемым объектом в его естественной среде. Прибор, изобретенный биологами Кэбеллом Дэвисом и Скоттом Галлагером, состоит из стробоскопического источника красного света, который синхронизирован с затворами четырех видеокамер с разными коэффициентами увеличения (фокусными расстояниями). Стробирование луча производится 60 раз в секунду, что позволяет следить за быстро движущимися организмами. ПВР, по словам Дэвиса, способен регистрировать живые организмы размером от миллиметра до сантиметра.

Подобную съемку нельзя произвести другими средствами. Сети «смазывают» образцы, поднимая и перемешивая обитателей океана, живущих на разных глубинах. Ловля сетью не позволяет также составить правильное представление о плотности скоплений: все выловленное сетью превращается в перемешанную беспорядочную массу. Даже усовершенствованная сеть, которая открывается и закрывается электронными механизмами, разрушает слабые и хрупкие живые организмы.

Другие автоматизированные систе-



НЕОПОЗНАННЫЙ ОРГАНИЗМ, обнаруженный при помощи планктонного видеорежистратора.

мы также имеют свои недостатки. Оптические счетчики частиц не дают изображений. А акустические системы, по крайней мере на данный момент, позволяют получать данные о плотности, но не о составе масс планктона.

Уже в ходе первых экспериментов ПВР преподнес исследователям сюрпризы. Дэвис наблюдал ориентацию зоопланктона, что невозможно при использовании сетей. «Мы увидели множество организмов, которые не смогли идентифицировать», — говорит Дэвис. Особенно важным было наблюдение микроплатан планктона. Существование таких малых скоплений предсказывалось и ранее, но теперь, по словам Дэвиса, в существовании микроскопических скоплений планктона можно быть уверенным.

По словам Виебе, у ПВР имеется один недостаток: она «просматривает» лишь малые объемы воды. Кроме того, добавляет Дэвис, обитатели океана не отлавливаются и поэтому не могут быть детально обследованы. Дэвис и Галлагер намерены, в конце концов, сохранять все, что фотографируют, в ловушке. И хотя их первоначальные попытки были неудачными, они обнаружили поразительный факт в поведении зоопланктона.

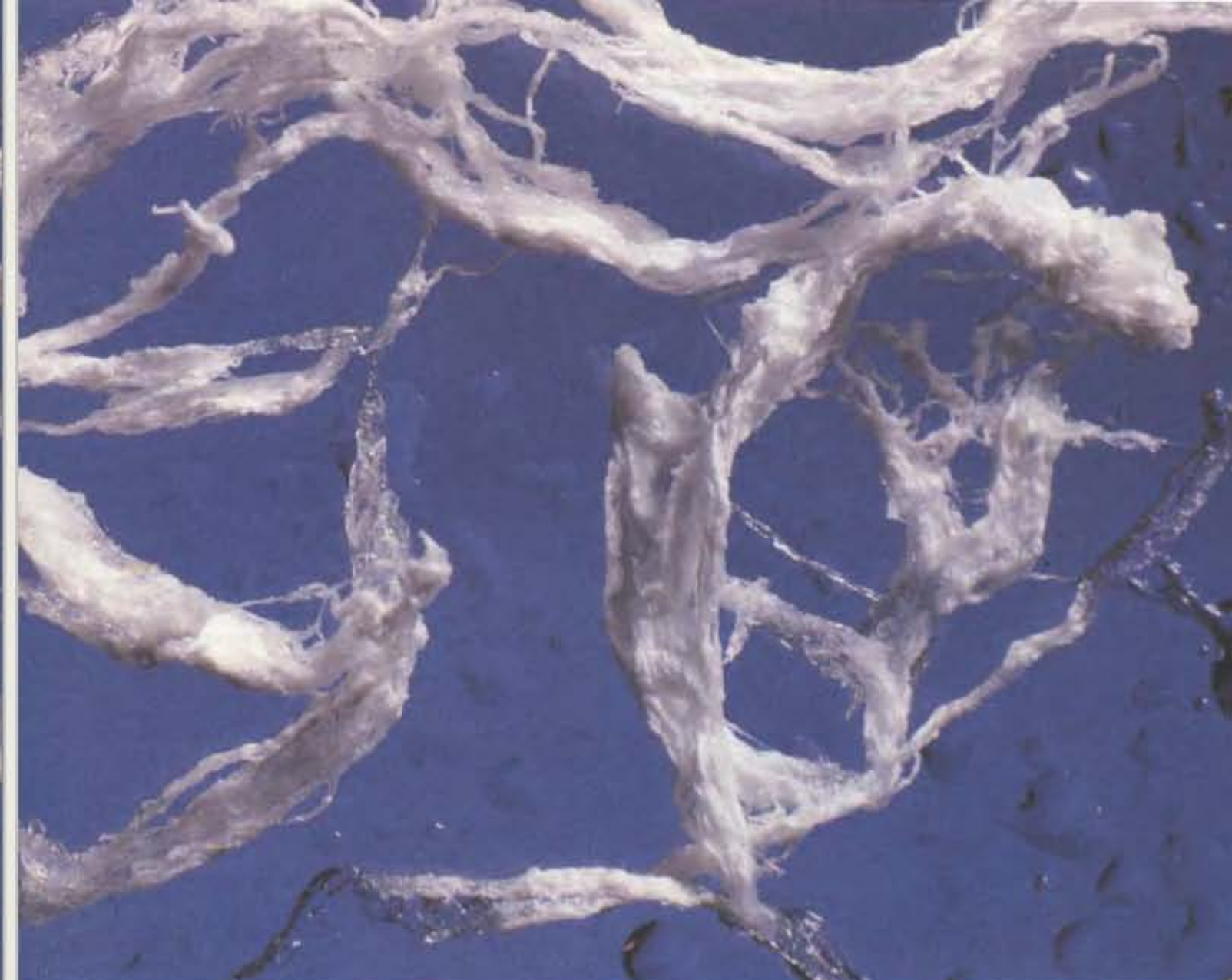
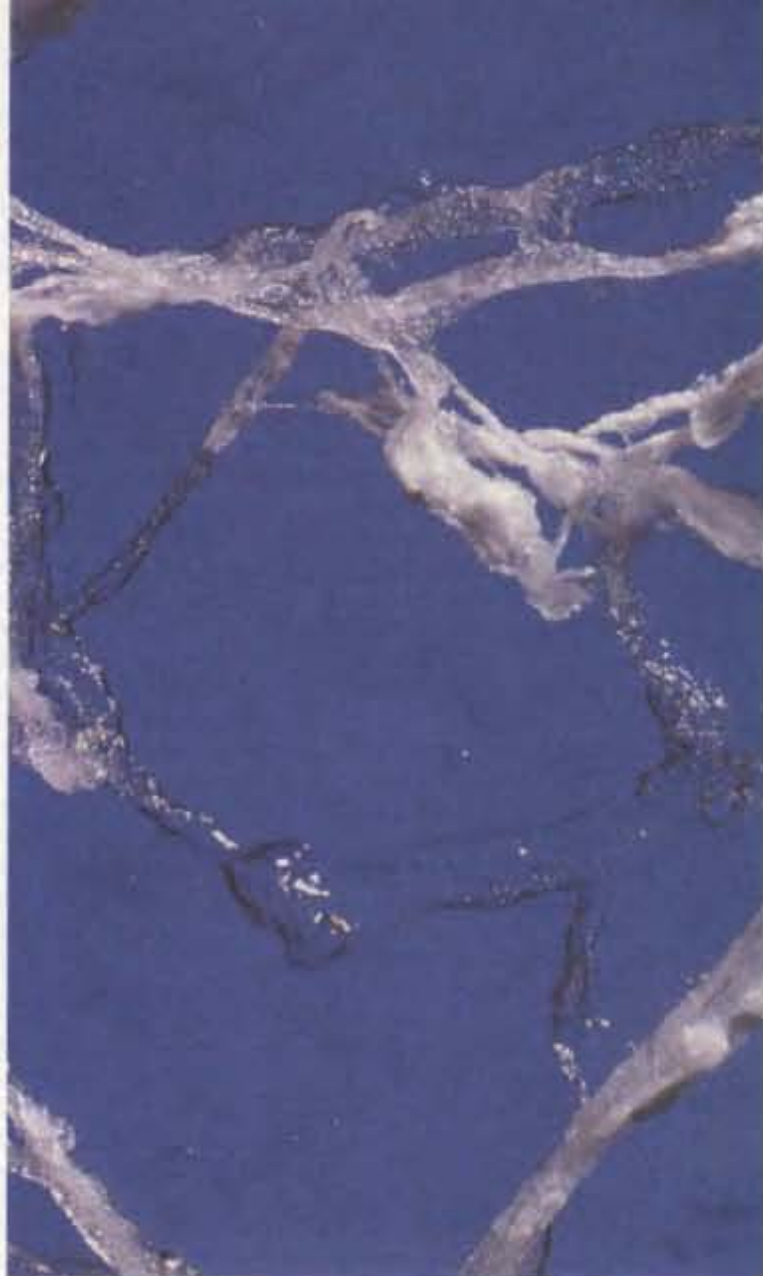
Когда Дэвис испытывал аппаратуру, он увидел, что зоопланктон с легкостью избегал ловушки. «Проворность этих клопов была просто удивительной», — рассказывает Дэвис. — Представьте себе, что ваши размеры уменьшились до одного миллиметра и на вас со скоростью 3500 км/ч надвигается горло ловушки диаметром 20 м. Когда до него остается 20 м, вы из состояния покоя за 1/60 с набираете скорость в противоположном направлении, превышающую 3500 км/ч. Однако от системы ПВР зоопланктонные организмы удрали не смогли. Я думаю, наш регистратор планктона — это своеобразный «Стелс», — заключает Дэвис.

Маргарет Холлоуэй

РАЗРЕЗАНИЕ ГЕНОМА

Дебора Эриксон

В настоящее время ученые пытаются представить заложенную в ДНК человека информацию в компьютерном коде в виде нулей и единиц. Будущее покажет, приведут ли работы по проекту «Геном человека» к научным открытиям или они окажутся безрезультатными



Геном, или совокупность всей генетической информации человеческого организма, закодированной в структуре спирально закрученной ДНК, образующей 24 пары хромосом, представляет собой огромный документ. В языке генома всего четыре буквы — А, G, T и C — по названиям основных элементов нуклеиновых кислот — азотистых оснований аденина, гуанина, тимина, цитозина. Геном компактно упакован в ядре каждой клетки организма. Если бы содержимое генома можно было опубликовать в виде книги, то обычному человеку потребовалось бы не менее трети его жизни на то, чтобы прочесть три миллиарда нуклеотидов — мономеров ДНК, в каждой из которых входит какая-то одна «буква».

Так, том с описанием того, из чего состоит тот или иной человек, содержал бы от 50 тыс. до 100 тыс. генов. Около 5 тыс. из них уже расшифровано. К 2005 г. исследователи, участвующие в грандиозном проекте «Геном человека», надеются прочесть все остальные. Собственно гены, т. е. нуклеотидные последовательности, кодирующие белки, составляют всего 2% «документа», который необходимо прочесть. В этом году основные исполнители проекта — Национальные институты здоровья (НИЗ) и министерство энергетики — истратят примерно 160 млн. долл. на изучение генома. Исследовательские группы, которые финансируются этими и другими организациями, такими, как Национальный

фонд науки, уже получили ДНК общей сложностью свыше 70 млн. нуклеотидов. Количество накопленных последовательностей удваивается каждые два года.

Однако все это огромное количество информации будет безмолвствовать, как сфинкс, до тех пор, пока оно не станет доступным, интегрированным, подвергнутым сомнениям, интерпретированным, проверенным и изученным. Задача, заключающаяся в том, чтобы сделать эти данные доступными, выпала на долю группы ученых, ответственных за ту часть проекта, которую можно назвать «информатикой» генома. Функции этих исследователей, которые могут оказаться соединительным звеном в общих работах стоимостью 3 млрд. долл., заключаются в сопряжении точных законов информатики с зыбким миром традиционной биологии. Именно этой группе исследователей предстоит решить, как полученные в ходе выполнения проекта результаты сделать доступными для других ученых и какие методы могут быть использованы для разработки программ, обеспечивающих хранение и переработку данных. И так же, как при беседе с предсказателем, ясность ответов будет определяться правильностью поставленных вопросов, а решения, принятые сейчас, определят вопросы, которые встанут перед учеными в ближайшие 5–10 лет. «Информатика должна быть не просто глазурью на пироге проекта генома, она должна быть его содержимым», — считает Ч.Кантор, научный руководитель проекта «Ге-

ном человека» из министерства энергетики США.

Потеря времени недопустима, так как поток данных из лабораторий становится все более стремительным. Попытки расшифровать хромосомы человека предпринимаются как группами исследователей, так и отдельными учеными. Большая часть денег, выделяемая министерством энергетики, направляется в три национальные лаборатории — Лабораторию им. Лоуренса в Ливерморе, Лабораторию им. Лоуренса в Беркли и в Лабораторию в Лос-Аламосе. НИЗ финансирует исследования, проводимые в семи научных центрах при университетах, таких, как Вашингтонский университет и Институт Уайтхеда при Массачусеттском технологическом институте.

Каждый центр отвечает за определенный раздел проекта, например картирование одной или нескольких хромосом. НИЗ также выделяет средства в виде стипендий 150 индивидуальным исследователям, которые картируют или секвенируют (т. е. определяют нуклеотидную последовательность) небольшие участки генома, разрабатывают новые типы генетических маркеров для отдельных генов или конструируют приборы для автоматического «чтения» ДНК.

Работа этих исследователей направлена на достижение первоочередной задачи проекта — получение так называемой генетической и физической карты каждой хромосомы. Генетические карты позволят установить прибли-

зительное расположение генов, кодирующих различные фенотипические признаки. Эти карты должны быть размечены маркерами, расположенными на нужных расстояниях, например через каждые 100 тыс. пар оснований. Эти опорные точки помогают ученым проследить гены при генетическом анализе семей и определить, насколько гены, связанные с наследственными заболеваниями, удалены от каждого маркера.

Физическая карта хромосомы в то же время, как локутное одеяло, представляет собой набор расположенных в определенном порядке небольших фрагментов хромосом ДНК, каждый из которых может быть клонирован (т. е. размножен). Затем эти фрагменты должны быть пространственно соотнесены друг с другом и представлены на схеме каждой хромосомы. Со временем эти отдельно охарактеризованные фрагменты нужно будет использовать для составления третьей карты — карты полной последовательности оснований А, G, T, C. Последнее является долговременной задачей, и маловероятно, что уровень научно-технического развития позволит ее выполнить в ближайшие 10 лет.

Проект также включает задачу секвенирования генома экспериментальных организмов, таких, как бактерия *Escherichia coli*, дрожжи, плодовые мушки, мыши и черви. Данные о генетическом маркировании этих видов могут дать ученым косвенную информацию о предмете их исследований, а также, что более важно, дать пред-

ставление о подобии или гомологии различных видов.

Например, локус *ubx* содержит кластер генов, определяющих план строения тела плодовой мушки *Drosophila*. Похожая на них группа генов управляет организацией нервной системы у мыши и человека при эмбриональном развитии. С помощью экспериментальных организмов возможна проверка различных гипотез, связанных с разными функциями генов, посредством анализа мутаций или делеций в этих генах. Такая работа неточна и практически невозможна на человеке. Межвидовые аналогии могут быть более значимыми для успеха проекта «Геном человека», если исследовательские группы, получающие эти данные, сделают их доступными для других ученых, работающих в территориально

удаленных и пользующихся иными компьютерами.

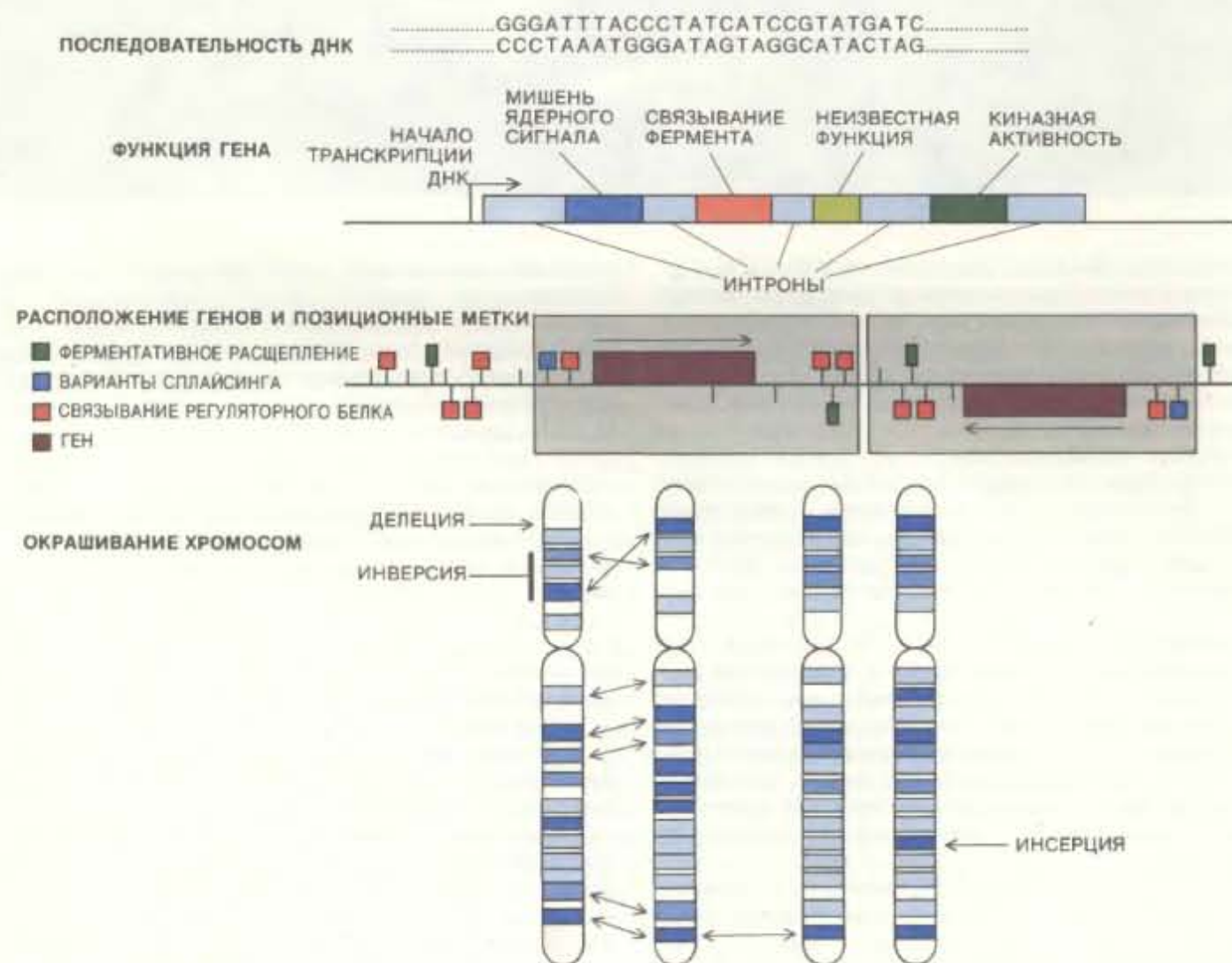
Задача ввода всей информации в компьютер и обеспечения ее доступности должна решаться теми сотрудниками, которые работают в информационной группе проекта «Геном человека» и часто называют себя «гвоздем» проекта. В числе тех, кто выполняет эту задачу, не обязательно профессиональные биологи или специалисты в области вычислительной техники. В группу входят, например, и физики-теоретики, зоологи. «Трудно сказать, кто есть кто», — говорит Крис Роллингз, руководитель службы информатики в Королевском фонде изучения рака в Великобритании. Тимоти Ханкапиллар, директор компьютерного отдела Центра молекулярной биологии Национального института здоровья в Калифорнийском

Поиск искомого в хромосомах

Почему бы не посмотреть на эту проблему с разных позиций? Разумную мысль часто легче высказать, чем реализовать ее, особенно когда речь идет о хромосомах. Длинные цепочки нуклеотидов, которые составляют при «чтении» ДНК, очень быстро утомляют глаз человека. Поэтому ученые пытаются научить компьютер разбираться в этих сложностях. Программы, подобные тем, что разработаны специалистами министерства энергетики и Национальных институтов здоровья, позволяют распознавать последовательности ДНК и переводить их в символы, более понятные для человека.

Когда на карте хромосомы гены изображаются с позицион-

ными «метками», такими, как участки связывания ферментов или других белков, возникает специфическая картина. Например, зеркальные структуры, заключенные здесь в серые прямоугольники, могут быть эволюционно связанными. Такая организация может быть результатом перескакивания фрагмента ДНК или внедрения ретровируса в хромосому. Аналогично окрашивание, выявляющее характерный рисунок полос в хромосоме, помогает установить расположение сегментов генетического материала. Такой анализ хромосом помогает изучить болезни, связанные с инверсиями, делециями, инсерциями и обширными перестройками ДНК.



технологическом институте, добавляет: «О работе этих специалистов не следует говорить с биологами, вас просто не поймут и сочтут ненормальным».

Под термином «информатика» понимается совокупность функций, выполняемых с помощью компьютера в комплексе работ по исследованию генома с использованием методов обработки информации применительно к анализу последовательности ДНК и построению различных генетических карт. Как считают некоторые эксперты, расходы на эти цели в общем бюджете лабораторий могут составлять до 30%.

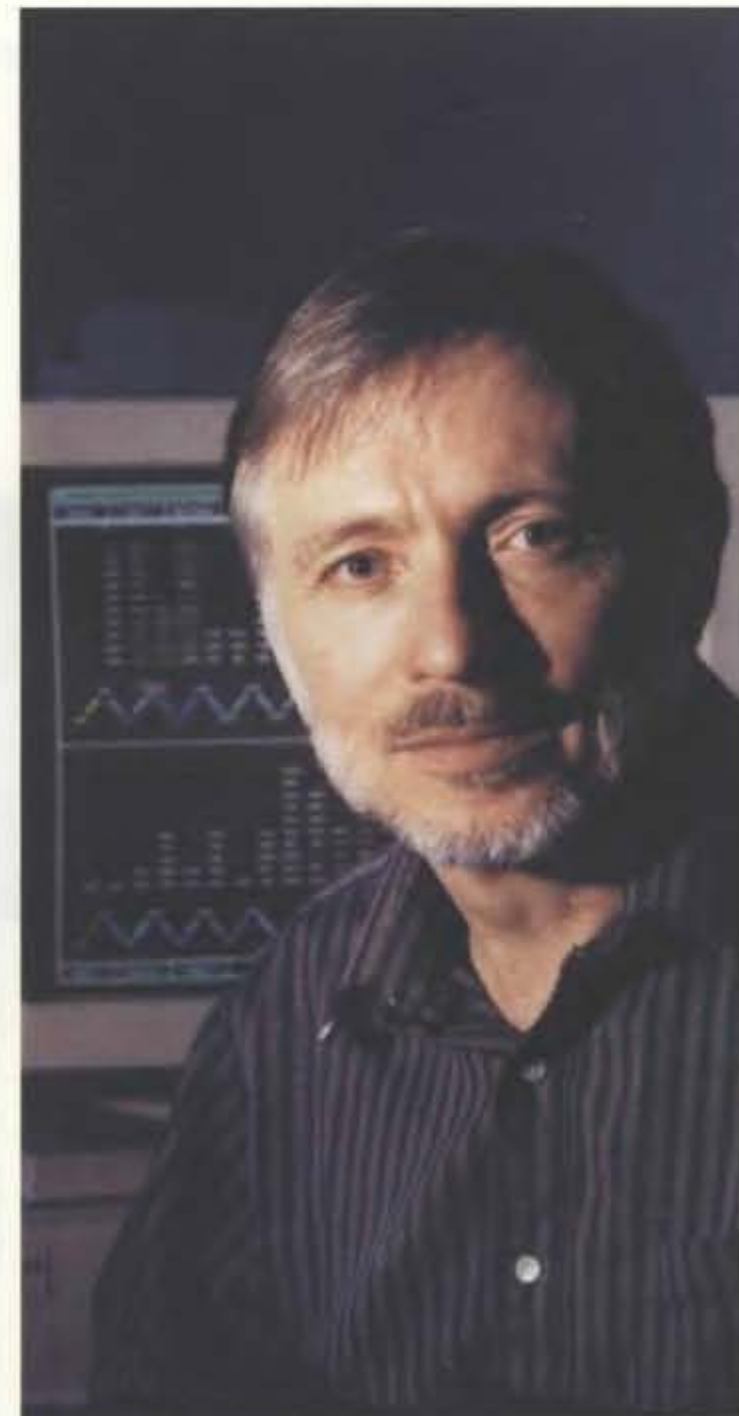
В настоящее время наиболее важным аспектом деятельности специалистов, занятых в области информационного обеспечения проекта, является разработка разветвленной сети компьютерных баз данных, в которых должна храниться информация, содержащаяся в геноме человека. Какие модели организации данных могут быть использованы для этой цели? Какие виды доступа к данным более предпочтительны: по прямым целевым запросам или через справочные протоколы, более гибкие, но и требующие большего времени на обработку? Следует ли обеспечить прямой доступ к этим базам через электронные сети? «Каждый хотел бы, чтобы база данных работала как послушный и талантливый аспирант», — говорит Крис Филдс, биолог-программист из Национального института неврологических заболеваний. — Вы говорите ей: «У меня есть такие-то предположения, нельзя ли выяснить, насколько я прав?». Но никто не знает, как это спросить у компьютера».

Трудно даже определить, что необходимо вложить в компьютер. Биологи привыкли хранить относительно небольшие количества данных в виде небрежно сделанных записей в тетрадах, где самые важные страницы могут быть даже со следами кофе. Компьютер, напротив, требует большой аккуратности и не допускает какой-либо небрежности. С другой стороны, составителям баз данных часто приходится иметь дело со сбором неоднородной информации из различных источников, которые постоянно меняются, и они не вполне представляют себе, какую информацию они собирают и что с этой информацией будет делать ученый.

Поскольку различным ученым нужны различные виды информации, появилось много специализированных баз данных. Например, молекулярные биологи, изучающие рак легких, интересуются небольшими участками хромосом с целью поиска генов, которые могут содержать онкогенные структуры. Других в большей степени могут интересовать экспериментальные методы определения локализации и нуклеотидной последовательности этих генов. «Вряд ли можно утверждать, будто мы знаем, что понадобится людям в дальнейшем», — говорит Элберт Бранском, главный специалист по информатике в Национальной лаборатории им. Лоренса в Ливерморе.

По этой причине лаборатория, возглавляемая Бранском, собирает по возможности большее количество данных, даже если эти данные предварительные. База данных в Ливерморе, специализирующаяся в настоящее время на подробном описании хромосомы 19, непрерывно обновляется, но тем не менее содержит ошибки. По словам Бранскома, такой быстрый и свободный подход вполне приемлем, так как все содержимое этой базы данных предназначено для текущих исследований в данной лаборатории и для сотрудничающих с ней ученых, которые знают недостатки этой базы. Ливерморская база данных структурирована так, что любой пользователь может внимательно проанализировать ее содержимое, если он следит за его постоянным изменением.

Другие системы выполняют функции центральных архивов, в которых представлены точные, весьма досто-



ЭЛБЕРТ БРАНСКОМ, ведущий специалист по информатике в Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли, считает, что базы данных должны иметь свободный и прямой доступ через электронные сети связи. «Старые методы отмирают, и, чем скорее они отомрут, тем лучше», — говорит он.

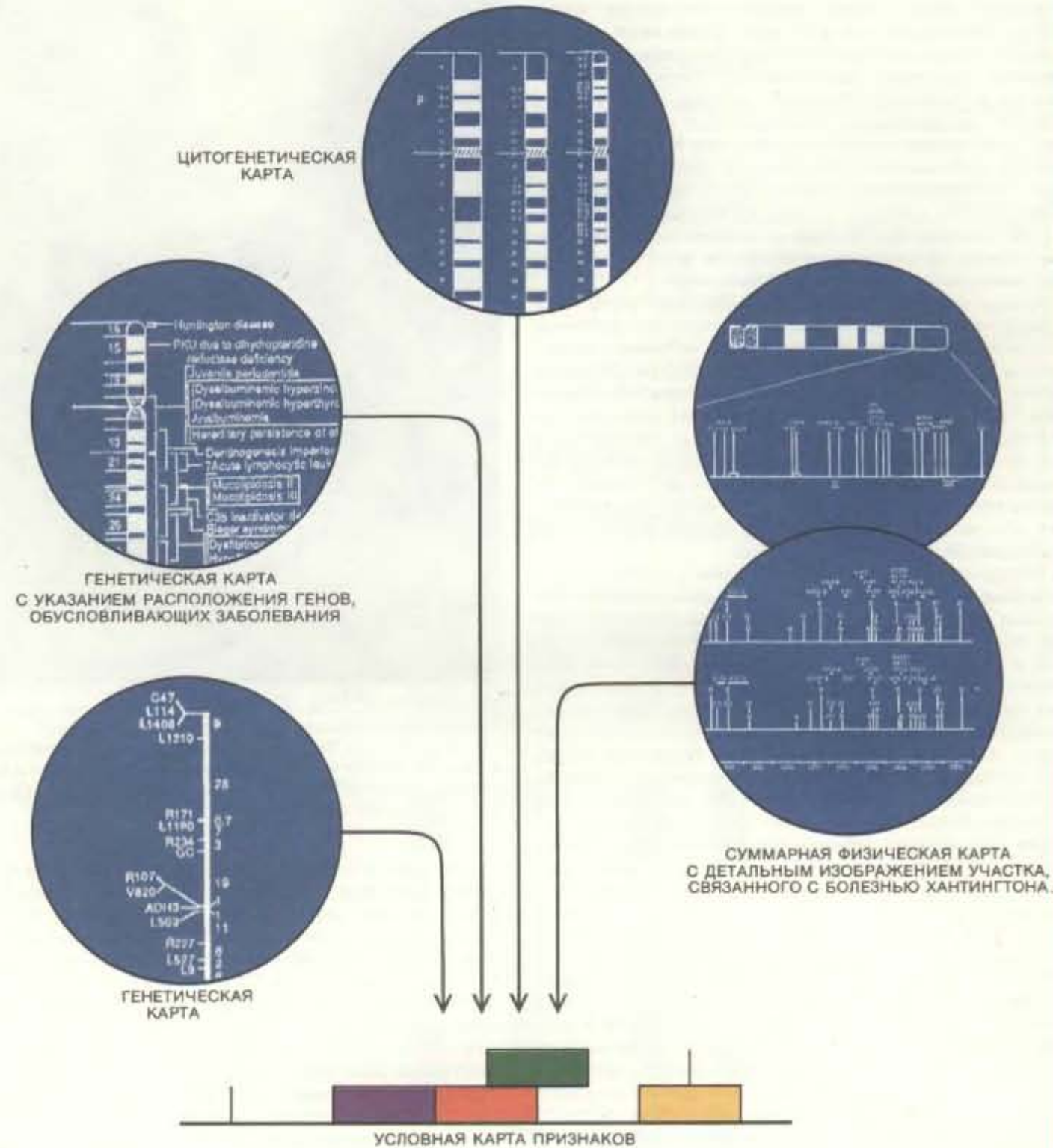
верные данные в стандартном, легко поддающемся интерпретации виде. Примером базы данных такого типа может служить разработанная в Университете Джона Гопкинса карта генов человека, обычно называемая GDB. Эта база данных «пересекается» с другими базами данных, такими, как Genbank в США, представляющая собой хранилище авторски защищенных нуклеотидных и аминокислотных последовательностей 3000 видов живых организмов. Роберт Дж. Роббинс, один из главных разработчиков этой базы данных в Университете Джона Гопкинса, рассматривает GDB как основное средство информационного обеспечения заинтересованных ученых. Говоря о ее популярности, Роббинс ссылается на конференцию, состоявшуюся в августе прошлого года, которая закончилась в пятницу, а во вторник 600—700

Геном как объект визуализации

Замыслы и намерения ученых всегда претерпевают изменения, когда они ставят эксперименты, и экспериментальные данные чаще всего не укладываются в прежние представления исследователя. Следовательно, эти данные не вписываются в компьютерную базу данных, рассчитанную на хранение информации вполне определенного вида в заранее определенных форматах. Учитывая это, специалист по информатике Н. Гудман из Института Уайтхеда возлагает надежды на новый тип баз данных, которые позволят изменить процесс обработки данных и будут иметь резерв для внесения новой информации, отражающей постепенно меняющиеся научные концепции в биологии.

Принципиальная особенность этого новшества, как считает Гудман, заключается в том, что подлежащие хранению

данные классифицируются как «объекты», которым свойственны такие признаки, как размер, порядок и положение (позиция). Множество разных карт, составленных в ходе реализации проекта «Геном человека», можно рассматривать как объекты одного типа независимо от того, как они выглядят на самом деле. Все карты содержат такие абстрактные параметры, как размер (большой или маленький) и положение внутри данного контекста. Можно рассчитать расстояние между двумя такими параметрами, чтобы определить их относительное расположение (выше, ниже, в середине и т. д.) и следующий параметр в данном направлении. На цитогенетической карте части хромосомы 4, приведенной ниже, позициями являются полосы на хромосоме. На физической карте позиции измеряются в килобаззах.



участников конференции уже обратились к GDB.

Некоторые базы данных являются узкоспециализированными и регистрируют все явления в той или иной области изучения генов, например все, что касается так называемых «цинковых пальцев». Эти гены кодируют металлосодержащие белки, которые играют очень важную роль в экспрессии других генов. Существуют и такие специфические базы данных, которые работают в диалоговом режиме и описывают один организм, например нематоду *Caenorhabditis elegans*. Их пользователем, как правило, является узкий круг ученых, работающих над смежными проблемами. Они могут не только обращаться с вопросами к базе данных и получать ответы на них, но и знакомиться с данными, относящимися к смежным областям в поисках творческого озарения.

Ученые Ливерморской лаборатории и многие другие группы ученых полагают, что ключевым фактором, от которого зависит широкое использование баз данных, является их гибкость. Поэтому для хранения своих данных они предпочли использовать взаимосвязанные базы данных, аналогичные тем, которые в свое время были разработаны для финансовой и коммерческой деятельности. Этот подход позволяет логически унифицировать физически различные и концептуально независимые массивы данных, которые при необходимости затем могут быть тематически разделены с помощью электронной сети без переформирования основного массива.

Связанные модели хранят данные в виде таблиц с рядами и колонками, которые подобны выдвижным ящикам; хранимые данные имеют указание на их связь с данными в других ящиках. Например, одна и та же последовательность ДНК может быть внесена в различные разделы массива, в такие, например, как методы получения экспериментальных данных, источники исследуемого материала и др. О принципе «достаточного невежества», на основе которого формировалась ливерморская база данных, Том Слэжек, специалист по вычислительной технике, говорит с улыбкой: «Я не знаю, кто и как будет работать с этим массивом через 5 лет, да и никто не знает, поэтому я делаю базу данных как можно более гибкой». Однако по мере того, как взаимосвязанные базы данных накапливают все больше информации, каждый бит которой должен храниться в отдельном блоке, количество рядов и связей между блоками быстро увеличивается. Поэтому некоторые исследовательские группы пытаются найти новые подходы, обеспечивающие более простую структуру баз данных и более эффективное их использование. Один из таких подходов предполагает создание предметноориентированных баз данных. В этих базах данные классифицируются предметно по общим признакам, которые включают связи с другими объектами. Новая информация должна укладываться в имеющуюся схему, обмен и поиск информации в этих системах должен быть достаточно простым, а сама она должна отражать изменяющиеся взгляды в науке.

В то же время другие специалисты в области информатики выступают за стандартизацию способов хранения информации, считая, что это позволит полнее и экономичнее использовать накопленную информацию. Наиболее активным сторонником этого направления является Дейвид Липман, директор Национального информационного центра биотехнологии (NCBI). В защиту этой концепции он выступает с 1988 г., когда этот центр был основан как часть Национальной медицинской библиотеки. Группа сотрудников, работающих под руководством Липмана, установила связь между нуклеотидными последовательностями ДНК, аминокислотными последовательностями белков и цитруруемыми во множе-



ДЕЙВИД ЛИПМАН, руководитель Национального центра биотехнологической информации, собирает генетическую информацию и устанавливает перечень вопросов и заносит их в мощные поисковые системы, распространяемые на дисках постоянной памяти CD-ROM.

стве научных публикаций литературными данными и составила серию вопросов, которые облегчают пользователям поиск информации, объединенной этими установленными связями. Например, пользователь может запросить выдать все опубликованные статьи, в которых приведена та или иная последовательность, или выяснить все о белке, который кодируется определенным геном.

В итоге, как надеется Липман, созданная им информационная система NCBI может стать основой более разветвленной базы данных «GenInfo», которая, по его мнению, будет формироваться и рассылаться на дисках CD-ROM каждые два месяца. Исследователи, которые имеют ограниченный доступ к компьютерам или не хотят подключаться к широкомасштабным компьютерным сетям, могут использовать эту информацию. Липман заявляет, что они намереваются собирать все известные генетические и физические карты, трехмерные

структуры белков и прочую доступную информацию.

Однако большая часть информации уже собрана. В октябре NCBI возьмет на себя всю ответственность за работу системы Genbank, разрабатываемую Национальной лабораторией в Лос-Аламосе. Информационная система PIR (Protein Information Resource), располагающая банком данных о белках и созданная Национальным фондом биологических исследований в Вашингтоне (округ Колумбия), в течение года сделает широкодоступным свой информационный фонд, как это уже сделали Европейская лаборатория молекулярной биологии и банк данных о ДНК в Японии.

Ключевым элементом системы NCBI является язык Abstract Syntax Notation 1 (ASN-1). Вся информация, вводимая в эту базу данных, будет вначале переводиться на этот язык, который определяет способ обмена информацией между «агентами», т. е. пользователями, компьютерными программами и т. д. Все поступающие данные вначале как бы упаковываются в чемоданы, которые компьютер затем сортирует по их цвету: зеленые — в одно место, синие — в другое, не вникая в их содержание. «Мы намеренно стараемся стандартизировать дан-

ные, чтобы информационное обслуживание поставить на коммерческую основу», — заявил Липман.

Чтобы придать NCBI законченную форму, недавно было объявлено о готовности рассмотреть предложения о наращивании основной базы данных дополнительными информационными блоками, предназначенными для специалистов смежных отраслей, например иммунологов или клиницистов. «Фирма Hitachi поддержала эту идею, когда узнала об этом на состоявшейся недавно конференции по компьютерной биологии», — сказал Липман. — Они хотели послать команду своих программистов, чтобы те посмотрели, что мы делаем. Если компании США не откликнутся на этот призыв, они вновь упустят благоприятный момент».

Однако идея о том, что все основные базы данных должны быть переведены на один фиксированный язык, находит поддержку не у всех исследователей и создателей баз данных, которые считают, что такой подход снижает гибкость в использовании данных и является неприемлемым для большинства данных, собираемых по проекту «Геном человека». «Комплекс задач, решаемых в рамках этого проекта, слишком неопределен и

Хорошо ли быть щедрым?

В науке всегда важно быть первым. Генетика отличается особо жесткой конкуренцией. Множество лабораторий занимается одной и той же проблемой, а именно генами, связанными с некоторыми болезнями или белками, например инсулином, — зная при этом, что лишь одна из них станет первооткрывателем. Обычно научные результаты быстро публикуются в журналах.

Однако с накоплением огромного количества информации в процессе работ над проектом «Геном человека» способ признания результатов научной работы стал изменяться. И если одни ученые делают все возможное, чтобы сохранить свое научное лидерство, другие не торопятся распространяться по поводу полученных ими новых данных. «У нас нет жесткого правила относительно распространения информации о проекте «Геном человека», — говорит Э. Йордан, заместитель директора Национального центра исследований генома человека.

Консультативный комитет Национальных институтов здоровья (НИЗ), как говорит Йордан, сейчас разрабатывает общие положения о выдаче разрешения на публикацию научных данных и считает, что, по-видимому, в течение 6 месяцев будет достаточно для того, чтобы рассмотреть представленные материалы. НИЗ выпустит только руководства, но не сами правила. «Как можно узнать, когда ученые действительно получили новую информацию? В первый день ее обнаружения, или когда они почувствовали уверенность в ее новизне, или когда они занесли ее в свою базу данных?» — задается вопросом Йордан.

Некоторые ученые настаивают на более серьезных критериях оценки информации, а не ограничиваться собственным мнением. Они хотят, чтобы их вклад официально оценивался Патентным ведомством США. Тогда вопрос о доступности информации будет решен: за нее придется платить. Главным сторонником такого подхода является Дж. Вентер, руководитель отдела биохимии рецепторов в Национальном институте неврологических болезней и приступов. Он сформировал массив патентных заявок на тысячи коротких кодирующих последовательностей ДНК, которые позволяют однозначно идентифицировать гены. Никто точно не знает, что Вентер конкретно вкладывает в понятие «изобретения», которые в его

лаборатории, как он считает, машины производят по несколько сотен в неделю. Однако многие ученые опасаются, что если Патентное ведомство возьмет под свою защиту эти ДНК, то каждый, кто в будущем захочет что-то сделать с генами, содержащими такие последовательности, окажется должником Вентера. «Величайшая опасность», — считает Р. Мергес, профессор права Бостонского университета, — не в том, что кто-то будет обладать какой-то последовательностью ДНК, — это распространено в наши дни, это рядовое явление, — а в том, что кто-то будет настаивать на изобретении, не разработав ничего реального». Мергес уподобляет взгляды Вентера стремлению заполучить огромный участок земли, на котором теоретически могут быть золотые месторождения. Законы о ресурсах в США направлены на защиту подобных действий, замечает Мергес: «Есть пределы того, чего можно требовать, и необходимо работать на земле, чтобы иметь на нее право. Нам нужно то же самое и для генома».

Пока же Вентер может делать то, что предписал Конгресс, когда он принял федеральный акт о передаче технологий в 1988 г. Р. Адлер, директор Управления передачи технологий при НИЗ, объясняет, что этот закон предписывает государственным агентствам разрабатывать технологии, которые могут быть переданы промышленности за деньги, чтобы стимулировать научные исследования. Он говорит, что необходимо обеспечить защиту последовательностей ДНК, чтобы у частных компаний был стимул разрабатывать лекарства и другие продукты, основанные на этих последовательностях.

Однако патенты, выдаваемые на ранних стадиях, нарушают международный поток информации, обеспечивающий прогресс в науке, считает Р. Гиббс, руководитель программы по изучению последовательностей в Центре генома при Медицинском колледже Байлора. «Наступление экономического материализма ограничивает связи между учеными», — говорит Гиббс. Если каждый будет стремиться извлечь прибыль из исследований по проекту «Геном человека», то вскоре все отклонится от целей, которые ставит перед собой эта программа. Идея заключается в расшифровке информации, важной не только для отдельной группы лиц, но и для всего человечества.

многообразен, чтобы можно было согласиться принять какой-нибудь фиксированный язык описания данных, — утверждает Бранском из Национальной лаборатории в Ливерморе. — Это похоже на сталинизм, когда всех заставляют смотреть на данные одним способом».

Ученые Ливерморской лаборатории и другие исследователи надейются на стандартный информационный язык SQL, который ориентирован на обращение к связанным базам данных. Этот язык позволяет ученым построить любой интересующий их вопрос и не придерживаться фиксированных форм вопросов, даже при обращении к базе Ливерморской лаборатории с ее «сырыми» данными. Бранском считает, что большинство специалистов предпочтут такой подход. «Любой серьезный ученый желает иметь быстрый доступ к информации независимо от того, какой вопрос его интересует и находится ли нужная ему информация в централизованном банке данных или нет», — говорит он.

На конференции, состоявшейся осенью прошлого года, Бранском и Слежек продемонстрировали, как с помощью SQL в неавтономном режиме и в реальном масштабе времени можно вести поиск данных через компьютерную сеть Internet Национального научного фонда. Из зала заседаний в гостинице в Сан-Диего они с помощью компьютерных рабочих станций связались с тремя независимыми базами данных в разных концах страны и одновременно получили информацию из каждой. Ученые тут же получили исчерпывающую информацию об участке хромосомы, который ассоциируется с мышечной дистрофией. Они смогли не только проанализировать маркеры и их последовательности, но и увидеть подробную физическую карту этого участка. В начале февраля этого года исследователи Ливерморской лаборатории и сотрудники четырех других лабораторий, участвующих в международном сотрудничестве, заявили, что они обнаружили дефект, вызывающий развитие миотонической дистрофии, наиболее известной формы этого заболевания. Необычный ген прогрессивно мутирует по мере того, как он переходит из поколения в поколение.

Бранском считает, что существует серьезная альтернатива навязыванию жесткой системы определения соответствия данных. Унифицировать данные, по его словам, можно без особых трудностей с помощью уже имеющейся, но пока не использованной технологии. Для того чтобы можно было осуществить неавтономный управляемый компьютером поиск информации, базы данных должны быть связаны в общую сеть, обеспечивать доступ к данным с любого места, а у пользователей должен быть общий словарь информационных запросов. Все, что потребовалось для запроса по трем каналам, — это чтобы клиент (пользователь) и система (база данных) пользовались одними и теми же названиями маркеров и единой нумерацией последовательности доступа; только по этим ключевым признакам можно было увязать все три вопроса. «Старые способы отмирают, и, чем быстрее это произойдет, тем лучше», — полагает Бранском.

Новые способы тоже не лишены проблем, говорит Роббинс, руководитель разработчиков GDB. Множество баз данных будет располагать таким количеством данных, что ученые окажутся не в состоянии охватить их. В результате, считает Роббинс, пользователями баз данных скорее будут компьютеры, а не люди: «Сейчас, если я скажу: выдайте мне все гены 21-ой хромосомы, я получу около 220 локусов, и это только часть того, что будет доступно в будущем». В дальнейшем база данных GDB будет уведомлять пользователя, когда ответ на его запрос слишком большой, чтобы его за один раз можно



РОБЕРТ РОББИНС предвидит, что со временем пользователями баз данных, содержащими информацию о геноме, такими, как GDB в Университете Джонаса Гопкинса, будут компьютеры, а не люди.

было передать электронными средствами.

Если в рамках проекта «Геном человека» должны быть созданы базы данных, рассчитанные на пользование ими многими специалистами, то, как утверждает Роббинс, они будут гораздо сложнее, чем покажутся отдельному производителю, и за это придется дорого заплатить. Базы данных с информацией о геноме должны быть «открыты для каждого, кто в них нуждается». Слишком упрощенные системы не могут быть экономичными. «У меня очень трудная задача — доказывать необходимость тратить большие деньги наших налогоплательщиков на удовлетворение потребностей небольшой кучки ученых, в то время как имеется немало других способов выгодно потратить деньги».

Другие специалисты в области информатики меньше думают о проблемах обеспечения доступа к информационным базам, а больше занимаются вопросами обработки данных. Некоторые исследователи, в частности те, что работают в Ливерморе, предпочитают использовать обычные коммерчески доступные программы. Другие, как, например, специалист по информационным системам Натан Гудман из Института Уайтхеда, считают этот подход ошибочным. Он считает, что биологические данные плохо укладываются в табличные формы взаимосвязанных баз данных: «Вы должны тратить много времени на программирование структуры данных. Если это единственный способ, имеющийся в нашем распоряжении, то проект «Геном человека» лопнет, прежде чем мы дадим то, что обещали. Мы должны найти другой, более дешевый и более эффективный способ».

Гудман также считает, что биологические данные лучше представлять в рамках общей концепции. Например, существует много способов, как выявлять местоположение изучаемого локуса в хромосоме. Все можно считать маркерами — будь то короткие фрагменты, которые расположены около известных генов, или полиморфизм длины рестрикционных фрагментов (участков различной длины, на которые разрезается ДНК специфическими ферментами). «Лишь отдельные части программы должны знать, какой тип маркера используется», — говорит Гудман.

Подробности о маркерах — такие, как сведения о линии мышей, из которой получили эти маркеры, или лаборатория, могут быть изображены в виде ветвей дерева, а более точные данные — в виде стебельков. «Внесение изменений в такое объектное изображение не может быть легким, но это все же значительно проще, чем каждый раз менять взаимосвязанные базы данных», — заключает Гудман. В лаборатории Массачусетского технологического института, где он работает вместе с Эриком Ландером над составлением карты генома мыши, они собираются вводить радикальные изменения в их компьютерную систему каждые 6 месяцев.

Сейчас предметно-ориентированные базы данных имеют серьезный недостаток — отсутствие запросного языка. «Мы можем получать из системы очень хорошую информацию, но только путем составления соответствующих программ, и никак иначе, — признает Гудман. — Составление нового языка частично может решить проблему, но и в этом случае формулировки запросов вряд ли обеспечат получение ответов на все интересующие вопросы. Наличие пронумерованных запросов на экране мало». По словам Гудмана, сейчас нужен не только язык, но и средства визуализации информации, которых пока еще нет.

Всякие способы переделки программного обеспечения приводят к созданию неудобных в использовании программ и к тому же требуют немалых средств, как считает Сюзанна Льюис, специалист по информатике в Национальной лаборатории в Беркли. «Специалисты, работающие над проектом «Геном человека», нуждаются в таком программном обеспечении, которое позволяло бы отражать все изменения в результатах, получаемых в лаборатории, и для этого потребуются применить немало усилий, чтобы создать нечто новое, но пока все делается по привычной схеме», — пояснила она. Только в одной Ливерморской лаборатории работают три группы исследователей, занимающиеся картированием, и одна — секвенированием последовательности, и у всех у них различные потребности. Поэтому всем этим специалистам трудно пользоваться одним программным обеспечением, не говоря уж о других лабораториях.

Необходимо принять какое-то решение. «Большая часть того, что делается в любой лаборатории, если не все, носит характер постоянно меняющегося процесса», — говорит Льюис. Она и ее коллеги из Калифорнийского технологического института считают, что можно будет построить систему автоматизированного проектирования, которой ученые смогут задать перечень вопросов на входе и ожидаемых ответов на выходе, и тем самым «принструментировать» компьютер, который затем построит нужную базу данных.

Другие ученые считают, что как обычные базы данных, так и те, которые необходимо программировать с учетом индивидуальных потребностей, имеют ограниченные возможности. Они предпочитают, чтобы большую часть работы выполнял компьютер. Базы данных, которые основаны на этом принципе, уже заставляют биологов изменить стиль своей работы. «У людей и в

мыслях не было бы приступить к эксперименту, не проконсультировавшись прежде с компьютером», — замечает Джордж Майклс, биолог-программист, который работает в двух организациях — в Национальном институте здоровья детей и развития человека и в отделении фирмы Computer Research and Development. Он ссылается на базу данных генома повсеместно встречающейся бактерии *E. coli*, популярной благодаря ее способности производить продукты различных чужеродных генов, введенных в ее геном.

Хотя о бактерии *E. coli* известно сейчас больше, чем о любом другом свободно живущем организме, до последнего времени, как говорит Майклс, не было никакой возможности свести эти данные вместе. Теперь все обстоит иначе. Кен Руд из Национальных институтов здоровья завершил сложную работу, состыковав все последовательности ДНК *E. coli*, идентифицированные на данный момент. Подобный анализ позволяет ученым описать расположение генов таким образом, каким невозможно это сделать, если последовательности ДНК рассматривать каждую саму по себе. «Логика в установлении расположения последовательностей на карте хромосомы та же, что во фразе: «Вашингтон расположен между Нью-Йорком и Майами», — говорит Майклс. — Точно так же биологи рассуждают, отвечая на вопрос о том, где место гена в хромосоме относительно известных маркеров».

Возможность иметь наглядное представление карты ДНК подвигает биологов на изучение функций тех или иных нуклеотидных последовательностей, которые не являются генами, но по своему важны. Так называемые короткие функциональные единицы, очевидно, определяют структуру генных продуктов и время их образования. Функции многих таких единиц проявляются по мере того, как анализируются все более длинные последовательности ДНК.

Представления новых биологических концепций в физическом мире являются серьезной и насущной проблемой, с решением которой успешно справляются физик Рей Т. Хагстром и специалист в области информатики Рос Овербек из Аргонской национальной лаборатории совместно с Майклсом из Национальных институтов здоровья и Каро Йосида из Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли. Вместе они разработали программное обеспечение для разметки характерных участков в геноме *E. coli* или в других больших последовательностях и представления их на экране компьютера. Визуализация получается весьма грубая, поскольку изображение формируется из затемненных треугольников и квадратов, однако они все же показывают отдельные элементы (интроны, экзоны, промоторы, терминаторы и др.) и их расположение относительно известных генов.

Работа «информатиков» дает возможность биологам проникнуть в сущность исследуемых объектов и находить новые связи. Эти первые успехи позволяют надеяться, что самая трудная проблема в осуществлении проекта «Геном человека», а именно сокращение разрыва между биологами и разработчиками компьютерных программ, будет разрешена. «Образование биологов включает в себя собирание грязи на болотах и наблюдение за пушистыми симпатичными животными», — заявил Овербек. — Биологи — это экспериментаторы. Их учат тому, чтобы они умели изменить ход своих исследований, если они не получают желаемых результатов. Специалистов по компьютерам учат тому, чтобы они шли к решению проблем прямым путем, опираясь на логику. Мы просто мыслим по-разному, и в этом основная трудность». Однако оба этих способа мышления необходимы для распутывания загадки генома.

Оптические линии связи с меньшими потерями

Точно так же как выбоины мешают движению по скоростным автомагистралям, нежелательные неоднородности, на которых рассеивается энергия и ослабляются передаваемые сигналы, ухудшают характеристики волоконно-оптических сетей дальней связи, которые служат магистралями для передачи данных и звуковой информации. Некоторые достижения в этой области за последние годы позволяют сгладить эти грубые «пятна» и за счет этого улучшить качество связи.

Например, большое количество энергии обычно рассеивается в начале канала оптической связи, там где излученные лазерами световые сигналы вводятся в световоды. При этом обычно теряется более половины излученного лазером света. «Это недопустимо высокие потери, аналогично тому, как если бы вы просто выливали половину бензина из бака своего автомобиля», — говорит Г. Пресби, научный сотрудник фирмы AT&T Bell Laboratories. Пресби придумал кончикам световодов форму аккуратно изготовленных микролинз и за счет этого увеличил эффективность ввода лазерного излучения в оптическое волокно до 90%.

Обычно кончику световода придают коническую форму с линзой на конце для того, чтобы как можно больше лазерного излучения попало в волокно. Однако после ряда опытов Пресби обнаружил, что некоторые конически-линзовые кончики световодов захватывают намного больше света, чем другие. В конце концов он понял, что полусферическая форма поверхности обычной линзы может хорошо сфокусировать падающий свет. Пресби знал, что, согласно классической теории геометрической оптики, эту проблему можно решить, если придать линзе асферический гиперболический профиль.

Пресби говорит, что разработка технологии для автоматического «выплавления» идентичных асферических профилей торцов световодов оказалась куда более сложной задачей, чем теоретическое решение этой проблемы. Прошлой весной он получил патент на метод механического вырезания асферического профиля на торце световода. Метод заключается в том, что вращающийся кварцевый световод на 30 с подвергают воздействию излучения мощного лазера на двуокиси углерода. По его словам, это напоминает обточку стержня на обычном токарном станке, но при этом требуется исключительно высокая точность подачи, измеренная десятками долями микрометра.

Об этом достижении в области изготовления микролинз было доложено на состоявшейся в феврале 1991 г. в Сан-Хосе конференции по системам оптической волоконной связи; новшество оказалось почти готовым к практическому применению, что выгодно отличало его от других достижений, рекламируемых Bell Laboratories. «Мы работали над этими линзами около двух лет», — замечает Пресби и добавляет, что для развития науки исключительную значимость имеет обмен достижениями, а фирма AT&T, по его словам, стремится сама использовать результаты своих исследований, прежде чем сделать их достоянием всего мира.

Не менее важной проблемой для оптической связи являются потери на длинных отрезках кабелей в линиях связи, в которых сигналы при распространении теряют свою энергию и искажаются. В существующих системах дальней связи для восстановления и усиления (регенерации) сигнала используются дорогостоящие электронные повторители, однако в следующих поколениях световодных кабелей фирмы AT&T для межконтинентальной (трансатлантической) связи будут использоваться оптические усилители. Такой усилитель представляет собой сегмент световода, легированный атомами редкоземельных элементов, которые за счет оптической накачки способ-

ны усиливать энергию передаваемых по кабелю световых сигналов.

Помимо того что оптические усилители, по-видимому, позволят устранить дорогостоящие и малоэффективные электронные повторители, они дадут возможность использовать для дальней связи идеальные сигналы, так называемые солитоны. Солитоны — это короткие импульсы света, которые не подвержены дисперсии и потере энергии, т. е. в принципе они способны сохранять свой размер и форму при передаче на неограниченно большие расстояния. Потенциальная возможность использования солитонов для сверхдальней связи привлекала ученых еще в начале 70-х годов, когда они высказали гипотезу о возможности существования в оптических световодах таких волн дальнего распространения. Но даже руководители Bell Laboratories справедливо указывали, что работы в этой области были слишком рискованными для серьезного финансирования.

Осенью прошлого года Л. Молленауэр, научный сотрудник Bell Laboratories, который был признанным лидером в области изучения солитонов, добился значительных успехов в этой области и продемонстрировал передачу солитоновых импульсов на межконтинентальные расстояния. В лабораторном эксперименте, в котором дальнее расстояние имитировалось замкнутой в кольцо бухтой световода (так называемый «беговой круг»), Молленауэр сумел передать солитоновые импульсы с частотой следования 2,5 Гбит/с практически без ошибок на расстояние свыше 14 тыс. км. В декабре 1991 г. он передал данные со скоростью 10 Гбит/с на расстояние свыше 11 тыс. км. Для этого он использовал различные методы совмещения (коммутации) четырех 2,5-гигабитных сигналов в одном оптическом кабеле. «Мы надеемся еще удвоить скорость передачи данных и достичь величины 20 Гбит/с за счет коммутирования полученного 10-гигабитного канала с другим таким же потоком данных», — заявил Молленауэр.

Это новое рекордное достижение подтверждает мнение Молленауэра о том, что солитоны найдут практическое применение. «Сейчас я полностью уверен в целесообразности финансирования этих работ в AT&T и могу наверняка сказать, что в этой области мы достигнем многого», — сказал он.

Элизабет Коркоран



АСФЕРИЧЕСКИЙ ТОРЕЦ (спроектирован на экран) на кончике кварцевого световода был придуман сотрудником фирмы AT&T Германом Пресби.

Все пути ведут из Рима



ЯН СТЮАРТ

РИМЛЯНЕ никогда еще не видели такого зрелища, — восторженно рассказывал своим подвыпившим друзьям Фастидиус Финики в кабачке «Восьмиугольник», куда они зашли, чтобы немного расслабиться.

— Ради бога, не могу больше слушать эту историю, — взмолился Барнумус Бейлус, опрокинув рюмку римского виски.

Фастидиус продолжал, не обращая на него внимания:

— Барнумус уговорил какого-то сумасшедшего галла сразиться со львом. Кажется, его зовут Эгоцентрикс. Так вот, выходит этот варвар на арену, льва выпускают из клетки, толпа безумствует, предвкушая кровавую развязку, и что же? Зверь выползает на середину арены и застывает без движения. Эгоцентрикс подходит к животному с занесенным высоко над головой мечом. Лев даже не

шелохнулся. Тогда Эгоцентриксу приходит в голову блестящая идея — ткнуть зверя в бедро. Лев с ревом бросается на него. Воин, выронив меч, убегает со всех ног. Вот болван!

— Он не трус, — прервал его Барнумус, — он решился выйти против льва, вооруженный лишь одним мечом.

— О всемогущий Зевс, почему же вы льва тоже не вооружили мечом? — спросил с издевкой Фастидиус. — Впрочем, ладно, дай мне закончить эту историю. Эгоцентрикс бежал по арене, как босой евнух по горячим углям. Надо отдать ему должное — воин двигался гораздо быстрее льва. Как только лев приближался, он делал рывок, увеличивая дистанцию. Вскоре, устав от погоня, лев прилеп, свернулся клубочком и заснул. Запыхавшийся Эгоцентрикс остался стоять посреди арены. Из толпы раздавались насмешливые возгласы: «Сла-

ва Эгоцентриксу, великому гипнотизеру львов!»

Друзья Фастидиуса дружно рассмеялись — все, за исключением Ноблины, императорского учителя геометрии.

Фастидиус глотнул гладиаторского пива.

— Я слышал, как император Скандалус сказал после этого, что бой был скучнее, чем заседание общества инженеров, строителей акведуков.

Барнумус поблелел:

— Мне еще повезет, если меня самого не скормят львам.

— Барнумус, в конце концов ты ни в чем не виноват, — сказала Ноблина, — и я думаю, что нашла способ сделать бои более интересными.

Барнумус сплюнул на песчаный пол.

— Что может геометр знать о боях? Отстань, «ширкуль», — и он снова обратился к Фастидиусу: — я и мой приятель сейчас хотим раздобыть дюжину львов, чтобы...

Ноблина не унималась:

— Ошибка, Барнумус, заключалась не столько во льве, сколько в гладиаторе. Не может получиться настоящего зрелища, когда гладиатор бежит быстрее льва.

— Ноблина имеет в виду, что если скорость человека выше скорости льва, то первый всегда сумеет вырваться, ха-ха, из лап смерти, — заметил Фастидиус.

— На самом деле эта теорема имеет простое геометрическое доказательство, — сказала Ноблина, — если, конечно, не следовать парадоксальным рассуждениям Зенона из Элеи, философа, жившего за четыреста лет до царствования Юлия Цезаря. Зенон придумал любопытное доказательство утверждения, что любое движение невозможно. Пространство бесконечно делимо, конечная длина содержит бесконечное количество точек. Если так, то никакое движение даже невозможно начать, поскольку, чтобы переместиться из одной точки в другую, необходимо пройти через бесконечное множество промежуточных точек. Другими словами, Зенон пришел к выводу, что необходимо затратить бесконечное время, чтобы пройти бесконечное число точек, или, что эквивалентно, преодолеть конечное расстояние.

— Кажется, лев Барнумуса знаком с работой Зенона, — сказал Фастидиус.

— Довольно глупостей, — воскликнул Барнумус. — На следующей неделе у меня запланирован другой бой. На этот раз гладиатором будет Жерриатрикс, он вообще не способен пробежать даже нескольких шагов.

— Ну если лев бежит быстрее, чем гладиатор, то зрелище будет очень коротким, — заметила Ноблина.

— Не лезь не в свое дело, — прорычал Барнумус.

— Да нет же, она права: несколько движений челюстями — и все будет кончено, — мрачно сказал Фастидиус. — Барнумус, ты должен отыскать такого льва и такого гладиатора, которые бегали бы с абсолютно одинаковой скоростью, чтобы никто не имел очевидного преимущества. Тогда получится честное соревнование.

— Я в этом не уверена, — сказала Ноблина.

— Клянусь Герой, она опять принялась за свое, — взревел Барнумус.

— Я просто подумала, а что если гладиатор поступит так же, как Эгоцентрикс, и начнет изо всех сил убегать от льва?

— Тогда лев просто погонится за ним, — ответил Фастидиус.

— Вот именно, — согласилась Ноблина, задумчиво почесав голову, — и с той же скоростью, так что расстояние между ними хотя и не увеличится, но и не уменьшится. По-моему, тоже не слишком увлекательная тактическая борьба.

— Будет немного скучновато, — признал Фастидиус. — Но гладиатор не сможет убегать вечно, рано или поздно он наткнется на стену, окружающую арену.

— Пожалуй, это неплохая мысль,

— сказала Ноблина, — это интересный вопрос. Если лев преследует гладиатора на круглой арене и если каждый из них бежит с одной и той же постоянной скоростью, всегда ли лев сумеет поймать гладиатора? Или же гладиатор, умело меняя направление, будет бесконечно удерживать льва на расстоянии?

— Мне кажется, — размышляя вслух Фастидиус, — что каждый раз, когда гладиатор поворачивает, лев может срезать угол и немножко сократить расстояние между ними.

— Действительно, — подтвердила Ноблина, — но если гладиатор бежит по плавной поворачивающему пути, то изменение направления в каждый момент времени будет исчезающе малым.

— Но как бы там ни было, — с некоторым раздражением в голосе сказал Фастидиус, — мне представляется, что, если лев остается между гладиатором и центром арены...

— На радиусе, соединяющем гладиатора с центром окружности? — спросила Ноблина.

— Вот именно. Если лев последует этой тактике, тогда он сможет, так сказать, отгеснить гладиатора к стенке и там поймать его. Он будет проходить меньшее расстояние, двигаясь по кругу, и это оставит ему некоторый запас для радиального движения. Потому что лев будет находиться с внутренней стороны по отношению к гладиатору.

— А вскоре и гладиатор окажется внутри самого льва, — усмехнулся Барнумус.

Ноблина оставалась серьезной.

— Прекрасная идея, Фастидиус. Но я вот думаю, не получится ли так, как предполагал Зенон, что лев будет сколь угодно близко приближаться к гладиатору, но так никогда и не сумеет настичь его. Запас в дополнительной радиальной скорости будет уменьшаться по мере того, как лев будет приближаться к гладиатору. Гм!.. Предположим для простоты, что гладиатор бежит по кругу. Тогда лев сможет побежать по окружности, касающейся его.

Ноблина нацарапала простую диаграмму на земляном полу (см. рисунок на с. 82).

— В элементарной геометрии доказывается, что соответственные дуги двух окружностей имеют одинаковую длину, поэтому такая траектория возможна. И в этом случае лев действительно может поймать гладиатора за конечное время.

— Элементарная геометрия, — пробормотал Барнумус. — Ни один воин не глуп настолько, чтобы продолжать бежать в одном направле-



СКИРАЛЬ — основа стратегии, позволяющей гладиатору удерживать льва на дистанции. Двигаясь по этой траектории, гладиатор представляет себе линию, проходящую через него и центр арены. Он бежит короткий отрезок перпендикулярно этой линии. На каждом следующем отрезке движения он продолжает представлять себе линии, проходящие через него и центр, и бежит перпендикулярно этим линиям на расстояния, равные первому отрезку, умноженному на n в степени $-0,75$.

нии, видя, как его настигает рычащий лев. Он резко развернется и пробежит в другом направлении.

— Но лев тоже может изменить направление. Он просто отразит свой круговой путь относительно радиального направления и продолжит преследование, — победно воскликнула Ноблина. — Барнумус, ты должен отыскать льва, бегающего точно с такой же скоростью, как твой лучший гладиатор, и выдрессировать его так, чтобы он оставался всегда на том же радиусе, что и убегающий от него гладиатор. Таким образом, зрители окажутся свидетелями захватывающего зрелища, глядя, как гладиатор бросается из стороны в сторону, пытаясь убежать от разъяренного зверя. И в конце концов они должны будут вступить в схватку.

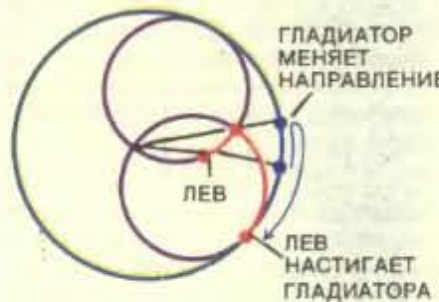
— Ну что ж, Ноблина не требует слишком многого, — со вздохом сказал Барнумус. Покачиваясь, он выбрался из пивной, размышляя о том, сработает ли ее план.

Всего за неделю до следующих боев Барнумус начал испытывать своих львов на скорость бега. Ему удалось найти одного, который бежал, в точности как Эгоцентрикс. Он спешно принял дрессировать зверя, скармливая ему по свежей антилопе в награду за радиально синхронизированную погоню. На седьмой день лев был натренирован лучше любого гладиатора.

Барнумус гордился своим достижением и нанял трех лишних глашатаев, которые должны были рекламировать предстоящий бой. В амфитеатре собралась огромная толпа зрителей.



ЛЕВ всегда поймает гладиатора, бегающего по кругу, если оба движутся с одинаковой скоростью (диаграмма справа сверху).



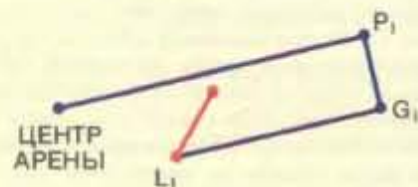
Если гладиатор меняет направление, лев должен изменить свою тактику (диаграмма справа внизу).

Стратегия спасения

Гладиатор может всегда убежать от льва, если он будет бежать с той же скоростью, что и лев, и придерживаться следующей стратегии. Допустим, что гладиатор начинает бег из точки G_1 , а лев — из точки L_1 .

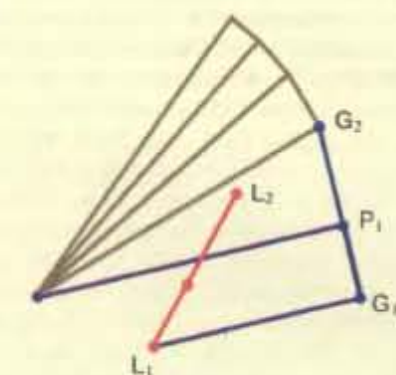
ПЕРВЫЙ ЭТАП

Гладиатор бежит перпендикулярно линии G_1L_1 , пока не достигнет точки P_1 (пересечение его траектории с радиусом, параллельным G_1L_1).



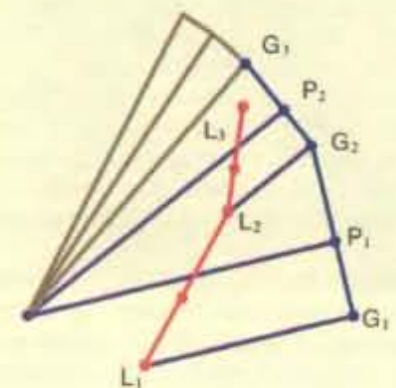
ВТОРОЙ ЭТАП

Гладиатор, пройдя точку P_1 , пробегает расстояние, равное первому отрезку скирала (см. рис. на с. 83). За это время лев достигнет точки L_2 .



ПОСЛЕДУЮЩИЕ ЭТАПЫ

Гладиатор бежит перпендикулярно линии G_nL_n , а затем после точки P_n он пробегает расстояние, равное n -му отрезку скирала. При такой стратегии гладиатор никогда не попадет в пасть хищнику.



Эгоцентрикс вышел на арену и поклонился в сторону императорской ложи. Клетку со львом выкатили на середину арены и раскрыли. Лев сразу бросился бежать к Эгоцентриксу, который, вскрикнув, начал метаться, стараясь бежать под прямым углом к направлению, в котором бежал лев. Как он и был обучен, лев быстро поворачивал, чтобы оставаться на одном радиусе с гладиатором. Заметив это, Эгоцентрикс еще раз повернул под прямым углом к радиальному направлению. Лев неуклонно сокращал дистанцию, но сокращалась она все медленнее и медленнее.

— Что этот дурак делает? — спросил Фастидиус.

— Понятия не имею, — ответил Барнумус. — Но лев преследует его по пятам.

Ноблина всплеснула руками:

— Ну конечно же, Эгоцентрикс бежит по скиралам, т. е. по такой спирали, которая состоит из последовательных прямолинейных отрезков, каждый из которых составляет прямой угол с радиусом. С помощью простых геометрических рассуждений можно доказать, что если лев будет оставаться на радиусе между Эгоцентриксом и центром арены, он не сможет поймать гладиатора, пока тот бежит по любому сегменту. Следовательно, он не поймает его вообще никогда, хотя сможет приблизиться на бесконечно малое расстояние.

— Но если он будет бежать по раскручивающейся, э-э... спирали, то рано или поздно наткнется на стену, — возразил Фастидиус.

— Не обязательно, — утверждала Ноблина.

— Если радиальная компонента движения покрывает все меньшие и меньшие расстояния, то стенка так никогда и не будет достигнута. Я имею в виду ряд, такой, например, как

$$1 + 1/2 + 1/4 + 1/8 + \dots,$$

сумма которого никогда не превышает 2, какое бы количество членов последовательности мы к нему ни прибавляли.

— Но тогда, разумеется, — сказал Фастидиус, — его движение по окружности арены также будет иметь некоторый предел, так что лев вскоре должен будет поровняться с ним.

— Боюсь, что нет, — сказала Ноблина.

— Если длина n -го сегмента его пути пропорциональна, скажем, корню четвертой степени из куба обратной величины n , то несложные расчеты показывают, что радиальная дистанция остается ограниченной, в то время как перемещение в круговом на-

правлении может превзойти сколь угодно большую величину. К сожалению, Эгоцентрикс может бесконечно следовать этой траектории, никогда не достигая стены и не будучи пойманным львом.

В это время посыльный тронул Барнумуса за плечо:

— Император желает поговорить с вами.

Барнумус ушел с посыльным и вернулся через несколько минут очень побледневшим:

— Ноблина, ты должна помочь мне. Теперь мне придется растренировать льва, так чтобы он следовал своим собственным инстинктам. И что еще хуже, император хочет, чтобы на следующей неделе я сам вышел на арену!

— Жаль, что ты бегаешь точно с такой же скоростью, как и лев, — сказала Ноблина.

— Такова воля бессмертных богов. Я знал, что мне надо было больше жертвовать весталкам... Пожалуйста, Ноблина.

— Ну ладно, ты больше не сможешь бежать по скиралам, потому что теперь лев будет срезать углы. Но, может быть, нам удастся кое-что придумать...

Через неделю толпы римлян собрались в амфитеатре, чтобы наблюдать, как Барнумус будет сражаться со львом. Фастидиус и Ноблина были приглашены в императорскую ложу.

— Мне кажется, я получу большое удовольствие, — сказал император Скандалус.

— Барнумус Бейлус, конечно, обеспечит львиную долю зрелищности, — ответил Фастидиус с усмешкой.

Зверя выпустили. Барнумус пустился бежать под прямым углом к линии, соединявшей его со львом. Лев бросился прямо к нему, отказавшись от своей неэффективной радиальной тактики и направляясь приблизительно в ту точку, куда, по его мнению, должен был прибежать Барнумус. Барнумус, не обращая внимания на маневры льва, внезапно изменил направление, снова под прямым углом к линии, соединявшей его со львом.

— Он не сможет следовать долго этой тактике, — сказал Скандалус.

— Барнумусу придется остановиться и вступить в бой, когда он поймет, что лев неизбежно его поймает.

Ноблина согласно кивнула, но ее тайные мысли противоречили выражению лица. Она обучила Барнумуса новой стратегии, позволявшей ему все время удерживать льва на расстоянии. Она видела, что он в точности следует ее рецепту (см. рисунок в рамке). Вначале он предполагал, что лев будет все время оставаться на одном с

ним радиусе, и поэтому, подражая методу Эгоцентрикса, построил в уме его спираль. Но, увидев, что лев больше не придерживается радиальной тактики, он изменил свои маневры, учитывая действительное положение льва.

Он начал двигаться под прямым углом к линии, соединявшей его со львом. В этом направлении он бежал до тех пор, пока его путь не пересек радиуса, параллельного этой линии. Оттуда он продолжал двигаться в том же направлении на расстоянии, равном первому сегменту скирала. Затем он оценил положение льва и опять побегал под прямым углом к линии, соединявшей его со львом. Затем он пересек параллельный радиус и пробежал за него на расстояние, равное второму сегменту скирала. И в дальнейшем все время рассчитывал свои перемещения в той же манере.

Перед боем Ноблина доказала, что эта стратегия должна сработать. Лев не мог поймать Барнумуса, пока он бежал по любому из этих отрезков. Более того, его путь все время находился во внутренней части арены и полная длина пути могла превысить

любую сколь угодно большую величину.

После того как все было кончено, Барнумус подошел к Ноблине и пожал ей руку.

— Твоя стратегия сработала, как волшебное заклинание.

Подошел Фастидиус:

— А-а, звезда нашего представления! Твои действия так понравились императору, что он велел тебе повторить бой на следующей неделе.

— Я предпочел бы сойти с арены, что называется, в зените славы...

— На этот раз против двух львов.

Фастидиус развернулся и ушел. Барнумус умоляюще посмотрел на Ноблину.

— Боюсь, что против двух львов у тебя никаких шансов, — сказала Ноблина, — если только император не перестроит арену, добавив к ней третье измерение и превратив ее, таким образом, в сферу. Можно доказать, что n львов, бегущих с той же скоростью, что и гладиатор, всегда сумеют поймать его в n -мерной сфере, чего не смогут сделать $n-1$ львов, если гладиатор выберет правильную тактику. Может быть, мне удастся уговорить

императора расположить на арене несколько препятствий, за которыми ты мог бы укрыться.

— А это поможет? — спросил Барнумус.

— Спорный вопрос. Один лев не сможет поймать тебя при наличии препятствия: ты просто сманеврируешь так, чтобы оно оказалось между вами, и будешь удерживать это положение. Но остается открытым вопрос, сможет ли гладиатор неопределенно долго убежать от двух львов, если на арене установлено несколько препятствий. Ты должен приложить все силы к тому, чтобы найти решение, Барнумус. Если позволит Гера, тебе, может быть, удастся выжить.

— Но я совершенно не знаю геометрии! — взвыл в отчаянии Барнумус.

— Ты должен был понимать, что когда-нибудь она тебе пригодится, — укоризненно заметила Ноблина.

— С чего же я мог прийти к этой дурацкой мысли?

— А с того, Барнумус, что геометрия откроет тебе все, что нужно знать, для того чтобы управиться со множеством львов.

Наука и общество

Досадные вихри

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ сверхпроводники не всегда проявляют превосходные характеристики. Действительно, новые керамические материалы не оказывают сопротивления электрическому току, если они охлаждены до температуры 77 К — только физик может считать такую температуру высокой. Однако сверхпроводимость исчезает, если через материал пропустить значительный по величине электрический ток или поместить его в сильное магнитное поле. До тех пор пока ученые не найдут способов решить эти проблемы, можно только мечтать о применении этих материалов для изготовления сверхпроводящих магнитов для поездов на магнитной подушке.

Прежде всего необходимо понять, почему присутствие магнитного поля вызывает исчезновение сверхпроводимости в материале. Теория, объясняющая это явление, недавно получи-

ла экспериментальное подтверждение в работах, выполненных двумя конкурирующими группами физиков в Исследовательском центре им. Томаса Дж. Уотсона IBM и в Научно-исследовательском институте Bell Laboratories фирмы AT&T. «Это фантастически интересная область физики, — говорит Д. Бишоп из Bell Laboratories. — Имеется большая вероятность того, что теория приведет к созданию соответствующей технологии».

В 1988 г. Бишоп предположил, что в высокотемпературных сверхпроводниках могут образовываться «взрывы» электрического тока, известные как вихри магнитного потока, и в зависимости от температуры материала эти вихри тока могут «выстраиваться» в различных конфигурациях. Вскоре после этого М. Фишер из фирмы IBM, его брат Д. Фишер из Гарвардского университета и Д. Хьюс из Bell Laboratories предложили теорию, описывающую взаимодействие этих вихрей друг с другом и с не-

однородностями материала. В 1989 г. их коллега Р. Кох из фирмы IBM экспериментально подтвердил эту теорию, однако несогласные с этой теорией ученые уверяли, что результаты экспериментов Коха можно объяснить и при помощи обычных теорий. В прошлом году Бишоп и его коллега П. Гаммель из фирмы AT&T представили доказательства, подтверждающие результаты работы Фишера с его соавторами и исключают альтернативные теории.

Физикам давно известно, что если сверхпроводник охладить до температуры, близкой к абсолютному нулю, то он экранирует себя от магнитных полей. Такое экранирование возникает вследствие того, что магнитные поля наводят электрические токи на поверхности сверхпроводника, гасящие поля во внутренней области материала. При комнатной температуре магнитные поля могут проникнуть в толщу сверхпроводника и материал оказывает сопротивление электрическому току. При некоторой

температуре в диапазоне между комнатной и температурой абсолютного нуля некоторые материалы, в том числе и все высокотемпературные проводники, не полностью экранируют магнитное поле, но одновременно оказывают сопротивление проникновению поля в материал.

По мере того как магнитное поле проникает внутрь сверхпроводника, оно порождает вихри электрического тока, напоминающие водовороты, возникающие при стекании воды из некоторой емкости в трубу. Такие вихри в сверхпроводниках простираются от одной поверхности материала до противоположной поверхности. Магнитное поле, а точнее, магнитный поток, может войти в материал через такие вихри, но остальные области сверхпроводника остаются экранированными от магнитного поля. Количество токовых вихрей внутри сверхпроводника прямо связано с напряженностью магнитного поля.

Если высокотемпературный сверхпроводник охлаждать в присутствии магнитного поля, в нем образуются вихри, которые свободно перемещаются внутри материала. Поскольку при таком движении вихрей рассеивается энергия, материал проявляет сопротивление электрическому току. Однако некоторые из вихрей «прилипают», или «приковываются», к де-

фектам и неоднородностям материала и прекращают свое движение. Такой эффект известен под названием «вмораживания» (захвата) магнитного потока.

Свободные вихри взаимодействуют с замороженными вихрями и друг с другом. Если температура материала падает до некоторого критического значения, вихри «замораживаются» в конфигурации, в которой нет никакого видимого порядка. Фишер с соавторами предположили, что вихри в конечном счете застывают в таком расположении, которое минимизирует энергию взаимодействия вихрей в материале. Фишер называет такую конфигурацию вихревым стеклом, поскольку это неупорядоченное расположение токовых вихрей напоминает неупорядоченное расположение атомов в обычном стекле.

После образования вихревого стекла электрическое сопротивление материала падает до нуля. Согласно теории, материал находится в сверхпроводящем состоянии до тех пор, пока вихревое стекло стабильно. Но стекло может «растопиться», если повысить температуру материала или усилить напряженность магнитного поля. Очевидно, что пропускаемый через сверхпроводник большой ток создает магнитное поле, разрушающее «стеклянную» структуру. «Обыч-

но неоднородности и дефекты рассматриваются физиками как досадные помехи, поскольку они усложняют понимание явлений, — объясняет Фишер. — Однако в нашем случае единственной причиной, приводящей к существованию сверхпроводящей фазы в присутствии магнитного поля, является наличие в материале неоднородностей».

Для проверки теории вихревого стекла Кох, Бишоп, Гаммель и их сотрудники изучили зависимость электрического сопротивления сверхпроводников от изменения температуры материала и напряженности магнитного поля. Ученые выполнили такие эксперименты со сверхпроводящей керамикой на основе соединения иттрий-барий-2-медь-3-кислород-7 и с некоторыми другими высокотемпературными сверхпроводниками. Теория вихревого стекла хорошо объяснила результаты их экспериментов, в то время как альтернативные теории не могут дать удовлетворительного объяснения.

Ученые из фирмы AT&T также обнаружили, что узор вихрей, возникающий в материале при низких температурах, хорошо согласуется с теорией. Они помещали сверхпроводящий материал в магнитное поле и посыпали поверхность сверхпроводника крошечными магнитными частицами. Частицы притягивались к вершинам вихрей и накапливались там. Затем исследователи выключали магнитное поле, разогревали материал до комнатной температуры и наблюдали узор частиц с помощью электронного микроскопа. Таким образом они могли увидеть расположение ви-

хрей на поверхности сверхпроводника.

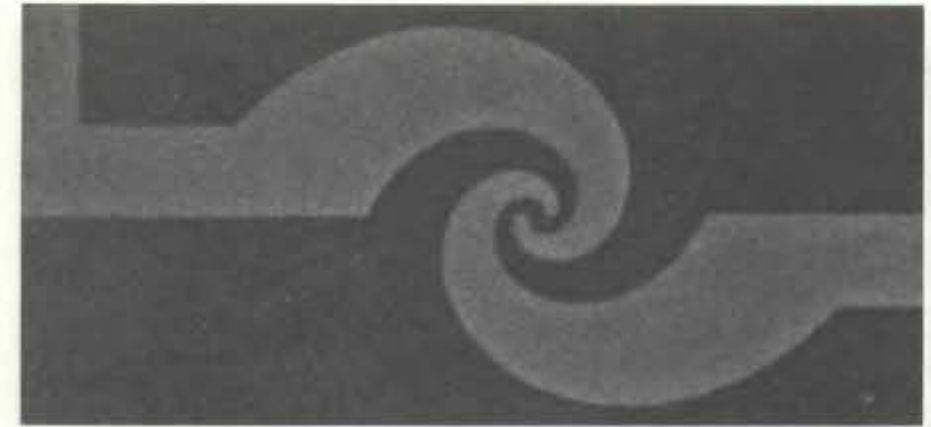
Но смогут ли ученые создать вихревое стекло, способное противостоять как высоким температурам, так и сильному магнитному полю? Ключевым моментом в решении этой проблемы является введение в материал сверхпроводника дефектов и неоднородностей определенного типа. К сожалению, идеи Фишера не позволяют предсказать, неоднородности какого типа дадут наилучшие результаты. «По-видимому, вихревое стекло будет «крепким орешком» для ученых», — досадует Бишоп.

Рассел Рутен

Настраиваясь на тепловые сигналы

ПРИ создании причудливых изображений в тепловом излучении обычно используются инфракрасные детекторы, изготовленные из полупроводниковых материалов (см. ст.: Джерри Силверман, Джонатан М. Муни, Фриман Д. Шеперд, «Инфракрасные видеокамеры», «В мире науки», 1992, № 5). Однако чувствительность таких детекторов ограничена.

Исследователи из Национального института стандартов и технологий (НИСТ) в Боулдере (шт. Колорадо) полагают, что могут значительно улучшить чувствительность инфракрасных детекторов путем изменения их конструкции. В основе создаваемой ими системы лежат два необычных компонента: детекторы из низкотемпературных сверхпроводников из



ниобия и спиральная антенна размером не больше песчинки.

По заявлению исследователей эти новые детекторы смогут обеспечить настройку в широком диапазоне инфракрасных волн, во многом сходную с тем, как производится выбор нужных частот в радиосвязи. Более того, они надеются, что настраиваемые устройства создадут новое поколение датчиков для анализа загрязнений атмосферы и исследования состава галактических объектов посредством обнаружения характерных излучений.

Разработкой таких датчиков последние два года занимались физики НИСТ Дональд Макдоналд, Эрих Гроссман и Жозеф Соважо. И хотя сверхпроводники давно «подавали надежду», что они окажутся чувствительными к инфракрасному излучению, по выражению Макдоналда, «никто еще не сделал практически используемого инфракрасного детектора».

Исследователи знали, что сверхпроводящие детекторы малого размера должны обладать высокой чувствительностью к инфракрасному излучению, особенно если размер детектора будет меньше длины волны принимаемого излучения, скажем, около 1 мкм. (В этом случае падающие фотоны вызовут наибольшие возмущения в электронной структуре сверхпроводника.) Однако при таком размере детектора ухудшается его способность поглощать излучение.

В радиоприемниках для приема сигналов с длинами волн, намного превышающих размеры детекторных устройств, используются антенны. Макдоналд и его коллеги сконструировали спиральную антенну шириной около 60 мкм. Для нанесения золотого рисунка на поверхность ниобия они воспользовались обычными методами литографии.

Золотая антенна передает 50% мощности принимаемого сигнала детектору из ниобия. Такая эффективность сравнима с эффективностью

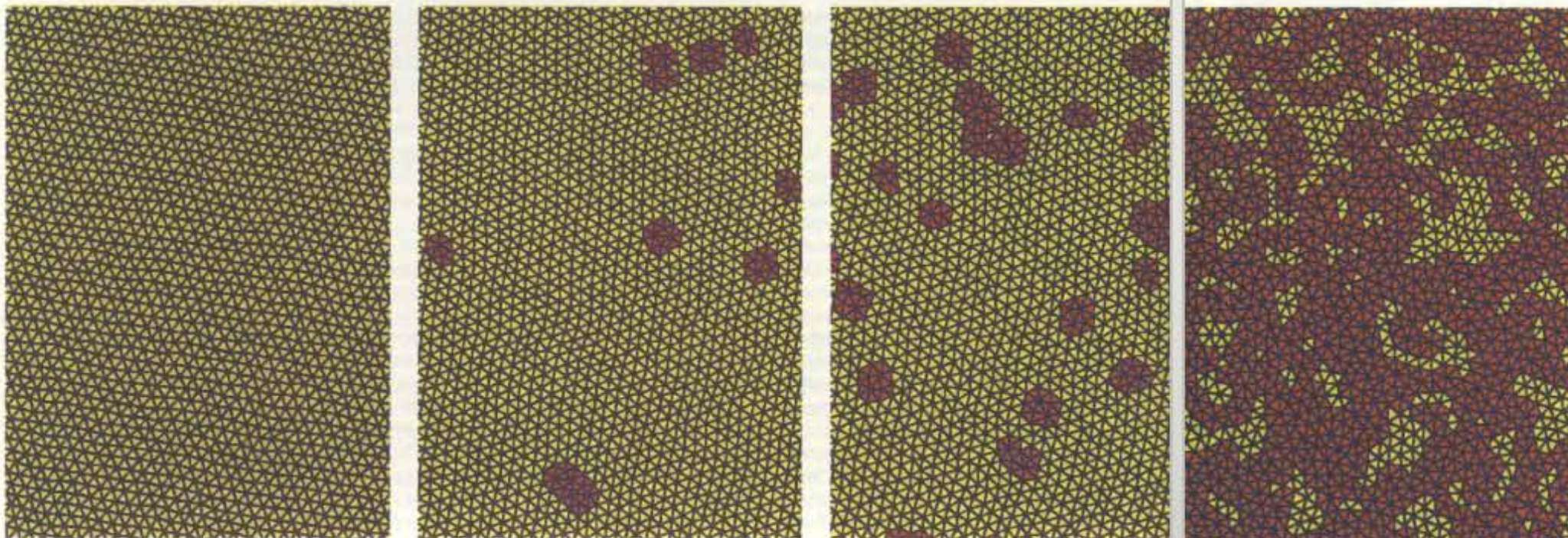
высококачественной радиоантенны. Сверхпроводник реагирует на сигналы в достаточно большом диапазоне длин волн: от 5 до 30 мкм. Макдоналд считает, что если использовать детектор в комбинации с «самым чувствительным усилителем» — сверхпроводящим квантовым интерференционным датчиком, то такая система будет намного более чувствительной, чем существующие инфракрасные детекторы.

Повышенная чувствительность, по мнению Макдоналда, означает, что эти устройства могут оказаться особенно удобными для спектральных исследований атмосферы и галактических объектов. «Каждая молекула имеет одну, а часто и больше собственных частот», — указывает он. Для обнаружения молекулярных примесей в атмосфере исследователи намереваются дополнить детектор-антенну генератором и подсоединить эту систему к телескопу. Изменяя частоту генератора до тех пор, пока он не окажется синхронизированным с приходящим излучением, они смогут различать молекулы определенных веществ.

Исследователи еще далеки от завершения создания системы, основу которой будет составлять матрица из нескольких сотен антенн и сверхпроводящих детекторов. К концу года они надеются накопить достаточное количество экспериментальных данных, касающихся чувствительности и полосы рабочих частот разрабатываемых устройств. Однако, как говорят исследователи, природа дает им некоторый повод для оптимизма. Насекомые тоже используют спиральные антенны для приема инфракрасного излучения. «Вы спросите, — говорит Макдоналд, — так ли важно обнаружение инфракрасного излучения?» И отвечает: «Да, важно, поскольку к этому привела биологическая эволюция».

Элизабет Коркоран

УЗОР ИЗ ТРЕУГОЛЬНИКОВ (слева) является доказательством существования вихревого стекла. Каждая вершина представляет положение вихря магнитного потока на поверхности сверхпроводника. Образованный этими вершинами узор является непериодическим и напоминает расположение молекул в обычном стекле. Вихревое стекло «тает» при условии наложенного магнитного поля (картинки слева направо). Красные треугольники отмечают нерегулярности в узоре.



Цвет и форма; машина и управление; природные катастрофы и стихийные бедствия



ФИЛИП MORRISON

Брент Берлин, Пол Кей. Основные цветные термины. Их универсальность и эволюция

BASIC COLOR TERMS: THEIR UNIVERSALITY AND EVOLUTION, by Brent Berlin and Paul Kay. Paperback edition, with bound color chart. University of California Press, 1991 (\$ 12.95)

Коллин Ренфру. Кикладский дух Шедевры из коллекции Николаса Гуландриса

THE CYCLADIC SPIRIT: MASTERPIECES FROM THE NICHOLAS P. GOULANDRIS COLLECTION, by Colin Renfrew. Photographs by John Bigelow Taylor. Harry N. Abrams, 1991 (\$ 49.50)

ВМЕСТЕ две эти книги демонстрируют нам удивительную неизменность выражения зрительного восприятия человеком окружающего мира.

Еще в 1969 г. антрополог Берлин и лингвист Кей из Беркли впервые опубликовали свои неопровержимые экспериментальные результаты. Взгляните на это исследование с точки зрения своего собственного восприятия: экспериментаторы впервые дали словесные определения для всех основных цветов, которые только может представить человек. Основные термины — элементарные; они включают в себя широко распространенные названия цветов, такие, как «черный», «белый», «зеленый» и «красный», значение которых нельзя вывести просто из значений составляющих цветов так, например, как для термина «сине-зеленый». «Цвет лимона» — производный, не такой, как «желтый»; «малиновый» обязательно включает в общее понятие «красный»; определение «такого же цвета, как автомобиль моей тети» имеет личностный характер. Слова, заимствованные в последние годы из иностранных языков (такие, как «шартрез» — зеленовато-желтый цвет), и все термины, представляющие собой названия предметов, внушают некоторое недоверие с точки зрения их пра-

вомерности. «Оранжевый» (в английском языке означающий апельсин — *Перев.*) преодолевает этот барьер только потому, что он хорошо удовлетворяет всем остальным критериям.)

Теперь подберем термины по порядку цветных образцов. Эти 300 проверочных цветов превышают по своему количеству число оттенков в радуге и представляют собой все естественные цвета, которые можно обнаружить на земной поверхности, — полный диапазон от черного до белого наряду с коричневым, серым, фиолетовым — расположенные наподобие плоской меркаторской карты воображаемого цветового твердого тела. Представим себе, что это абстрактное твердое тело имеет два полюса — белый и черный. Яркость оттенков плавно меняется вдоль меридианов от одного полюса к другому; различные тона «опоясывают» тело по параллелям, переходя от красного к желтому и зеленому, синему, фиолетовому и возвращаясь опять к красному. Не составляет труда отметить на этой плоской карте все цветные зоны, которые можно включить в каждое из названий цвета, а также подобрать цвет, наилучшим образом соответствующий каждому термину и являющийся «фокусом» для всех оттенков, охватываемых этим цветовым термином.

В исследовании приняли участие представители различных национальностей, говорящие на родном языке и проживающие в районе залива Сан-Франциско, по несколько, а иногда и по одному человеку на каждый из 20 языков — от арабского и болгарского до урду и вьетнамского. Полученные «фокусы» оказались собранными в дискретные области, при этом большая часть карты не была заполнена «фокусами». При повторных опытах расположение «фокуса» редко смещалось более чем на два деления. Расхождения между картами для испытуемых, говорящих на одном языке, бы-

ло таким же или немного большим, чем расхождения для говорящих на разных языках.

Цветовое восприятие не является случайным, так же как и лингвистические категории, его определяющие. Ни один из языков, «прошедших» испытание, не дал более 11 основных терминов, обозначающих цвета; это число назвали англоязычные испытуемые и говорящие еще на восьми языках. Разумеется, не во всех языках, на которых говорили испытуемые, использовались эти же самые основные цветовые категории. Из всех «проверенных» языков наименьшее число основных терминов дал один из языков коренных американских индейцев из Калифорнии; носители языка помо используют названия только для белого, черного и красного цветов.

Авторы распространили свои результаты еще на 98 языков, используя литературу по лингвистике. Оказалось, что в двух языках, на которых говорят жители горных районов Новой Гвиннии, существуют лишь два основных цветовых термина: «белый» наряду со всеми светлыми оттенками и «черный» со всеми остальными оттенками. Испытуемые из народности жалé воспринимают много оттенков основного цвета; такая цветовая детализация объясняется языковыми потребностями, присущими именно им. Если они имеют возможность постоянно сопоставлять тонкие оттенки цвета листьев», но «раскрашенных тканей»,... цветных проводков и т. д. у них нет, то им, вероятно, не стоит механически заучивать «ярлыки» для такого «грубого» перцептуального различения, как в паре «зеленый — синий», несмотря на то что с чисто психофизиологической точки зрения подобные цветовые контрасты бросаются в глаза.

Далее следует поразительная догадка. Языки можно ранжировать по ступеням, причем большее количество цветовых терминов приходится как раз на весьма сжатый «участок» языков. За языками, имеющими названия только для полярной пары цветов (т. е. «белый — черный» — *Перев.*) и относящимися к первой ступени, идут языки, в которых есть также название для красного цвета, затем — языки, в которых добавляется сначала один, а потом второй цвет из пары «зеленый — желтый», потом добавляется синий, затем — «коричневый» и далее в неупорядоченной последовательности — «фиолетовый», «розовый», «оранжевый» и «серый» до плато с вышеупомянутым числом цветов, равным 11. Из всех 2000 возможных комбинаций этих 11 цветовых терминов лишь 22 комбинации

реально встречаются в почти 100 исследованных языках. Чем больше людей в языковом сообществе, тем большую тенденцию данный язык имеет к более высоким ступеням.

Отмечаются небольшие аномалии. У жителей провинции Гуанчжоу в Китае отсутствует название для коричневого цвета, а термин «розовый» начал употребляться в этой области лишь в нашем столетии. В русском языке применяются два названия, соответствующие цвету "blue" — «синий» и «голубой», а автор этой рецензии, например, хотел бы включить «розовый» в разряд «красных» цветов (может быть, в английском языке осталось всего лишь десять с половиной основных цветов?). Все эти случаи составляют в сумме незначительные количественные исключения. Авторы книги недавно предложили провести более обширное исследование с целью изучить прямо на месте по большому числу носителей языка для каждого из 100 языков, не имеющих письменности, избегая каких бы то ни было случаев двуязычия, которые «смазали» бы картину. Есть надежда, что такая возможность будет вскоре предоставлена. Вот пример понимания единства чувственного восприятия и языка, и это понимание необходимо углублять. Эта маленькая жемчужина из россыпи наук о человеческом поведении была вновь напечатана спустя 20 лет после первой публикации без каких-либо изменений, если не считать обновленной библиографии и менее подробной цветовой диаграммы.

Первая из двух рассматриваемых здесь книг дает замечательную наглядную картину универсальности лингвистического отображения всей цветовой гаммы на «пространстве» 100 языков. Вторая же книга написана в стиле, находящемся на грани между историей и археологией, и акцентирует внимание читателя скорее не на неизменности эстетических оценок во времени, а на их повторяемости на протяжении нескольких тысячелетий.

Возьмем два описания одной скульптуры — мраморной головы почти в натуральную величину, найденной в 1891 г. на острове Аморгос. Человек, который нашел ее, дал следующее описание: «отвратительно-уродливая голова». В 1991 г. автор исследования, рассматриваемого в данном обзоре, выдающийся археолог из Кембриджского университета, говорил о голове как о «шедевре, привлекающем внимание и вызывающем восхищение как художников, так и широкой публики». «То, что некогда казалось грубым, сейчас осознается глубоким и проникновенным в сво-



МОНУМЕНТАЛЬНАЯ ФИГУРА с островов Киклады, выполненная в мраморе около 2500 г. до н. э. (Высота — 1,4 м.)

ей простоте». (Читатель может судить об этом по нескольким удачным фотографиям, приведенным в книге.)

Одна из глав воспроизводит античную среду, соответствующую времени создания скульптуры; глава написана Кристофом Думасом, археологом, который помог сформировать и каталогизировать большую Афинскую коллекцию, представленную в этом издании. Киклады — это два десятка скалистых островов и островков в Эгейском море, расположенных непосредственно у побережья Аттики и дальше — к юго-востоку, на полпути к острову Крит. Некоторые из этих островов — и среди них Милос, Дилос и Тира — хорошо известны. Любой из них по своим размерам несомненно больше виноградника. По южному прекрасные, опоясанные мо-

рем вершины холмов, главным образом из мрамора и известняка, — самые высокие точки пейзажа. Небольшие группы земледельцев и рыбаков впервые пришли сюда с материка около 5000 лет до н. э., принеся с собой ячмень и пшеницу, оливу и виноградную лозу, лесу и гарпун и привезя сюда овец и коз, чтобы с тех пор мирно и скромно жить в этих краях.

На протяжении XIX в. было найдено большинство древних островных кладбищ, и находящиеся там предметы материальной культуры были разграблены. Поэтому лишь малое число представленных здесь музейных экспонатов даны в археологическом окружении, соответствующем тому периоду. Все, что мы знаем о самых ранних поселениях, основывается в первую очередь на результатах

единственной послевоенной раскопки одной неолитической стоянки.

Эти островные жители не были полностью изолированы: изделия их рук обнаружены также в памятниках минойской культуры и на материке. Многоцветные длинные корабли, на которых они плавали без парусов, представлены здесь в виде трех точных копий из свинца и в одном, вырезанном на керамической посуде изображении. Сохранились также изделия из серебра и бронзы. Наиболее характерные для них предметы искусства, выполненные в мраморе, можно датировать «периодом процветания» в раннем бронзовом веке, скажем где-то между 2700 и 2300 гг. до н. э. Постепенно эти разбросанные по островам семейные «дома» объединялись в более крупные, хорошо укрепленные островные «центры», в каждом из которых жили до 1000—2000 человек. Уникальная скульптура «Кикладский дух», изваянная в мраморе, к 2000 г. до н. э. стала всего лишь воспоминанием. Только погребения в каменных ящиках, относящиеся к более раннему периоду, могли сохранить остатки материальной культуры древнего человека на протяжении четырех тысячелетий.

Знаменитые «канонические» кикладские формы воплощены в изящно вытянутых, гладких, обнаженных скульптурных фигурах, чаще всего женских, со сложенными руками и с заостренными ступнями. Почти все они представляют собой небольшие статуэтки, однако некоторые из них монументальны, почти в человеческий рост. Сейчас нельзя быть точно уверенным, изображают ли они божества или людей, поклоняющихся божеству, использовались ли они при жизни человека или только клались в его могилу, появились ли многочисленные повреждения и следы ремонта в процессе изготовления или в результате долгого употребления. И наконец, самый «жгучий» вопрос: в какой именно степени материал статуй — белый мрамор — был первоначально раскрашен, поскольку следы краски безошибочно указывают на то, что даже у наиболее «чистых» фигурок когда-то были раскрашены глаза, волосы и, возможно, некоторые детали платья. Автор обращается к аналогам в поздней греческой скульптуре, чтобы доказать, что первоначальная живописная раскраска не была преобладающей, а скорее вторичной, хотя и здесь нельзя быть точно уверенным. Те, кто делал эти фигуры, искали какого-то большего сходства с человеческим телом. Раскрашенные глаза были существенной частью полумагических творений их

рук, несмотря на то что, когда скульптор вырезал из камня, а потом шлифовал эту голову, она, без сомнения, не имела глаз, точно так же, как не имеет их и сейчас. (Читатель уже с удовольствием предвкушает интересное, с применением микроскопа, физическое исследование этих предметов.)

XX век открыл наши глаза, дав нам возможность заново найти очарование в простоте, «пробившейся через абстрактность форм». Стремилась ли древняя художница скалистых берегов к этой конечной простоте, которой мы так восхищаемся?

Питер Джейкеб. МЕЧТА О ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ: БРАТЯ РАЙТ И ПРОЦЕСС ИЗОБРЕТЕНИЯ

VISIONS OF A FLYING MACHINE: THE WRIGHT BROTHERS AND THE PROCESS OF INVENTION, by Peter L. Jakab. Smithsonian Institution Press, 1990 (\$ 22.50)

ВРАЗГАР своего бума незадолго до 1900 г. американская велосипедная промышленность производила свыше миллиона велосипедов в год. Ее продукция, отвечавшая современным требованиям, изготавливалась с расчетом на легкость и прочность, с использованием рам из стальных труб, приводных механизмов с цепями и звездочками и колес со спицами. В те годы в маленьком оживленном городке Дейтоне (шт. Огайо) около десяти мастерских занимались изготовлением велосипедов; одна из них принадлежала двум братьям, которым было около 30 лет, — заядлым велосипедистам, слывшим в тех местах умелыми механиками. Выходя из семьи среднего класса, начитанные, сведущие в математике, они были настоящими конструкторами по своим способностям и склонностям, безразличные к дипломам и степеням (оба они были исключены из средней школы, хотя учились прекрасно).

В конце весны 1899 г. Уилбер Райт (он был старше на 4 года) послал в Смитсоновский институт заказ на издание, посвященные воздухоплаванию, которые могли бы способствовать «систематическому изучению данного предмета при подготовке к практической работе». Помощник секретаря Ричард Ратбун ответил без промедления (подтвердив тем самым добрую репутацию своей организации и свою собственную); он прислал в своем письме список из пяти книг выпуска 1890-х годов, а также четыре брошюры. Этот обмен корреспонденцией ознаменовал собой начало плодотворной деятельности братьев

по конструированию летательных аппаратов, хотя их интерес к воздухоплаванию возник еще за 2 года до этого.

Их энергия приведет потом, через пять с половиной лет, непосредственно к созданию первого в мире, реально осуществленного на практике летательного аппарата. Уилбер оторвется от земли на третьей из оснащенных двигателем машин 5 октября 1905 г. и, пролетая над пастбищем вблизи Дейтона, сделал 30 кругов и преодолел 25 миль со средней скоростью 38 миль в час, приземлится, когда у него кончится топливо. Человек на аэроплане догонит птиц.

Краткая, ясная, «нетехническая» книга молодого историка, сотрудника Национального музея воздухоплавания и космонавтики при Смитсоновском институте фокусирует внимание читателя на изобретательской деятельности братьев Райт на протяжении этих пяти плодотворных лет. Эта книга — не о жизни братьев; авторитетная биография «Дети священника: жизнь Уилбера и Орвилла Райтов» была опубликована Томом Краучем в 1989 г. Исследование Джейкеба построено на объемистых документальных записках, письмах, дневниках, газетах и фотографиях (братья, разумеется, имели «темную комнату» для фоторабот), на воссоздании их аэродинамических приборов и экспериментов, а также на полетах автора в Китти-Хок с использованием полномасштабных моделей планеров райтовской конструкции. Д-р Джейкеб вспоминает: «Парение на спуске с Большого холма на планере, построенном в 1902 г., порождает чувство удовлетворения, неизъяснимое словами... Тут и явственное ощущение власти и контроля над машиной, и еще одновременно отчетливое стремление уважать машину за те силы, которые она обуздывает... Если просто просиживать дома над... документальными источниками, можно потерять чувственно-эмоциональные аспекты раскрытия секретов полета». То, что братья Райт смогли выразить лишь в скупых записях, они испытали на собственном опыте.

Интуиция всегда является составной частью творческой деятельности, и братья Райт не были исключением. Но их история — это рассказ о все более углубляющемся рациональном постижении абстрактных понятий аэродинамики, даваемых в графическом, даже визуальном выражении. Они изучали новейшую техническую литературу, пригласили более старшего по возрасту инженера (он оказался не очень искусным конструктором летательных аппаратов, зато

ценным другом) и использовали свои первые планеры в качестве воздушных змеев для измерения аэродинамических сил.

Сделанные ими фотографии свидетельствуют о растущем понимании ими существа исследуемых явлений. Для испытаний они построили небольшую аэродинамическую трубу. Ее вентилятор вначале приводился в действие кручением велосипедных педалей. Затем, когда братья поняли, что воздушный поток, образуемый педальным приводом, ненадежен, они заменили его одноцилиндровым двигателем. Фотографии их устройств подтверждают полученные ими превосходные данные. Они разработали пропеллер, исходя из весьма оригинальной догадки о том, что его можно рассматривать как вращающееся крыло. (Несколько страниц, посвященных набору высоты и аэродинамическому сопротивлению, написанных на более «техническом» языке, могли бы лучше объяснить характер тех ошибок, которые пришлось преодолеть братьям.)

Их опыт конструирования велосипедов был, без сомнения, важен. Планеры братьев имели хитроумную сквозную ферму с проволочными стяжками; конструкция силового привода была взята из их лучшей велосипедной модели. Они знали о воздушном сопротивлении, воздействующем на велосипедиста, и управляли своими планерами лежа лицом вниз с риском получить травму. Они знали также о том, что движение велосипедиста неустойчиво и требует от седока постоянных корректировок. Методом проб и ошибок, создавая средства регулирования аэродинамических сил для каждой новой конструкции, они достигли своей цели — управляемого полета.

С самого начала братья понимали, что их задача состоит в создании всей системы летательного аппарата, т. е. конструкции, средств управления и тяги. В той системе, которую они разработали и которая явилась образцом их пятилетнего созидательного инженерного творчества, двигатель отвечал требованиям тогдашнего уровня техники, но не более. Смерть Уилбера от брюшного тифа в 1912 г. поставила точку на том влиянии, которое братья Райт оказали на современное им авиационное. Не прибегая к критике, вспомним, что широкомащтабное развитие на международном уровне в области конструкторских и аналитических разработок вскоре опередило пионеров воздухоплавания на целый порядок величин — и в отношении конструкции, и в отношении управления, и в отношении тяги — по всем этим трем показателям.

Эдвард Брайант. ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ
NATURAL HAZARDS, by Edward Bryant. Cambridge University Press, 1991 (\$ 79.50)

КАК предлагалось ранее Фрэнком Прессом, президентом Национальной академии наук США, 90-е годы нашего века объявлены ООН Международным десятилетием уменьшения последствий природных катастроф. Природные катастрофы — это грандиозные несчастные случаи в природе, редкие и неотвратимые, а стихийные бедствия — их ужасные последствия. Подготовка к ним, инструктаж (обучение поведению) и предупреждение о них (оповещение), даже противодействие им, если не предотвращение, — все это более и более становится доступным как науке, так и правительствам стран, если они только будут готовы действовать. Эта книга, в которой собраны довольно мрачные «чудеса», представляет собой интересный и захватывающий обзор широчайшего диапазона природных катастроф и их последствий. В ней не на узкоспециальном, но на достаточно серьезном уровне рассматриваются как физические процессы, так и социальные коллизии с приложением в большом количестве карт, диаграмм, таблиц и графиков и, кроме того, даются также некоторые формулы. Книга может служить прекрасным вводным курсом для студентов, а также хорошим справочным материалом для любого читателя.

В двенадцати насыщенных и увлекательных главах описывается, что думают люди относительно того, как возникают подобные природные катастрофы, и представлены вполне реальные модели катастроф — с «историей развития» и с замечательными конкретными примерами, бросающими вызов общепринятым понятиям и часто раздвигающими рамки здравого смысла. Несколько других глав посвящены оценке реакции людей на всех уровнях — от трогательных попыток сопротивления индивидуалов до международных организаций помощи пострадавшим, — при этом не забыт и рок-музыкант Боб Гелдоф с его успешной кампанией во всемирном масштабе против голода, вызванного засухой. Парниковый эффект и другие медленно развивающиеся изменения в книге не рассматриваются; автор с полным основанием считает, что многие из приведенных здесь случаев иногда слишком поспешно толкуются как признаки долговременных тенденций, в то время как на самом деле они объясняются

изменчивостью, присущей данному явлению.

Климатические катастрофы оказывают наиболее широким воздействием, причем самой опустошительной из них является засуха, поскольку мы зависим от зеленых растений. Наводнения и тропические ураганы пока зывают еще одно зловещее лицо небесных сил и собирают наиболее обильную дань смерти. Земля занимает второе место по числу человеческих жертв: это землетрясения, сопровождаемые более локализованным неистовством вулканов. Далее идут другие 30 видов катастроф: пожары и льды, град и молнии, обвалы и сели.

Не будет большой пользы, если делать «обзор обзора»; рассмотрим лучше последовательно наиболее яркие примеры из каждой группы. *Земля.* Толчок во время землетрясения 1970 г. сбросил ледяную шапку с одной из гор в Перу, которая низверглась по высокогорной долине, падая как бы в облаке смазки из захватываемого ею воздуха. Она увлекла с собой столько воды и гравия, что превратилась под конец в ударную волну грязи высотой 80 м, которая всего за 4 мин поглотила два города, похоронив их под собой. *Воздух.* В 1869 г. ураган, двигавшийся как раз с такой скоростью, что понижение в нем барометрического давления подняло массу воды, «настроенной» на резонанс с приливной волной, достиг залива Фанди. Поток приливной волны удвоился, вздыбив стену морской воды высотой в 30 м. *Огонь.* Полузасушливые и пустынные регионы Австралии вдруг оделись необычным покровом травы и густого кустарника. Следующий год выдался сухим; распространившиеся по обширным пространствам пожары выжгли шестую часть континента — миллион квадратных километров — при небольшом числе жертв. (Это самая большая из когда-либо сгоревших территорий после глобальных пожаров, вызванных соударением Земли с небесным телом на границе мелового и третичного периодов.) *Вода.* На протяжении последних 20 столетий Желтая река, в настоящее время «подвешенная» на 20 м выше уровня поймы на «постели» из собственного ила, разлилась при впадении в море не менее чем на 10 рукавов. Ее переменчивое устье «расслоилось» на протяжении более чем 500 миль, т. е. почти на всем пути от Шанхая до Пекина. Изменения в расположении рукавов в дельте Миссисипи за последние 6000 лет не оставляют сомнений в том, что американская великая илистая река следует в том же «направлении»; однажды она поки-

нет Новый Орлеан, сделав его «сухопутным», и отыщет дорогу к соленому морю через обширную «заброшенную» дельту в 100 милях к западу.

Героический труд профессора Брайанта по сбору разнообразных фактов и данных вылился в превосходное учебное пособие. Лишь немно-

гие явные ошибки можно обнаружить в этом томе, который читается с интересом и полон здравого смысла, хотя критически настроенному читателю и захочется время от времени свериться с более надежным источником.

Наука и общество

Новые биополимеры

В КОНЦЕ 60-х годов ученые, работающие в оборонной промышленности США, пришли к выводу, что паутиный шелк является одновременно столь прочным и эластичным, что мог бы обеспечить превосходную защиту от ударных воздействий. Однако даже такая столь богатая организация, как военное ведомство, оказалась не в силах «переварить» стоимость экипировки своих войск пуленепробиваемыми одеждами, «сплетенными» из паутины.

Однако вскоре, возможно, появится альтернатива таким материалам.

Вместо того чтобы просто использовать натуральные материалы, такие, как шелк, ученые начали исследовать их физическую структуру, состав и способы получения, чтобы научиться создавать синтетические материалы, обладающие необычными свойствами. Недавно появившаяся дисциплина, изучающая так называемые биомолекулярные материалы, еще принесет свои плоды. Однако уже сейчас новые полимеры, созданные на основе белковых структур, подогревают энтузиазм исследователей.

«Потенциальные возможности новых технологий велики», — заявляет Стивен Бруэр, возглавляющий отдел

химии биопродуктов компании Monsanto в Сент-Луисе. «Наши биопродукты пока еще далеки от совершенства, — добавляет он, — но в процессе исследований мы собираемся изучить большое количество белковых химических веществ, что позволит нам создать новые материалы».

Такие материалы — великолепный пример «скрещивания» различных научных дисциплин. За несколько десятилетий химии, занимающиеся полимерами, создали ряд соединений, комбинируя различные мономерные — химические «строительные блоки». Но даже наиболее жестко контролируемый производственный процесс дает в результате смесь полимерных цепей разной длины, что влияет на свойства конечного продукта.

С другой стороны, специалисты в области генной инженерии разрабатывали методы точного копирования существующих белков. Они достигли этой цели, внедряя гены в микроорганизмы.

Это столь прецизионное «производство» было предметом зависти занимающихся полимерами химиков. «Химия полимеров делала успехи всякий раз, как только удавалось усилить контроль над полимерными цепями, — говорит Дейвид Тиррелл, директор лаборатории материаловедения в Массачусетском университете в Амхерсте. — Абсолютный контроль за процессами в генной инженерии обещает в результате открыть двери в неизведанное еще царство материалов».

В то же время на специалистов в области генной инженерии сильное впечатление произвел метод построения химиками молекулы «фрагмент за фрагментом». Белки, как и полимеры, строятся из правильных последовательностей — в данном случае комбинаций из 20 природных аминокислот. «Поэтому мы решили, что если сумеем синтезировать искусственные белки, формируя определенным образом их свойства, то получим новый класс материалов», — объясняет Джозеф Каппелло, руководитель научных исследований по белковой инженерии в компании Protein Polymer Technologies в Сан-Диего.

Действуя согласно этому плану, Protein Polymer в марте 1991 г. внедрила в производство пронекин-Ф. Компания, которая только в январе впервые вышла на фондовую биржу, в настоящее время интенсивно разрабатывает серию вторичных продуктов. Пронекин-Ф может быть превращен в тонкую прозрачную пленку, или покрытие, на которой могут выращиваться клетки. Построенный на основе 8 аминокислот, расположен-

ных в строгой последовательности, полимер включает в себя рецепторы, благодаря которым он может связываться с пластиком (в частности, с поверхностью чашек Петри), способен выдерживать весьма высокие температуры и сохраняет при этом активность в течение нескольких месяцев. Следующим в списке продуктов, стоящих «на очереди», станет, вероятно, покрытие для тканей, которое в ближайшем будущем уже можно будет использовать в изготовлении высококачественной спортивной обуви. По мнению Каппелло, белковое покрытие должно придать искусственным тканям шелковистую текстуру и улучшить их способность «дышать».

Подобные коммерческие замыслы могут показаться весьма скромным началом. Большинство экспертов считают, что производство этих первых материалов, вызывающих интерес как полимеры на белковой основе, будет весьма дорогостоящим — сотни долларов за фунт. Это очень высокая цена для любых видов применения, за исключением тех, где без новых материалов просто не обойтись.

Уже через несколько лет, как предсказывают исследователи, разработанные ими материалы могут «прорваться» на прибыльный рынок биологически совместимых продуктов. Основной целью является создание белков, которые не будут вызывать иммунологических реакций. Если ученые сумеют обеспечить эти специфические функции, использование таких полимеров может значительно расширяться.

Будущие продукты компании Protein Polymer должны «конструироваться» путем включения различных комбинаций из 20 природных аминокислот в четыре типовых рамки, разработанные исследователями и похожие на природные белковые структуры, а именно шелк, эластин (имеющиеся в коже и других эластичных тканях), коллаген (волоконный компонент кожи и соединительной ткани) и кератин (входящий в состав ногтей и волос). Структуры, созданные в компании, не обязательно должны полностью отражать соответствующие естественные модели. «Никто не понимает суть сворачивания белка, — замечает Каппелло, — но чтобы что-то использовать, не обязательно это что-то полностью понимать».

Другие исследователи вначале скрупулезно определяют свойства природных белков, а затем занимаются разработкой и усовершенствованием «вариаций на тему». Например, Дэн Арри, директор лаборатории молекулярной биофизики в Алабамском университете в Бирмингеме, поставил 20 лет изучения гибкого и упругого белка эластина. К настоящему времени он разработал серию эластиноподобных полипептидов на основе 5 аминокислот. Цепи этих веществ естественным образом сворачиваются (или сокращаются) в ответ на повышение температуры. Кроме того, Арри «заставил» их реагировать на изменения концентрации химических веществ и давления.

Потенциальные области применения таких материалов необычайно

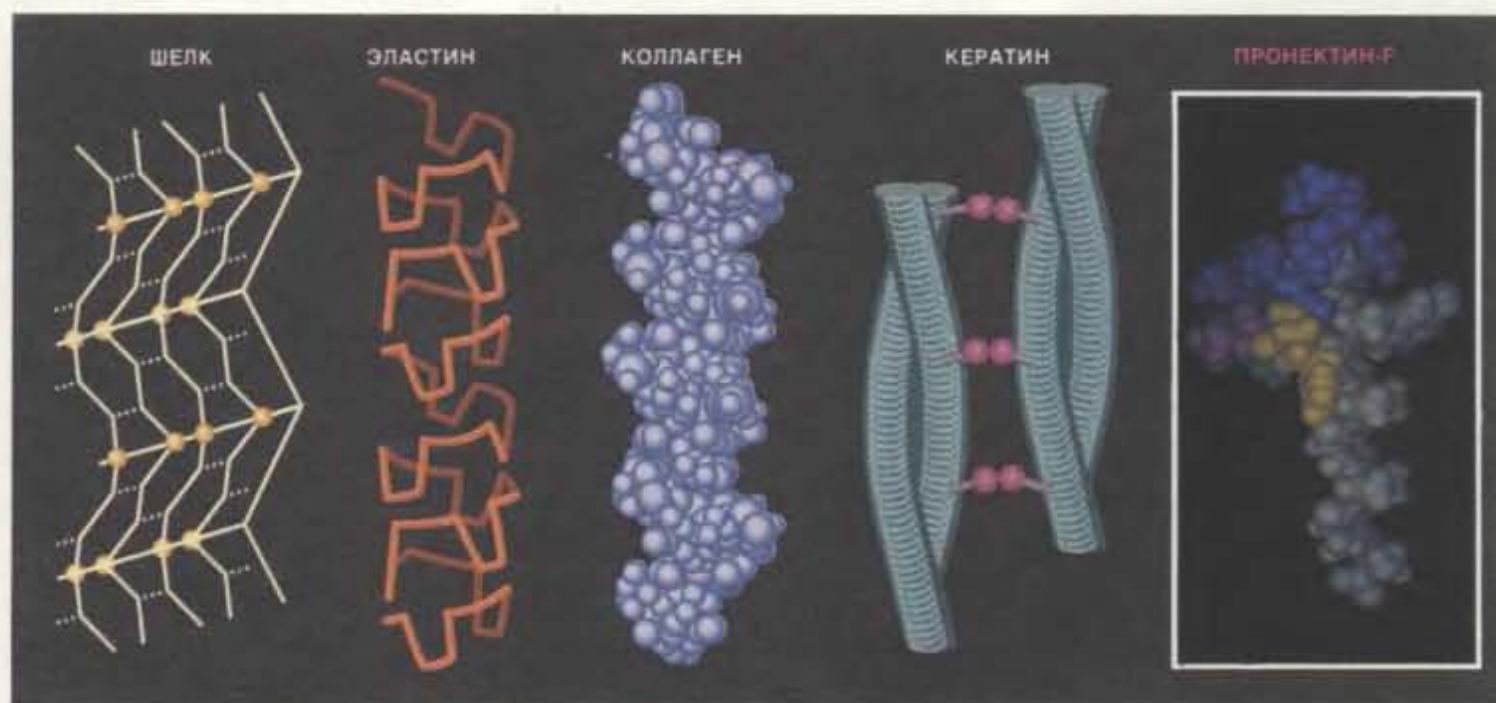
широки, особенно если материалы можно будет «программировать» на расщепление. Например, при операциях на брюшной полости хирург сначала должен сделать разрез, а в конце операции наложить швы по отдельности на каждый из пяти слоев тканей. Чтобы предохранить эти слои от срашивания в процессе рубцевания, врач может разъединить их, проложив между ними полимерные пластинки, которые постепенно растворятся в тканях.

Поскольку полимеры, разработанные Арри, преобразуют один вид энергии в другой (например, химическую в механическую), их также можно рассматривать как своего рода микромашины. Недавно посетивший лабораторию чиновник военно-морского ведомства предложил Арри рассмотреть использование полученных полимеров в качестве микроскопических шариков для доставки лекарств в пораженный болезнью участок тела человека. «За несколько часов я составил основу для еще одной заявки на патент», — говорит Арри посмеиваясь.

Научные группы в военном Центре научных исследований, разработок и проектирования в Нейтике (шт. Массачусетс), а также в Университете Вайоминга в настоящее время проводят исследования белковых структур, сделавших знаменитым паутиный шелк. Шелк — это «золотой стандарт», на который «равняется» каждый исследователь», — говорит Бруэр из Monsanto, сотрудничающий с военными специалистами. Например,



ПАУК *Nephila clavipes* «производит» шелк, который исследователь Дейвид Каппелло использует для изучения структуры и способа получения белка. Фото Стенли Роуина.



ЧЕТЫРЕ МОДЕЛИ БЕЛКОВЫХ СТРУКТУР, разработанные специалистами компании Protein Polymer Technologies, служат «строительными блоками» для новых синтетиче-

ских белковых полимеров, например первого продукта, произведенного этой компанией (справа в рамке).

химники, которые изобрели нейлон, пытались использовать те же химические связи, которые, как им было известно, имелись в белках, входящих в состав шелка. «Согласно предварительным данным, мы считаем, что нам удалось клонировать один из типов паутинного шелка», — говорит Дейвид Каплан, исследователь из Нейтика.

«Кроме того, весьма важно понять, как именно паук прядет волокно», — добавляет Каплан. Паук продуцирует водорастворимый белок и выпраждает его в плотное волокно, нерастворимое в воде. В отличие от этого синтетические волокна часто получают из сильных кислот при специальных режимах обработки, таких, как высокие температуры.

Коллаген и кератин также имеют своих горячих сторонников, которые исследуют все — от позвоночников морских ежей и раковин морского ушка до крысиных зубов — в надежде найти ключ к разгадке строения белков и способа кристаллизации материалов. Такие компании, как Du Pont и Allied-Signal, ведут работы по соответствующим проектам, но их сотрудники весьма неохотно вступают в обсуждение деталей этих работ.

На другом конце «поля» Тиррелл, работающий с Морилем Фурье и Томасом Мейсоном из Массачусетского университета, выбрал для себя еще более радикальное направление. Не ограничиваясь набором естественных аминокислот, эти исследователи изобретают собственные. Идя по этому пути, они пытаются, например, изобрести новый фотопроводящий полимер.

Тиррелл, кроме того, исследует, как можно использовать пластичные белки для контроля структур неорганических полимеров и кристаллов. Выращивая неорганические кристаллы (например, магнетита) вокруг полимерных цепей и затем вымывая полимеры, Тиррелл ставит целью создание из этого материала тонких острых «шипов». «Такие вытянутые структуры магнетита могут оказаться полезными в такой области, как магнитная запись», — говорит он.

Однако в интонации Тиррелла, несмотря на его оптимизм, звучит предостерегающая нотка. Он признает, что вокруг этого метода разгорелся отчасти некритический энтузиазм. В некоторых случаях новые материалы не обладают безусловными преимуществами перед уже существующими. Кроме того, материалы, создаваемые по биологическим моделям, не будут иметь какого-то одного доминирующего преимущества перед конкурирующими с ними продуктами.

Привлекательность новых полимеров заключается скорее в совокупности разнообразных свойств, которую они обещают.

Так или иначе, исследовательское движение в этой области набирает силу. «И само собой разумеется, — поддразнивает Бруэр, — я не собираюсь рассказывать вам о наиболее захватывающих возможностях наших исследований».

D₂ или не D₂

В АПРЕЛЕ 1990 г. в научных кругах заговорили о том, что открыт ген, связанный с одним из серьезных бедствий всего человечества, — алкоголизмом. Об этом открытии сообщалось на первой полосе «New York Times» и других изданий: оно расценивалось как важный успех в борьбе против расстройства, которым только в США страдают примерно 20 млн. человек.

Спустя два года «ген алкоголизма», который обозначили D₂, стал центром ожесточенных споров. По одну сторону «баррикад» держатся такие специалисты по наркомании, как К. Блам из Техасского университета в Сан-Антонио и Э. Нобл из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, возглавлявшие исследовательскую группу, которой принадлежит публикация 1990 г. Они настаивают на том, что их открытие убедительно подтвердили последующие работы. «Вероятность того, что мы неправы — одна десятиллионная», — заявляет Блам. Вместе с Ноблом он уже предпринимает шаги к тому, чтобы выйти на рынок с тестом на алкоголизм.

Им противостоят скептики, в числе которых маститый генетик К. Кидд из Йельского университета. Он считает, что мнение Блама и Нобла опровергается результатами других исследований и почти наверняка ошибочно. «Я тоже полагаю, что в алкоголизме существует генетический компонент, — говорит Кидд. — Но думаю, что это не ген D₂».

Последние данные по изучению человеческих рас поддали жару в этом споре; такие сведения, впрочем, нельзя истолковать однозначно. Кидд и другие ученые обнаружили, что частота гена D₂ значительно различается у разных рас и даже у этнических групп внутри одной расы. По мнению Кидда, результаты Блама и Нобла объясняются тем, что не была учтена эта изменчивость. А они возражают, что расовые и этнические данные, наоборот, подтверждают их точку зрения, поскольку ген D₂, похоже, наибо-

лее обычен в популяциях, склонных к алкоголизму. «Этнические данные просто великолепны», — сказал Блам.

Мало кто оспаривает существование наследственного предрасположения к алкоголизму. Еще в 1970-е годы было показано, что для детей алкоголиков, особенно сыновей отцов-алкоголиков, воспитывавшихся в нормальных семьях, повышен риск алкоголизма по сравнению с их сводными братьями и сестрами. Согласно результатам других исследований, у сыновей алкоголиков менее интенсивная электрическая активность мозга и более высокая переносимость алкоголя, чем у контрольных испытуемых.

Большинство исследователей считают весьма важной, если не решающей роль окружающей среды, а генетический компонент алкоголизма связывают со сложным комплексом генов. Поэтому многие были обескуражены, когда 18 апреля 1990 г. Блам и Нобл заявили со страниц «Journal of the American Medical Association» («JAMA») об открытии единственного гена, повышающего риск алкоголизма в 9 раз.

Этот ген, полное название которого — ген D₂-рецептора дофамина, кодирует один из нескольких различных дофаминовых рецепторов, присутствующих на поверхности нейронов головного мозга. Дофамин, один из важнейших мозговых нейромедиаторов, участвует в возникновении чувства удовольствия и других ощущений и, как показано, имеет отношение к ряду нервных расстройств, в частности к шизофрении.

В предшествующих экспериментах выяснилось, что существуют по крайней мере два варианта, или аллели, гена D₂ — A1 и A2. В своем исследовании Блам и Нобл сравнили генетический материал 35 умерших алкоголиков и 35 человек, не страдавших алкоголизмом. В первой группе аллель A1 обнаружился в 69% случаев, а в контрольной группе — только в 20%.

В июле прошлого года в журнале «Archives of General Psychiatry» Блам и Нобл выступили с новой публикацией, в которой сообщалось, что в трупном материале с аллелем A1 присутствует меньше D₂-рецепторов дофамина, чем при наличии аллеля A2. По предположению Блама и Нобла, носители первого варианта гена стимулируют себя алкоголем или другими наркотиками, чтобы компенсировать пониженную способность нервных клеток поглощать дофамин, который вызывает чувство удовольствия. Их критики, напротив, считают снижение количества доф-

аминовых рецепторов не причиной, а следствием алкоголизма.

В октябре 1991 г. группа исследователей, возглавляемая Д. Комингзом и С. Фланаганом из Национального медицинского центра «Сити-оф-Хоуп» в Дуарте (шт. Калифорния), заявила в «JAMA», что аллель A1 связан с повышенной частотой не только алкоголизма, но и некоторых других психических расстройств, включая синдром Туретта, патологический недостаток внимания и аутизм, но не шизофрению. По словам Фланагана, они обнаружили, хотя и не упомянули в своем сообщении, также связь A1 с «криминальной агрессивностью». Корреляция с алкоголизмом, составляющая, правда, всего 2/3 от приводимой Бламом и Ноблом, оставалась статистически значимой.

Однако в других публикациях предполагаемая связь аллеля A1 с алкоголизмом отрицалась. Независимые работы под руководством А. Болос из Национального института по изучению злоупотребления алкоголем и алкоголизма (NIAAA) и Дж. Гелернтера из Йельского университета показали, что частота аллеля A1 у алкоголиков лишь незначительно выше, чем у контрольных испытуемых. Более того, в двух исследованиях, в которых изучались семьи с высокой частотой алкоголизма (одно из них проведено пионером генетики алкоголизма К. Клонингером из Вашингтонского университета), вообще не обнаружилось сцепленности этого расстройства с вариантом A1 гена D₂.

Но позже Клонингер, проанализировав как положительные, так и отрицательные данные шести опубликованных работ, убедился в высокозначимой статистической корреляции между аллелем A1 гена D₂ и алкоголизмом, особенно его наиболее тяжелой формой. Он считает, что, хотя этот аллель не является «ни необходимой, ни достаточной причиной алкоголизма» (поскольку некоторые его носители не злоупотребляют алкоголем, а у некоторых алкоголиков A1 нет), он каким-то образом отягощает развитие расстройства.

Клонингер критикует отрицательные выводы Болос и Гелернтера, поскольку те исключали из анализа алкоголиков с тяжелым состоянием здоровья, т. е. как раз тех людей, которые в предыдущих исследованиях представлялись наиболее вероятными носителями аллеля A1. Кроме того, члены контрольной группы не были проверены на алкоголизм. Эти обстоятельства, по мнению Клонингера, исказили результат, сделав его отрицательным.

Гелернтер возражает, что, судя по

Есть ли ген алкоголизма?

ЗА

Апрель 1990 г. Блам, Нобл и их сотрудники обнаружили аллель A1 гена дофаминового рецептора D₂ у 69% из 35 умерших алкоголиков и только у 20% контрольной группы, о чем опубликовали статью в «Journal of the American Medical Association» («JAMA»).

ПРОТИВ

Декабрь 1990 г. Болос и ее коллеги сообщили в «JAMA» об отсутствии статистически значимой корреляции между аллелем A1 и алкоголизмом в двух исследованиях: при сравнении 40 неродственных друг другу алкоголиков со 127 контрольными испытуемыми и при анализе двух семей, страдающих алкоголизмом.

ЗА

Июль 1991 г. В «Archives of General Psychiatry» опубликована работа Нобла и Блама, в которой анализировался трупный материал 33 алкоголиков и 33 неалкоголиков, и показано, что D₂-рецепторов дофамина в головном мозге у носителей аллеля A1 меньше, чем у имеющих A2.

ПРОТИВ

Июль 1991 г. В статье Паршана, Клонингера и др. в «Archives of General Psychiatry» говорится об отсутствии связи аллеля A1 с алкоголизмом в 17 изученных семьях, страдающих алкоголизмом.

ПРОТИВ

Октябрь 1991 г. Гелернтер и его сотрудники сообщили в «JAMA» о том, что не обнаружено статистически значимой корреляции между аллелем A1 и алкоголизмом при изучении 44 алкоголиков и 68 контрольных испытуемых.

ЗА

Октябрь 1991 г. Комингз с коллегами обнаружили связь аллеля A1 не только с алкоголизмом, но и с аутизмом, патологией внимания, синдромом Туретта и посттравматическим стрессовым расстройством. Их статья в «JAMA» основана на данных предшествовавших исследований, охвативших 853 человека.

ПРОТИВ

Октябрь 1991 г. По данным Шваба и его сотрудников, опубликованным в «American Journal of Human Genetics», сравнение 45 немецких алкоголиков с 69 этнически соответствующими контрольными испытуемыми показало, что доля носителей аллеля A1 в первой группе меньше, хотя разница невелика.

количественной разнице между данными «опыта» и «контроля», лишь несколько человек в контрольной группе могли быть алкоголиками с аллелем A1, а это, по его словам, существенно не повлияло бы на окончательный результат; притом он считает собеседование наилучшим методом выявления истинных алкоголиков. Подчеркивая роль медицинских осложнений и даже смерти как критериев тяжелого алкоголизма, Гелернтер отмечает, что Блам, Нобл и Комингз скорее всего обнаружили ген предрасположения к дисфункции печени, а не к алкоголизму как таковому.

Д. Голдман из NIAAA, участвовавший в работе Болос, согласен с этим. Как он полагает, Блам, Нобл и Комингз не учли различий между этническими группами по частоте аллеля A1. До сих пор проведены два обследования этнически однородных выборок на присутствие этого аллеля и алкоголизм. Одно из них, охватывающее немцев и кратко описанное в октябрьском номере «American Journal of Human Genetics» за прошлый год, показало, что частота A1 у алкоголиков ниже, чем у неалкоголиков. Сам Голдман располагает неопубликован-

ными данными, демонстрирующими отсутствие статистически значимой связи между аллелем A1, алкоголизмом и метаболизмом дофамина в выборке финнов.

Однако Блам и Нобл приводят другие этнические данные, подтверждающие их точку зрения. По словам Нобла, неопубликованные результаты ряда исследований показывают, что до 70% американских индейцев и 60% ирландцев — а эти этнические группы характеризуются высокой частотой алкоголизма — являются носителями аллеля A1. У евреев же, среди которых доля алкоголиков низка, этот аллель, судя по всему, относительно редок.

Нобл считает, что даже данные о восточных народах, которые отличаются высокой частотой аллеля A1, но низкой — алкоголизма, подтверждают его мнение. Многие представители этих национальностей не могут стать алкоголиками, так как у них отсутствует фермент, необходимый для метаболизма этилового спирта, что приводит к отравлению алкоголем. Пресловутая склонность японцев к амфетамину, а китайцев — к опиатам, как утверждает Нобл, отражает их генетическое предрасположение к

наркомании. «Кроме того, все они — заядлые курильщики», — добавляет он.

Этнический аспект осложнило сообщение Дж. Ула из Национального института по изучению злоупотребления наркотиками, который утверждает, что среди негритянского населения частота A1 почти вдвое выше, чем среди белого, однако алкоголизм и родственные ему расстройства у чернокожих носителей этого аллеля встречаются не чаще, чем у других негров. Его данные говорят также о связи аллеля A1 с алкоголизмом у белых, но только в сочетании со злоупотреблением другими наркотиками.

Остается и множество иных вопросов. Например, упорная критика приписываемых аллелю A1 свойств основана на том, что — в противоположность впечатлению, создаваемому рядом публикаций, — этот генный локус представляет собой просто некий маркер, а не вариант гена D₂. Действительно, по данным Р. Карпа из NIAAA, A1 находится на расстоянии примерно 10 тыс. нуклеотидных пар от того участка гена D₂, который кодирует белки D₂-рецептора. Согласно Карпу, никаких прямых молекулярных свидетельств связи аллеля A1 с изменчивостью экспрессии гена D₂ нет.

Блам и Нобл отвечают на это, что и они, и другие исследователи недавно идентифицировали два маркера, расположенные ближе к кодирующему участку гена D₂, чем аллели A1 и A2. По предварительным данным корреляция аллелей этих маркеров с алкоголизмом по крайней мере такая же сильная, как у A1.

Не дожидаясь исхода этих дебатов, Блам и Нобл обсуждают возможности разработки теста на предрасположение к алкоголизму с фармацевтической фирмой Pharmavele, Inc. в Гейтерсберге (шт. Мэриленд). Блам предлагает с помощью этого теста проверять претендентов на рабочие места, детей и даже плод в утробе матери. Он также изобрел питательный напиток, продающийся под названием Supplemental Amino Acid Vitamin Enteral (SAAVE), который, по его словам, «способствует выздоровлению алкоголиков».

Джон Хорган

Сильвия Эрл — огонь в воде

СИЛЬВИЯ Эрл неуловима. Подобно Протею, изменчивому богу моря, она с легкостью меняет свои занятия и обличья: морской ботаник, аквалангистка, исследователь, пред-

приниматель, защитница окружающей среды, писательница и — до последнего времени — ведущий ученый Национального управления по исследованию океана и атмосферы (NOAA). Даже по манере поведения Эрл одновременно прямолинейна и обходительна, уклончива и дипломатична, темпераментна, любезна и вспыльчива.

Сочетая в себе столько талантов, Эрл может стоять одной ногой в воде, а другой — на суше, хотя явно отдает предпочтение океану: «Не люблю я эту труху, — говорит она. — Я хочу больше бывать под водой». Занимая официальную должность, Эрл пользовалась благосклонностью администрации Белого дома, не питающей, как известно, большого интереса к охране окружающей среды. Однако в январе она ушла в отставку, проработав немногим более года. Эрл была первой женщиной в должности ведущего ученого NOAA, агентства с бюджетом в полтора миллиарда долларов, которое контролирует службу погоды, ведет подводные исследования, осуществляет надзор за рыболовством и следит за выбросами вредных веществ в море.

Эрл отрицает, что ее уход с должности объясняется разногласиями с Белым домом, но ее позиция по некоторым вопросам охраны окружающей среды явно противоречит преобладающим сейчас политическим тенденциям. С потрясающим упорством повторяет она журналистам, что обожает NOAA и правительство. «Если можно, подбросьте им букет цветов», — просит она.

Но все же, как говорит Эрл, работа независимо, она может достичь большего. «Я думаю, что действую более эффективно, когда ничем не связана», — замечает она. Пользуясь своей независимостью, Эрл предпринимает попытки установить в океане заповедные зоны и поддерживать строительство глубоководных сооружений. Но, хотя и в весьма осторожных выражениях (она остается в NOAA советником по меньшей мере еще на год), Эрл признает, что не все идет гладко.

«Всякий раз, когда я выступала, это воспринималось как позиция администрации, то есть как официальная линия», — поясняет Эрл, сидя в своем кабинете в Вашингтонском офисе NOAA, в котором уже почти не осталось сделанных ею в море снимков и только на компьютере примостился муляж мурены. «Можно легко оказаться без вины виноватой и попасть в неприятное положение», — говорит она. В какие именно неприятные положения, Эрл не уточняет, рассказывает только, как прошлой зимой об-

молвилась, что не ест рыбу, «с которой встретилась и познакомилась в океане», и это было интерпретировано боссами рыболовной промышленности как неожиданный поворот NOAA против рыболовства.

Эрл привыкла быть на виду. В 1970 г. она с четырьмя другими океанографами две недели провела в подводном жилище, участвуя в финансируемом правительством проекте под названием «Tekite-II». Когда исследователи вышли на поверхность, их окрестили («в воде рожденными»), а их портреты украсили первую страницу газеты «Boston Globe». Эрл, возглавлявшая эту группу, которая целиком состояла из женщин, поначалу отнеслась к вниманию публики без восторга. Как ученый она объясняет это так: «Если вы стали популяризатором, вашей научной репутации конец».

Однако прочтя очерк биолога викторианских времен Томаса Гексли, она почувствовала, что должна просвещать публику. Этим она продолжает заниматься и поныне, что делает ее мишенью критики. «Критика все еще исходит от ученых, считающих меня поверхностной в научном плане, — говорит спокойно Эрл. — Ученым трудно оставаться в строгих рамках, что-либо объясняя человеку несведущему».

Но даже те из коллег, кто критикует Эрл с позиций строгой науки, превозносят ее умение увлекательно рассказывать о жизни моря, объясняя при этом, как важно изучать океаны. Несмотря на то что Эрл устремляется вглубь, а не ввысь подобно астронавту, планета наша ей видится как единая голубая система. И когда она рассказывает, что приходило ей в голову за 6000 часов, проведенных в морских глубинах, ее язык, изобилующий выражениями, которые она вновь и вновь повторяет в своих публичных выступлениях, становится почти поэтическим. Кальмар — это не просто головоногое, отряд Teuthoidea, это существо «с огромными глазами, которые как бы изучают вас, и некоторые из этих глаз подобны бриллиантам».

Эрл полюбила океан в раннем возрасте. Ее родители переехали из Нью-Джерси на западное побережье Флориды и там неустанно развивали в детях интерес к окружающему миру. «Про лягушек не говорили «б-р-р». Мама показывала братьям и мне, как они красивые и как завораживают их яркие золотые глаза». Поддерживая ее интерес к биологии, добавляет Эрл, родители в то же время проследили за тем, чтобы она получила аттестат учителя и «на всякий случай» научилась печатать на машинке.

Закончив Университет шт. Флорида, Эрл поступила в аспирантуру в Университет Дюка и специализировалась в ботанике. В качестве диссертации она выполнила классическое исследование водорослей Мексиканского залива. Это исследование она продолжает и сейчас: у нее уже более 20 000 образцов. «Когда я начала собирать коллекцию в заливе, состав воды сильно отличался от теперешнего — естественная среда изменилась. Так что теперь я располагаю очень интересными данными».

Научные занятия Эрл пришлось на время, когда стали широко применяться акваланги. Благодаря тому, что новое оснащение позволяло вести прямые наблюдения в море, работа морских биологов изменилась. Одна из первых исследователей, свободно работавших под водой, Эрл сумела определить много новых растений и животных и даже открыть некоторые любопытные геологические структуры, например подводные «дюны» около Багамских островов. «Это было бесхитрое наблюдение, — объясняет она. — Но наличие дюн оказалось важным для понимания процессов формирования этой области».

Кроме того, Эрл оказалась одной из немногих женщин-океанографов. В каком-то отношении это обстоятельство, по ее словам, шло на пользу делу. «Когда я — единственная женщина в толпе из четырехсот мужчин, все поворачивается ко мне, стоит мне заговорить». С другой стороны, утверждает она, ее обходили при назначении на определенные должности, в частности на руководство некоторыми исследовательскими судами, и все из-за того, что она — женщина. Но Эрл не жалуется: «В других областях с этим еще хуже».

Свою неистовую независимость Эрл частично связывает с тем, что она — женщина. Женщины в большей степени полагаются на себя потому, что «они не так сильно связаны с системой, как мужчины, — это факт», говорит Эрл, которая первая погрузилась на глубину 375 м без страховочного конца в жестком водолазном костюме и была среди первых, кто в одиночестве опустился на 900 м в батискафе. Уходя из NOAA, Эрл надеется вернуть свою независимость.

Кроме того, Эрл может вернуться к глубоководной инженерии. В 1981 г. Эрл и Грэхем Хоукс, который в ту пору был ее мужем, решили построить собственные глубоководные батискафы. Они основали корпорацию глубоководной технологии (Deep Sea Technology, Inc.), а затем корпорацию глубоководной инженерии (Deep Sea

Engineering, Inc.). Один из первых разработанных ими батискафов — Deep Rover — позволил Эрл в 1985 г. опуститься на глубину 900 м в Тихом океане. Компания с бюджетом в 5 млн. долл. производила также роботов для добычи нефти и газа на суше.

Как водолаз-ветеран Эрл озабочена тем, что всего обследовано лишь 10% площади Мирового океана и что современная техника не дает человеку возможности вести разведку подводных впадин. «Безумно жаль, что мы не можем проникнуть в глубь моря!» — восклицает она и добавляет, что из пяти существующих управляемых батискафов, способных опускаться более чем на 6000 м, лишь один — Sea Cliff — принадлежит США. «Это все равно, что иметь один джип на всю Северную Америку», — говорит она.

Как это ни парадоксально, но именно страсть Эрл к изучению глубин океана стала причиной ее разногласий с администрацией по поводу того самого отдела NOAA, который занимается такими исследованиями (Национальная программа подводных исследований — NURP). По словам одного из сотрудников аппарата конгресса, предложения Белого дома по бюджету не включали финансирование NURP начиная с 1983 г. Эта программа «не пользовалась вниманием республиканской администрации». Тем не менее каждый год конгресс возобновлял финансирование программы — сейчас это примерно 17 млн. долл.

Эрл пригласили в качестве эксперта, когда комитет конгресса по морской торговле и рыболовству рассматривал в октябре прошлого года вопрос о будущем NURP. В последний момент она отказалась от приглашения, и представитель NOAA выступил против увеличения федерального финансирования NURP. «Я не могла выступить в качестве независимого эксперта, поскольку это противоречило бы позиции NOAA», — поясняет Эрл.

Она продолжает искать независимые пути в глубины океана. Эрл работает с японскими учеными, планируемыми отправить на глубину 1080 м сначала батискаф с дистанционным управлением, а затем — аппарат, управляемый человеком. «Их правительство дает им деньги. Они делают то, чего не делаем мы: они действительно двигают вперед технологию и науку, связанные с океаном», — говорит она. Еще Эрл намерена возглавить проект «Ocean Everest» по глубоководным инженерным работам. Проект с бюджетом в 10 млн. долл. позволит ей побывать примерно на той же глубине, что и с японцами.

Эрл любит технику и ненавидит,



6000 часов, проведенные под водой, сделали Сильвию Эрл убежденным защитником окружающей среды. (Фото: Давид Дубиле.)

когда ею злоупотребляют. «Техника угрожает нарушить баланс существования любого вида, сузить пределы его обитания», — с тревогой говорит она и приводит в пример не только устроенные иракцами взрывы нефтяных скважин Кувейта, что повлекло за собой бессмысленный выброс нефти в Персидский залив, но и дрейфующие сети, и электронный поиск рыбы, осуществляемый многими рыболовными судами.

В самом деле, война в Персидском заливе, разразившаяся через несколько месяцев после назначения Эрл на должность ведущего ученого, не только привлекла ее основное внимание в работе в NOAA, но, по ее словам, стала одной из причин внезапного ухода из агентства. Эрл, работавшая в таких организациях, как Международный фонд любителей диких животных, вознамерилась добиваться создания заповедных зон в океане. Она рассматривает подобные океанские резервации (10 из них находятся в территориальных водах США) как аналоги национальных парков, в ко-

торых сохраняется дикая природа, поле для исследований и разнообразие видов.

Но пламя в Персидском заливе, а также пожар в Окленде, шт. Калифорния, почти разрушивший прошлой осенью ее дом, толкнули Эрл опять к воде. Эти события, говорит она, «еще больше усилили мое ощущение, что необходимо делать все возможное в отпущенное нам время».

Несмотря на кратковременность ее пребывания в NOAA, Эрл, по мнению некоторых ее коллег, подняла престиж агентства. «До этого у нас никогда не бывало оратора. Никто не знал, что мы существуем», — говорит Джозеф Бишоп, ведущий ученый NOAA. Особенно много людей отмечают ее усилия по организации изучения последствий кризиса в Персидском заливе. NOAA снарядило экспедицию исследовательского судна, которая обойдется в 6—8 млн. долл. и будет работать весь май. Экспедиция, состоящая из 130 ученых со всего мира, должна положить основу для продолжительного наблюдения за состоянием залива. На одном из этапов, когда исследователи займутся определением влияния нефти на коралловые рифы, Эрл будет исполнять обязанности соруководителя проекта.

«Ключевым моментом планирования этого рейса в Персидский залив был именно ее интерес и ее энтузиазм», — говорит эксперт по выбросам нефти из Research Planning, Inc. Жаклин Мишель, работающая для NOAA в заливе Принс-Уильям на Аляске и в Персидском заливе.

А Эрл тем временем в своих разных обликах продолжает повторять о целостности природы, гармоничном использовании ресурсов и важности расширения исследований океана. Недавно она выступала перед студентами Университета Ратгерса. Эрл, официальное лицо, отвечала на вопросы о своей отставке: «Уходив с этого поста было нелегко. Сейчас я по-новому оценила, что значит организовать какую-либо работу».

Эрл-поэт привела слушателей в восхищение, стоя на сцене в затемненной аудитории под спроецированным на стену изображением огромного розоватого кальмара. Обвалакивающим голосом она описывала найденный ее коллегой в бухте Монтерей в Калифорнии кусок щупальца длиной в 3,5 м. «Гигантского кальмара еще не видел никто», — сказала она заворуженной, затихшей аудитории. Но окончательную точку поставила Эрл-практик. «Если мы никогда не видели существа, равного по размеру динозавру, то это говорит лишь о масштабах нашего невежества».

Маргарет Холлоуэй

Повторение пройденного



РИЧАРД ЭЛЛИОТ БЕНЕДИК

ЧЕЛОВЕЧЕСКАЯ память коротка. Всего пять лет назад мы не имели свидетельств истощения слоя озона в глобальном масштабе. Скептики утверждали, что эта опасность не доказана, более совершенных технологий не существует, а затраты на разработку таких технологий подорвут экономику.

Ведущие ныне дебаты по проблеме парникового потепления рождают отчетливое ощущение, которое в психологии называют «дежа вю» — уже виденное. Человеческое сообщество вновь оказалось в классической ситуации, когда, не имея точной информации о происходящем, оно должно оценивать, чем рискует, предпринимая активные действия, и чем — бездействуя. Прогнозируемые на сегодняшний день затраты на предлагаемые меры кажутся очень большими, а грядущая опасность — далекой.

Природа, однако, далеко не всегда однозначно оповещает об опасности. В начале 80-х годов ученые были настолько ошеломлены резким сезонным падением концентрации озона над Антарктидой, что потратили два года на перепроверку данных. Вскоре они обнаружили, что спутники уже несколько лет прилежно регистрировали явление разрушения озона, но никакой тревоги по этому поводу не поднималось, поскольку компьютеры были запрограммированы на то, чтобы отбраковывать такие экстремальные данные.

Озоновая дыра над Антарктикой — пример того, что ученые называют нелинейной реакцией: слой озона поглощал антропогенный хлор, никак на него не реагируя. Наконец концентрация хлора достигла критической величины, и озон начал разрушаться. Сегодня ученые предостерегают, что выброс в атмосферу миллиардов тонн двуокиси углерода и других газообразных продуктов делает атмосферу объектом эксперимента с непредсказуемыми последствиями. Не приближаемся ли мы к другому неведомому нам порогу, на этот раз связанному с парниковым потеплением?

Если мы переубедим тех, кто выступает против принятия решений по

проблеме глобального потепления, то облака и океаны, смягчающие воздействие на атмосферу, возможно, отодвинут опасность. Во всяком случае, если сторонники пассивного ожидания неправы, нас всех ждут большие неприятности. Доказано, что даже в самых мрачных прогнозах недооцениваются потери озона, вызываемые хлорфторуглеродами (ХФУ). Если поступление ХФУ в атмосферу продолжится, слою озона будет нанесен непоправимый ущерб. Однако и в правительстве, и в промышленности, как и раньше, сильны позиции тех, кто выступает против контроля, считая, что научных доказательств пока недостаточно.

При таких обстоятельствах те, кто отвечает за принятие решений, могли бы руководствоваться однозначным критерием: если уж нам суждено ошибиться, то пусть это будет ошибка перестраховки. Сама неопределенность научных выводов, касающихся глобального потепления, должна побуждать нас к действию, а не к тому, чтобы откладывать решение, тем более что значительная часть мирового научного сообщества не устает предупреждать о возможном риске.

В этой ситуации одна страна, Япония, уже представила действенную программу по повышению эффективности использования энергии и разработке технологий в целях защиты окружающей среды. В этой программе, называемой «Земля 21», охрана планеты со всей определенностью отнесена к коммерческим мероприятиям. В противоположность мнению, существующему в некоторых влиятельных кругах в США, обеспокоенность проблемой сохранения окружающей среды не является всего лишь предлогом для введения централизованного планирования. Можно «запрячь» рыночные силы, заставив их работать на «гармоничное» экономическое развитие. Причина состоит в том, что по отношению к окружающей среде рынок занимает нейтральную позицию; полагаюсь исключительно на Адама Смита, мы, как убедил нас болезненный опыт, не всегда приходим к правильному результату.

ИМЕННО неподходящий инструмент экономический анализа и учета часто ведет разработчиков планов и инвесторов прямой дорогой к неверным решениям. Устаревшие концепции бухгалтерии в национальном масштабе игнорируют такие «внешние» обстоятельства, как ущерб, причиняемый окружающей среде, и не учитывают связанные с этим потенциальные опасности. Например, национальная экономика получает двойное «ускорение» от производства токсичных веществ и от последующей дорогостоящей их «уборки». Подобным же образом, чем больше такие страны, как Малайзия или Индонезия, вырубает тропические леса и вывозит доставшееся им «наследство», тем больший «рост» отмечают они в своем ВВП. На уровне корпораций принятое «игнорирование будущего» по сути увеличивает ущерб, наносимый будущим поколениям, одновременно побуждая менеджеров принимать решения по инвестициям, которые максимизируют кратковременные выгоды.

Что-то здесь явно не то. Устаревшая система, на основе которой мы измеряем доходы, должна быть переделана так, чтобы отражать цену, которую придется заплатить за вред, нанесенный окружающей среде. Только в этом случае финансовые рынки отдадут должное защите окружающей среды вместо того, чтобы рассматривать эту защиту как еще одну повинность, снижающую текущие доходы. Реформа начнет приносить плоды, когда рынки станут получать более сбалансированные финансовые «сигналы», а «отклики» рынков проникать в экономику.

И здесь поучительно вспомнить «озоновую проблему». Потребители продемонстрировали, что, имея правильную информацию из печати и телепередач, они могут изменить свои покупательские привычки, воздерживаясь от приобретения и даже бойкоту ХФУ-содержащие аэрозоли. Точно так же Монреальский протокол 1987 г. о защите слоя озона показал, что при адекватных стимулах промышленность может изменить свою позицию.

Важно, что на примере Монреальского протокола мы увидели движение от согласования юридических норм к коммерческим выгодам. Этот договор не просто предписывает использовать «наилучшие из имеющихся технологий» для замены ХФУ. Авторы договора предложили распланированную по времени программу значительных сокращений использования этих веществ, полностью отдавая себе отчет в том, что технологии, кото-

рая позволяет добиться этих сокращений, пока не существует.

Монреальский протокол послужил для рынка ясным сигналом, побудившим компании инвестировать средства в разработку новых химических веществ и процессов, которых раньше они просто сторонились. Правила рынка изменились, стали создаваться условия, мобилизующие огромные финансовые и интеллектуальные ресурсы частного сектора на поиск таких решений, которые первоначально объявлялись неосуществимыми.

Имея теперь новые научные данные по слою озона, можно считать удачей, что Монреальский протокол стимулировал предпринимательскую деятельность с учетом проблем сохранения окружающей среды, которые до этого игнорировались. Был ли этот договор победой радикалов, как утверждали некоторые политики? Вовсе нет: протокол стал выражением истинной веры в рыночную систе-

му, в ее способность реагировать на внешние стимулы. Оказалось к тому же, что экономисты сильно переоценили стоимость заменителей ХФУ и новых технологий; некоторые отрасли промышленности даже снизили свои издержки, изменив технологические процессы так, чтобы обойтись без заменителей ХФУ.

«Сигналы», посланные на рынок принципиально новым международным договором, сделали свое дело, приблизив нас к решению проблемы сохранения стратосферного озона. Я подозреваю, что мы сможем опереться на те же силы, если в ходе ведущихся сейчас международных переговоров по климату сосредоточим наше внимание на проблеме снижения зависимости от ископаемых топлив. Моментом истины может стать историческая конференция ООН, которая пройдет в июне этого года в Рио-де-Жанейро.

Библиография

ГДЕ ВОЗНИК ЧЕЛОВЕК СОВРЕМЕННОГО ТИПА?

MITOCHONDRIAL DNA AND HUMAN EVOLUTION. Rebecca L. Cann, Mark Stoneking and Allan C. Wilson in *Nature*, Vol. 325, No. 6099, pages 31—36; January 1—7, 1987.

MITOCHONDRIAL DNA. Stoneking and A. C. Wilson in *The Colonization of the Pacific: A Genetic Trail*. Edited by Adrian V. S. Hill and Susan W. Serjeantson. Oxford University Press, 1989.

MITOCHONDRIAL DNA SEQUENCES IN SINGLE HAIRS FROM A SOUTHERN AFRICAN POPULATION. Linda Vigilant, Renee Pennington, Henry Harpending, Thomas D. Kocher and Allan C. Wilson in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 86, No. 23, pages 9350—9354; December 1989.

SEQUENCE EVOLUTION OF MITOCHONDRIAL DNA IN HUMANS AND CHIMPANZEES. T. D. Kocher and A. C. Wilson in *Evolution of Life*. Edited by S. Osawa and T. Honjo. Springer-Verlag, Tokyo, 1991.

МУЛЬТИРЕГИОНАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

MODERN HOMO SAPIENS ORIGINS: A GENERAL THEORY OF HOMINID EVOLUTION INVOLVING THE FOSSIL EVIDENCE FROM EAST ASIA. Milford H. Wolpoff, Wu Xin Zhi and Alan G. Thor-

ne in *The Origins of Modern Humans: A World Survey of the Fossil Evidence*. Edited by Fred H. Smith and Frank Spencer. Alan R. Liss, 1984.

EVOLUTION OF MITOCHONDRIAL DNA IN MONKEYS, APES AND HUMANS. J. N. Spuhler in *American Journal of Physical Anthropology*, Vol. 77, Supplement 9; *Yearbook*, Vol. 31, pages 15—48; 1988.

THE SEARCH FOR EVE. Michael H. Brown. Harper & Row, 1990.

THE CASE AGAINST EVE. Milford Wolpoff and Alan Thorne in *New Scientist*, Vol. 130, No. 1774, pages 37—41; June 22, 1991.

ГОРНЫЕ ПОЯСА И СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ЦИКЛ

THE GROWTH OF WESTERN NORTH AMERICA. David L. Jones, Allan Cox, Peter Coney and Myrl Beck in *Scientific American*, Vol. 247, No. 5, pages 70—84; November 1982.

PALEOZOIC PALEO GEOGRAPHY OF NORTH AMERICA, GONDWANA, AND INTERVENING DISPLACED TERRANES: COMPARISONS OF PALEOMAGNETISM WITH PALEOCLIMATOLOGY AND BIOGEOGRAPHICAL PATTERNS. Rob Van der Voo in *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 100, No. 3, pages 311—324; March 1988.

SUPERCONTINENT MODEL FOR THE

CONTRASTING CHARACTER OF LATE PROTEROZOIC OROGENIC BELTS. J. Brendan Murphy and R. Damian Nance in *Geology*, Vol. 19, No. 5, pages 469—472; May 1991.

DID THE BREAKOUT OF LAURENTIA TURN GONDWANALAND INSIDE-OUT? Paul F. Hoffman in *Science*, Vol. 252, pages 1409—1412; June 7, 1991.

СУПЕРАНТИГЕНЫ И БОЛЕЗНИ ЧЕЛОВЕКА

ENTEROTOXINS. Merlin S. Bergdoll in *Staphylococci and Staphylococcal Infections*, Vol. 2, Edited by C. S. F. Easmon and C. Adlam. Academic Press, 1983.

THE STAPHYLOCOCCAL ENTEROTOXINS AND THEIR RELATIVES. Philippa Marrack and John Kappler in *Science*, Vol. 248, pages 705—711; May 11, 1990.

STRUCTURAL BASIS FOR DIFFERENTIAL BINDING OF STAPHYLOCOCCAL ENTEROTOXIN A AND TOXIC SHOCK SYNDROME TOXIN I TO CLASS II MAJOR HISTOCOMPATIBILITY MOLECULES. Carol H. Pontzer, Jeffrey K. Russell and Howard M. Johnson in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 88, No. 1, pages 125—128; January 1, 1991.

BOTH α -HELICES ALONG THE MAJOR HISTOCOMPATIBILITY COMPLEX BINDING CLEFT ARE REQUIRED FOR STAPHYLOCOCCAL ENTEROTOXIN A FUNCTION. Jeffrey K. Russell, Carol H. Pontzer and Howard M. Johnson in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 88, No. 16, pages 7228—7232; August 15, 1991.

STAPHYLOCOCCAL ENTEROTOXIN MICROBIAL SUPERANTIGENS. Howard M. Johnson, Jeffrey K. Russell and Carol H. Pontzer in *FASEB Journal*, Vol. 5, No. 12, pages 2706—2712; September 1991.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТЕРМО- ЯДЕРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬ- НЫЙ РЕАКТОР

MAGNETIC FUSION REACTORS. Robert W. Conn in *Fusion*, Vol. 1: *Magnetic Confinement*, Part B. Edited by Edward Teller. Academic Press, 1981.

ITER CONCEPTUAL DESIGN. K. Tomabechi et al. in *Nuclear Fusion*, Vol. 31, No. 6, pages 1135—1224; June 1991.

THE ITER TOKAMAK DEVICE: ITER DOCUMENTATION SERIES, No. 25, International Atomic Energy Agency, 1991.

PLASMA PHYSICS AND CONTROLLED FUSION RESEARCH: 1990. International Atomic Energy Agency, 1991.

ТВЕРДЫЕ КИСЛОТНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ

UNIFORM HETEROGENEOUS CATALYSTS: THE ROLE OF SOLID-STATE CHEMISTRY IN THEIR DEVELOPMENT AND DESIGN. John M. Thomas in *Angewandte Chemie*, International Edition in English, Vol. 27, No. 12, pages 1673—1691; December 1988.

ZEOLITES AND OTHER MICROPOROUS MATERIALS. D. E. W. Vaughan in *Studies in Surface Science and Catalysis: Zeolites: Facts, Figures, Future*, Vol. 49A, pages 95—116; 1989.

COMPUTING THE LOCATION AND ENERGETICS OF ORGANIC MOLECULES IN MICROPOROUS ADSORBENTS AND CATALYSTS: A HYBRID APPROACH APPLIED TO ISOMERIC BUTENES IN A MODEL ZEOLITE. Clive M. Freeman, C. Richard A. Catlow, John M. Thomas and Stefan Brode in *Chemical Physics Letters*, Vol. 186, No. 2—3, pages 137—142; November 8, 1991.

NEW AND IMPROVED CATALYTIC PROCESSES FOR CLEAN FUELS. I. E. Maxwell and J. E. Naber in *Catalysis Letters*, Vol. 12, pages 105—116; April 1992.

PERSPECTIVES IN CATALYSIS: A "CHEMISTRY FOR THE 21ST CENTURY" MONOGRAPH. Edited by John M. Thomas and Kirill I. Zamaraev. Blackwell Scientific Publications/International Union of Pure and Applied Chemistry, 1992.

ФАНТОМНЫЕ КОНЕЧНОСТИ

BODY IMAGE: DISSOCIATION OF REAL AND PERCEIVED LIMBS BY PRESSURE-CUFF ISCHEMIA. Y. Gross and R. Melzack in *Experimental Neurology*, Vol. 61, No. 3, pages 680—688; September 15, 1978.

PHANTOM LIMBS, THE SELF AND THE BRAIN: THE D. O. HEBB MEMORIAL LECTURE. R. Melzack in *Canadian Psychology*, Vol. 30, No. 1, pages 1—16; January 1989.

CENTRAL NERVOUS SYSTEM PLASTICITY IN THE TONIC PAIN RESPONSE TO SUBCUTANEOUS FORMALIN INJECTION. T. J.Coderre, A. L. Vaccarino and R. Melzack in *Brain Research*, Vol. 535, No. 1, pages 155—158; December 3, 1990.

PAIN "MEMORIES" IN PHANTOM LIMBS: REVIEW AND CLINICAL OBSERVATIONS. J. Katz and R. Melzack in *Pain*, Vol. 43, No. 3, pages 319—336; December 1990.

THE ROLE OF THE CINGULUM BUNDLE IN SELF-MUTILATION FOLLOWING PERIPHERAL NEURECTOMY IN THE RAT. A. L. Vaccarino and R. Melzack in *Experimental Neurology*, Vol. 111, No. 1, pages 131—134; January 1991.

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

LITTLEWOOD'S MISCELLANY. Revised edition. Edited by Béla Bollobás. Cambridge University Press, 1986.

В МИРЕ НАУКИ

Учредитель:
ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Издание
зарегистрировано
в Госкомпечати СССР,
рег. № 1342
Подписано в печать 03.08.92.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90¹/₄.
Гарнитуры таймс, гелиос.
Офсетная печать.
Объем 6,25 бум. л.
Бумага офсетная № 1.
Усл.-печ. л. 12,50.
Уч.-изд. л. 16,10.
Усл. кр.-отт. 51,25.
Изд. № 25/9059. Заказ № 329.
Тираж 9460 экз. Сб.
Издательство «Мир»
Министерства информации и печати
Российской Федерации
129820, ГСП, Москва, И-110,
1-й Рижский пер., 2.
Набрано в Фотонаборном центре
издательства «Мир»
Типография В/О «Внешторгиздат»
Министерства информации и печати
Российской Федерации
127576, Москва, Илимская, 7

