

# В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC  
AMERICAN

*Издание на русском языке*



Январь **1** 1993

МИКРОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ



# В МИРЕ НАУКИ

*Scientific American* · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

МОСКВА «МИР»

**№ 1 ЯНВАРЬ 1993**

*В номере:*

## СТАТЬИ

(Scientific American, November 1992, Vol. 267, No. 5)

### 6 Реформа здравоохранения

*Раши Фейн*



Стоимость медицинских услуг быстро повышается, а миллионы людей при этом не имеют медицинской страховки, которая компенсировала бы эти расходы. Стране необходимо срочно создавать всеобщую программу медицинского страхования

### 18 Скорость расширения и размеры Вселенной

*Венди Л. Фридман*



Возраст, эволюция и судьба Вселенной зависят от скорости ее расширения. Измеряя размеры Вселенной с помощью разнообразных новых методов, астрономы уточнили значение этой скорости

### 26 Ошибки компьютерных программ

*Бев Литлвуд, Лоренцо Стрижини*



Из-за ошибок в программах нарушается телефонная связь и откладываются запуски космических кораблей. Отсутствие гарантий надежности может ограничить роль компьютера, особенно в тех случаях, когда безопасность зависит от программного обеспечения системы

### 34 Визуализация биологических молекул

*Артур Дж. Олсон, Дейвид С. Гудселл*



Изображения, получаемые с помощью компьютера, помогают исследовать структуру биологических молекул и проникать в тайны сложного химического состава живых существ



## 42 Большой взрыв эволюции животных

*Джеффри С. Левинтон*

Почти 600 млн. лет назад в эволюции животных произошел уникальный взрыв «творческой активности». Изменился ли механизм эволюции с тех пор настолько, что принципиально новые планы строения животных уже никогда не возникнут?



## 52 Лингвистические корни американских индейцев

*Джозеф Г. Гринберг, Мерритт Рулен*

Согласно недавно проведенному исследованию, многочисленные языки коренных жителей Америки можно объединить в три языковые семьи, которые, вероятно, связаны с тремя волнами миграции из Азии



## 60 Астрономия во времена Колумба

*Оуэн Гингерич*

Руководствуясь абсолютно ошибочной оценкой размера Земли, Колумб «перекроил» карту земного шара, что, возможно, подвигло других перерисовать карту небес



## 68 Тенденции развития микромеханики

Микронные механизмы

*Гэри Стикс*

Кремний становится и «кирпичом», и «строительным раствором» для изготовления зубчатых колес, клапанов, насосов и датчиков. С их помощью на поверхности полупроводниковых микрокристаллов можно создать миниатюрные заводы и лаборатории

- РУБРИКИ
- 4 Об авторах
  - 5 50 и 100 лет назад
  - 14, 25, 33, 40,
  - 50, 58, 66, 78,
  - 85 Наука и общество
  - 83 Книги
  - 90 Эссе
  - 91 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.

John J. Hanley

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. Шенелева

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ

З. Е. Кожанова, О. К. Кудрявов,

Т. А. Румянцева, А. М. Смотров,

А. Ю. Краснопецев, А. В. Белых

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ

О. В. Мошкова, М. В. Суrowова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

С. К. Аносов

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА

В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

А. В. Лыткина

КОРРЕКТОР

Н. Н. Старостина

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ

М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ

В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ

129620, Москва, ГСП, 1-й Рижский пер., 2

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ

286.2588

© перевод на русский язык  
и оформление, «Мир», 1993

## На обложке



## МИКРОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ

На обложке показано изображение муравья с надетым на ножку никелевым зубчатым колесом от микроскопического механизма. Микрофотография была получена с помощью сканирующего электронного микроскопа в Ядерном исследовательском центре в Карлсруэ (Германия). Шестеренка диаметром 260 мкм и высотой 150 мкм была изготовлена по методу LIGA, используемого для изготовления микромеханических изделий (см. статью «Микронные механизмы» на с. 68)

## Иллюстрации

ОБЛОЖКА: the Institute for Microstructure Technology, Karlsruhe Nuclear Research Center. Компьютерное изображение: Jason Küffer.

| СТР.  | АВТОР/ИСТОЧНИК                                               | СТР.  | АВТОР/ИСТОЧНИК                                                         | СТР.  | АВТОР/ИСТОЧНИК                                     |
|-------|--------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------|
| 7     | Jason Goltz;                                                 | 39    | Arthur J. Olson                                                        | 62    | Nuremberg Chronicle;                               |
| 8     | Will and Deni McIntyre/Photo Researchers, Inc.               |       | ( <i>вверху слева</i> ) Elizabeth D. Getzoff and John A. Tainer        |       | ( <i>courtesy of Owen Gingerich</i> )              |
| 9—11  | Jason Küffer                                                 |       | ( <i>вверху в середине</i> ), Michael Pique, and David S. Goodsell     | 64    | Jana Brenning                                      |
| 12    | Johnny Johnson                                               |       | ( <i>вверху справа</i> ), Arthur J. Olson and David S. Goodsell        | 68—69 | Fireball, by Albrecht Dürer,                       |
|       | ( <i>вверху</i> ), Jason Küffer                              |       | ( <i>внизу слева и в середине</i> ), Arthur J. Olson and I. Siara Mian | 70—71 | Electronics Design Center,                         |
| 13    | Connecticut General Life Insurance                           |       | ( <i>внизу справа</i> )                                                | 72—73 | Gabor Kiss                                         |
| 18—19 | Jim Riffle                                                   | 43—46 | Patricia J. Wynne                                                      |       | ( <i>вверху</i> ), Stephanie Rausser               |
| 20    | Wendy L. Freedman                                            |       | ( <i>график</i> ) Patricia J. Wynne                                    |       | ( <i>внизу слева</i> ), Gabor Kiss;                |
| 21    | Kathleen Katimes/JSD                                         |       | ( <i>рисунки</i> )                                                     |       | University of Wisconsin-Madison                    |
| 22—23 | Jared Schneidman                                             | 48    | Patricia J. Wynne                                                      |       | ( <i>вверху</i> ), University of Wisconsin         |
| 24    | Courtesy of Harvard University Archives                      | 49    | John A. Endler, University of California                               |       | ( <i>внизу слева</i> ), Neil McDonald              |
| 26—27 | D. Aubert/Sygma                                              | 57    | Michael Goodman                                                        |       | ( <i>внизу справа</i> )                            |
| 31    | Nuclear Electric                                             |       | ( <i>слева</i> ), Arizona Historical Society Library                   | 74    | Robert Prochnow                                    |
| 34—35 | Arthur J. Olson and David S. Goodsell                        |       | ( <i>в середине</i> ), N.W. Tera/Photo Researchers, Inc.               | 75    | Institute of Industrial Science,                   |
| 36—37 | Richard E. Dickerson                                         |       | ( <i>справа</i> )                                                      |       | University of Tokyo                                |
|       | ( <i>слева</i> ), Teresa Lausen                              | 61    | Jean de Dinteville and Georges de Selve                                |       | ( <i>слева</i> ), School of Electrical Engineering |
|       | ( <i>в середине</i> ), Arthur J. Olson and David S. Goodsell |       | ( <i>"The Ambassadors"</i> ), by Hans Holbein,                         |       |                                                    |
| 38    | Arthur J. Olson                                              |       |                                                                        |       |                                                    |
|       | ( <i>вверху</i> ), Victoria A. Roberts                       |       |                                                                        |       |                                                    |
|       | ( <i>внизу</i> )                                             |       |                                                                        |       |                                                    |

## Об авторах

Rashi Fein "Health Care Reform" (РАШИ ФЕЙН «Реформа здравоохранения») — профессор медицинской экономики в Медицинской школе Гарвардского университета. Хотя в свое время занимался изучением трудовых ресурсов и финансирования медицинского образования, в настоящее время сосредоточил свое внимание на реформе здравоохранения. Докторскую степень получил в Университете Джонса Гопкинса, был членом Комитета экономических советников при президенте Дж. Ф. Кеннеди. Фейн — автор нескольких книг по экономике здравоохранения и член Института медицины.

Wendy L. Freedman "The Expansion Rate and Size of the Universe" (ВЕНДИ Л. ФРИДМАН «Скорость расширения и размеры Вселенной») — сотрудница Обсерваторий Карнеги в Пасадене (шт. Калифорния). Родилась в Торонто, степень доктора философии в области астрономии и астрофизики получила в Торонтском университете в 1984 г. С 1987 г. — первая женщина-исследователь, работающая в Обсерваториях Карнеги. Входит в группу по измерению шкалы межгалактических расстояний на космическом телескопе «Хаббл». Время, свободное от занятий астрономией, проводит с семьей: мужем, пятилетней дочерью и четырехлетним сыном.

Bev Littlewood, Lorenzo Strigini "The Risks of Software" (БЕВ ЛИТЛВУД, ЛОРЕНЦО СТРИЖИНИ «Ошибки компьютерных программ») сотрудничают в рамках проекта «Предсказуемо надежные вычислительные системы» (ПНВС), совместной исследовательской программы по надежности компьютерных систем, в которой принимают участие специалисты европейских стран. Литлвуд получил степень доктора по информатике и статистике в Лондонском городском университете, где он руководит Центром надежности программных систем. Стрижини — научный сотрудник Института обработки информации при Итальянском национальном комитете по науке. Он окончил факультет электроники в Пизанском университете. Исследования авторов статьи частично финансировались Комиссией ЕС в рамках проекта ПНВС.

Arthur J. Olson, David S. Goodsell "Visualizing Biological Molecules" (АР-

ТУР ДЖ. ОЛСОН, ДЕЙВИД С. ГУДСЕЛЛ «Визуализация биологических молекул») в своей работе пытаются расширить роль компьютерной графики в изучении функций и структуры биологических макромолекул. Олсон получил степень доктора философии в Калифорнийском университете в Беркли в 1975 г. и затем продолжил свои исследования в Гарвардском университете, где он использовал рентгеноструктурный анализ для изучения структуры вирусов. В 1981 г. он основал лабораторию молекулярной графики при Научно-исследовательском институте Скриппсовской клиники в Ла-Хойя (шт. Калифорния). Гудселл получил степень доктора философии в 1987 г. в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе, где он также изучал рентгеноструктурный анализ. Затем он перешел в лабораторию Олсона и стал заниматься разработкой методов получения изображений молекул и «конструирования» лекарственных препаратов с помощью компьютера. Недавно Гудселл вернулся в Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе, чтобы продолжить работу в области рентгеновской кристаллографии.

Jeffrey S. Levinton "The Big Bang of Animal Evolution" (ДЖЕФФРИ С. ЛЕВИНТОН «Большой взрыв эволюции животных») — профессор, заведующий кафедрой экологии и эволюции Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Бруке. Получил степень бакалавра в Сити-Колледже Нью-Йорка и степень доктора философии в Йельском университете (обе — по геологии). Специализируется в области морской экологии и эволюционной биологии, автор книг «Морская экология» ("Marine Ecology") и «Генетика, палеонтология и макроэволюция» ("Genetics, Paleontology and Macroevolution"). Недавно участвовал в переработке и переиздании классического труда Р. Карсон «Море вокруг нас» (Rachel Carson "The Sea Around US").

Joseph H. Greenberg, Merritt Ruhlen "Linguistic Origins of Native Americans" (ДЖОЗЕФ Г. ГРИНБЕРГ, МЕРРИТТ РУЛЕН «Лингвистические корни американских индейцев») занимаются сравнительным изучением языков. Гринберг является почетным профессором антропологии и лингвистики Станфордского университета.

Главные области его научных интересов — универсальные особенности языков и их историческая классификация. В прошлом был президентом Лингвистического общества Америки, а также членом Американского философского общества, Американской академии искусств и наук и Национальной академии наук. Рулен проводит независимые исследования в Пало-Альто, шт. Калифорния. В 1973 г. ему была присуждена докторская степень в области лингвистики в Станфордском университете. Участвовал в проекте Language Universals. Рулен является автором «Справочника языков мира».

Owen Gingerich "Astronomy in the Age of Columbus" (ОУЭН ГИНГЕРИЧ «Астрономия во времена Колумба») — старший астроном Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра в Кембридже, а также декан факультета истории науки в Гарвардском университете. Это его пятая статья в журнале «Scientific American». На протяжении многих лет Гингерич ведет поиск в Европе и Америке экземпляров труда Коперника «De revolutionibus». Он проштудировал более 500 экземпляров данного труда XVI в., изучая ранние комментарии. В печати находятся два сборника статей Гингерича: «Великая охота Коперника и другие приключения в истории астрономии» и «Глаз небес: Птолемей, Коперник, Кеплер».

George A. Carlson "Sighting Cepheid Variables" (ДЖОРДЖ А. КАРЛСОН «Наблюдение цефеид») преподает астрономию, физику, химию и музыку по классу фортепьяно (еще одно его увлечение) в Колледже Ситруса в Глендоре (шт. Калифорния). Является также приглашенным астрономом в Институте Карнеги. Степень доктора философии в области физики получил в Калифорнийском университете в Дейвисе.

Gerard Piel "Essay" (ДЖЕРАЛД ПИЛ «Эссе») является почетным председателем редакционной коллегии журнала «Scientific American». Его последняя книга «Только один мир» посвящена проблеме поддержания состояния окружающей среды при сохранении темпов экономического развития.



НОЯБРЬ 1942 г. «Каждую неделю в журнале «The Journal of the American Medical Association» появляется длинный ряд некрологов о скончавшихся за этот период врачей. В каждом из некрологов приводятся достижения врачей. Естественно, одни из этих некрологов длинные, другие — средней длины, некоторые же — совсем короткие. Получилось так, что по соотношению красноты издательский работник располагал некрологи в порядке убывающей длины: сначала более длинные, потом — все короче и короче. Одному врачу из Бруклина пришла в голову мысль, что скомпонованный таким образом еженедельный ряд некрологов мог бы помочь определить, какова «цена успеха» в медицине. Вследствие этого он решил проанализировать 30 таких еженедельных публикаций и обнаружил, что средний возраст, в котором умирали первые десять врачей, некрологи о которых были помещены в начале этих публикаций, составлял 64,6 года, в то время как последние десять вра-

чей — те, которые работали добросовестно, но не достигли видного положения, — дожили в среднем до 69,3 года. Таким образом, «цена успеха» врача оказалась равной приблизительно пяти годам его жизни».

«Немцы были первыми, кто осознал громадные возможности теории, согласно которой более высокую мобильность — как при наступательных, так и при оборонительных боевых действиях, — можно обеспечить, применив транспортировку войск и вооружений самолетами. Их «Юнкерсы-52», сравнительно низкоскоростные и «неуклюжие», но вместительные и надежные самолеты, уже перевозят боеприпасы, оружие, пехоту и парашютистов в Норвегию, Ливию, на русский фронт. Наши собственные военно-воздушные силы, или, вернее сказать, наша армия, несколько отстали в реализации возможностей, обеспечиваемых воздушной транспортировкой войск. Однако сейчас уже отчасти благодаря модернизации первоклассных транспортных самолетов мы оснащены не хуже других, и нескончаемый поток грузовых «воздушных кораблей» летит в Китай (вместо прежней дороги через

Бирму), в Северную Африку и к другим линиям фронтов».



НОВАБРЬ 1892 г. «Как известно, является распространенным мнение о том, что и шерсть млекопитающих, и оперение птиц, и чешуя пресмыкающихся представляют собой эпидермическую структуру в основном идентичного характера. Однако после тщательного исследования роста и развития этих отдельных видов защитных покрытий д-р Ф. Маурер из Гейдельберга в настоящее время склоняется к выводу о том, что они соответствуют чувствительным точкам на коже земноводных, или, по меньшей мере, что они являются отростками, исходящими из этих точек как из основания. Как считает д-р Маурер, его исследования подтверждают теорию о том, что млекопитающие происходят непосредственно от земноводных и никогда не имели в качестве своих прародителей каких-либо пресмыкающихся».

«Незаконченный обелиск в каменоломнях Сиены указывает на способ, с помощью которого древние отделяли эти монолиты от материнской горной породы. В четко прорубленной бороздке, отмечающей границу камня, имеются отверстия, предназначенные, по всей видимости, для деревянных клиньев. После того как клинья плотно вставлялись в отверстия, бороздка заполнялась водой. Клинья разбухали и разламывали гранитную глыбу по всей длине бороздки. Затем блок вытаскивали по валкам из карьера к берегу Нила, где он обвязывался большим плотом из строевого леса. Блок лежал на речном берегу до тех пор, пока очередное наводнение не поднимало плот и не перемещало его к городу, где должен был быть воздвигнут обелиск. Там, с помощью валков, рычагов и канатов его постепенно поднимали в вертикальное положение».

«На открытии телефонной линии между Нью-Йорком и Чикаго, о котором был репортаж в предыдущем номере нашего журнала, проф. Белл был сфотографирован с помощью фотовспышки, когда он разговаривал с г-ном Уильямом Хаббардом, находившимся в Чикаго — на расстоянии около 1000 миль. Фотография, помещенная здесь, взята из журнала «Electrical Review». Она интересна с исторической точки зрения, поскольку демонстрирует успехи, достигнутые в обеих областях науки — телефонии и фотографии».



Александр Белл говорит по телефону

# Реформа здравоохранения

*Стоимость медицинских услуг быстро повышается, а миллионы людей при этом не имеют медицинской страховки, которая бы компенсировала эти расходы. Стране необходимо срочно создавать всеобщую программу медицинского страхования*

РАШИ ФЕЙН

**П**ЕРЕД здравоохранением США стоят две неотложные проблемы. Первая заключается в том, что 35 млн. американцев не имеют медицинской страховки, а многим из тех, у кого эта страховка есть, она зачастую не компенсирует все расходы на медицинское обслуживание. Ситуация усугубляется тем, что большинство американцев считают медицинское обслуживание одним из своих гражданских прав: они полагают, что человеку нельзя отказывать в необходимом лечении по причине его низких доходов. Несмотря на разногласия в деталях (например, в вопросе о том, что считать необходимым или адекватным лечением и сколько должны стоить те или иные услуги), многие сходятся на том, что в США не удалось создать систему, которая обеспечивала бы справедливое распределение медицинской помощи.

Вторая проблема, появившаяся позже, касается влияния роста расходов, связанных со здравоохранением, на долгосрочные экономические перспективы страны. В 1940-х годах на здравоохранение уходило 4 млрд. долл., т.е. всего 4% валового национального продукта (ВНП) США. В 1990 г. эти расходы составили 666 млрд. долл., или 12,2% ВНП; экстраполируя, можно прогнозировать, что в 1992 г. страна израсходует на здравоохранение более 800 млрд. долл., или 13,4% ВНП.

Рост доли ВНП, затрачиваемой на здравоохранение, сопровождается уменьшением средств, выделяемых на другие нужды, такие, как образование, развитие инфраструктуры, научные исследования и разработки. В 1990 г. предприятия затратили 61% прибыли до вычета налога на покрытие расходов по медицинскому обслуживанию своих работников (для сравнения, в 1970 г. этот показатель составлял 20%). Выплаты, связанные с медицинским обслуживанием, составили 15,3% всех федеральных расходов; в среднем 11,4% бюджетов штатов и местных бюджетов ушли на здравоохранение. Это является при-

чиной сокращения выплат по другим правительственным обязательствам и инвестиций в экономические проекты, от которых зависит будущее страны.

По сравнению с любой из 23 других членов Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) США расходуют на здравоохранение гораздо большую долю своего валового внутреннего продукта (ВВП) — т.е. стоимости всей продукции, произведенной исключительно на территории США. В 1989 г., например, США затратили на эти цели 11,8% ВВП. Затраты Канады, например, составили лишь 8,7%, а 16 других стран — менее 8%. Частный сектор финансировал примерно 60% расходов США на здравоохранение, тогда как во всех других странах ОЭСР, вместе взятых, — всего 20%. В результате у американских компаний остается пропорционально меньше капиталов, что ставит под угрозу их конкурентоспособность по отношению к другим странам.

Этическая и экономическая необходимость развития новой системы здравоохранения совершенно ясна. Хотя построение ее на существующей основе обладает определенной привлекательностью с политической точки зрения, основа эта имеет очень серьезные недостатки. Страна должна создать новую структуру, обеспечивающую всеобщее, или государственное, медицинское страхование — такое, которое помогло бы сдерживать рост расходов на здравоохранение.

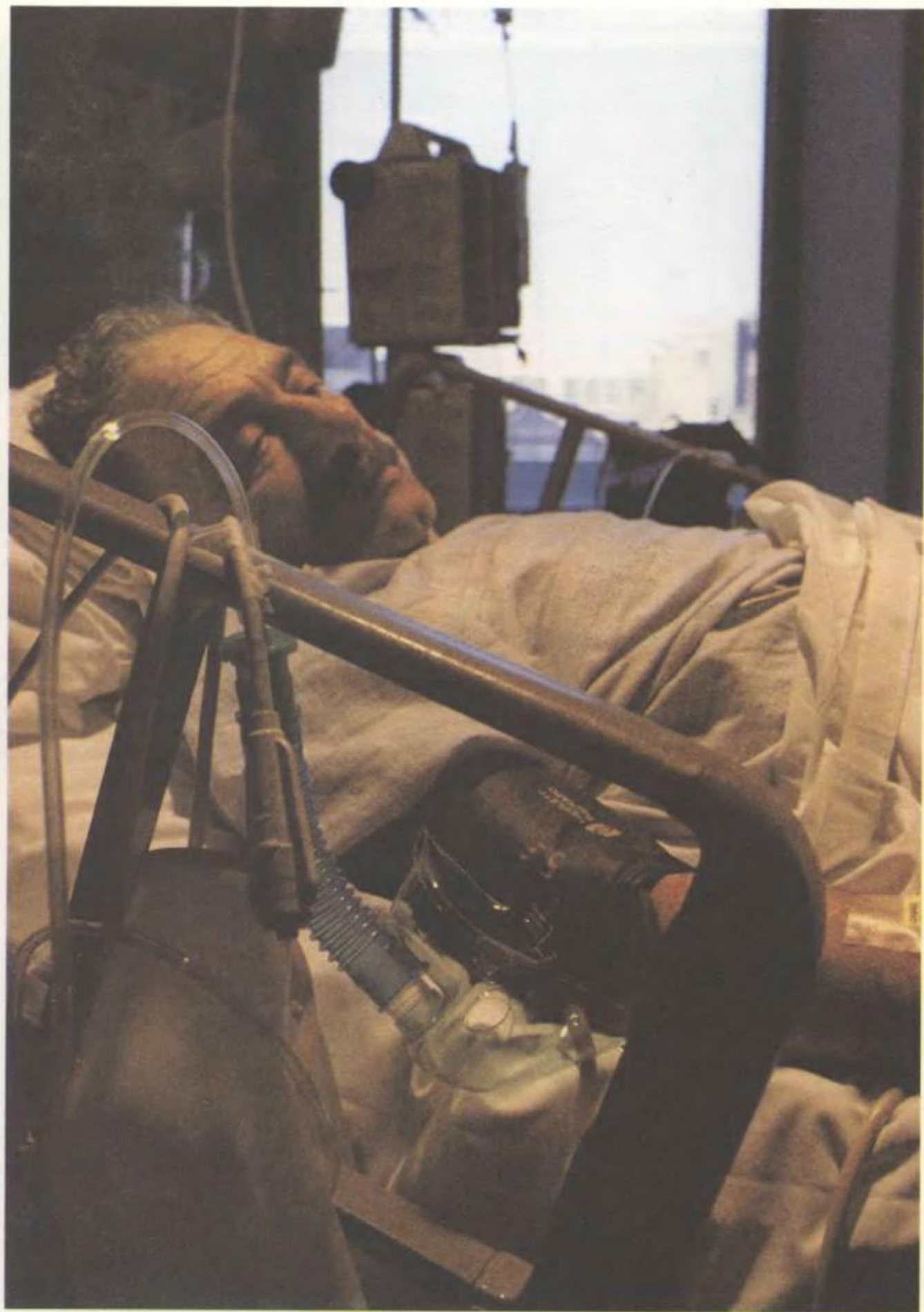
**Д**ИСКУССИИ по вопросу государственного медицинского страхования в США начались более 75 лет назад. В ту пору законодательные органы штатов начали рассматривать такие планы под давлением Прогрессивного движения, опираясь на успешные инициативы штатов, касающиеся компенсаций рабочим. «Дискурсивный словарь здравоохранения», выпущенный в 1976 г. конгрессом, указывает на постоянно изменя-

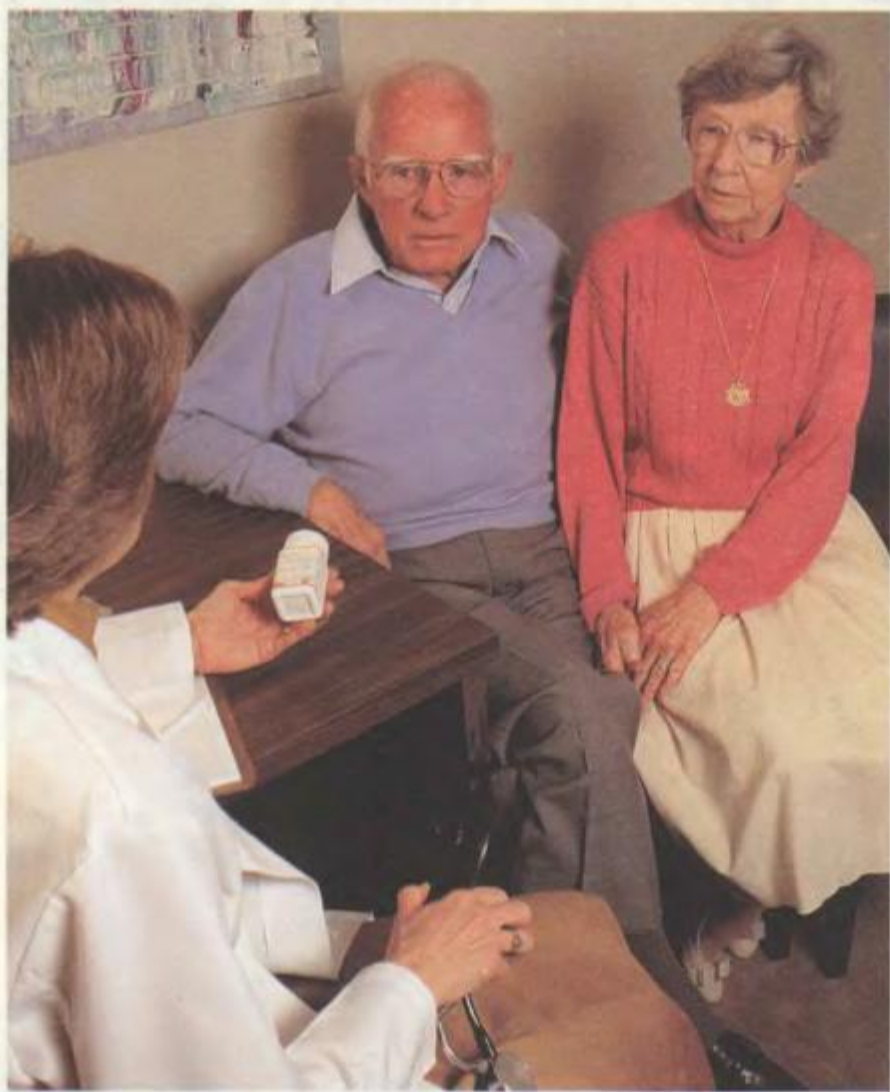
ющиеся представления о реформе здравоохранения. В дефиниции понятия государственного медицинского страхования отмечается: «термин, который в США еще не получил определения». Как показывают расхождения в законопроектах, обсуждаемых в настоящее время конгрессом, этот термин до сих пор остается не определенным.

Тем не менее главный аспект почти не меняется. Первые аргументы в пользу государственного медицинского страхования были сформулированы в терминах справедливого подхода: устранить финансовые преграды для людей, которые не в состоянии оплачивать медицинские услуги и либо вообще не имеют медицинской страховки, либо имеют, но ее объем недостаточен и компенсирует расходы лишь частично. Причиной этих недостатков страхования и остается неспособность частного (т.е. негосударственного) страхования обеспечить медицинское обслуживание на справедливых и доступных условиях.

Неадекватный характер страхования возник из-за тех изменений, которые претерпело личное страхование после второй мировой войны. На время войны правительство заморозило заработную плату, и это способствовало достижению согласия между администрацией и рабочими в отношении медицинского страхования. Служащие хотели иметь страховку, потому что уровень медицинского обслуживания повышался; работодатели предоставляли своим работникам эту дополнительную льготу, потому что она обходилась им относительно недорого, во всяком случае вначале. Такая ситуация привела к расширению

**ПОВЫШЕНИЕ РАСХОДОВ** на медицинские услуги угрожает людям, не имеющим медицинской страховки, а таких в США более 35 млн. человек. Чтобы предотвратить социальный и экономический кризис, необходимы радикальные реформы в нынешней системе медицинского страхования.





«МЕДИКЭР» гарантирует покрытие расходов на медицинские услуги пожилым и немощным людям. До 1965 г., когда была создана эта программа, многие пожилые люди не имели страховки или же должны были платить за нее непомерно высокие суммы, так как они относятся к группе повышенного риска. «Медикэр», в которой отсутствует дискриминация по отношению к представителям этой группы, могла бы послужить моделью для универсальной программы медицинского страхования.

страховой деятельности, которое продолжалось и после войны, когда Национальное управление по вопросам трудовых отношений постановило, что работодатели, не желающие предоставлять своим работникам медицинскую страховку, будут считаться виновными в недобросовестном отношении к последним. В результате проводимое работодателями личное медицинское страхование в течение 1940-х и 1950-х годов быстро набирало вес.

Однако такое личное страхование не распространяется на тех, кто не работает по найму, а также на тех, чья работа носит временный или нерегулярный характер. Лишены его также те люди, кому работодатели просто не представляют его по разным причинам, в том числе из-за высокой сто-

имости страховки. Возникла и еще одна проблема. Первоначально сумма страховки определялась исходя из «рейтинга по сообществу» (community-rating), т.е. страховые взносы отражали среднюю стоимость медицинских услуг для всех страхуемых. Сумма, выплачиваемая группой лиц или отдельным лицом, не зависела от возраста, пола, состояния здоровья и пользования медицинскими услугами в прошлом или в будущем. Эта стратегия подразумевала, что более здоровые и молодые subsidуют более старых и больных. Страхуемые рассматривали такую субсидию — своего рода усреднение риска — как один из желательных аспектов страхования.

Однако принцип «рейтинга по сообществу» недолго удержался в обще-

стве, где господствует конкуренция. Частные страховые компании искали новые рынки, определяя размеры взносов на основании стоимости медицинских услуг, оказанных определенным группам страхуемых. Такой подход получил название «рейтинга по прошлому опыту» (experience rating); он побуждал страховщиков искать клиентов или клиента среди лиц, относящихся к группе пониженного риска (в том числе среди работников определенных фирм), предлагая им страховку по более низким расценкам. Такая практика имела два печальных последствия: лицам или группам лиц пониженного риска оказалось выгодно обособливаться от лиц и групп повышенного риска и последние, например пожилые люди, обнаружили, что стоимость их страховки возросла.

Таким образом разделение расходов стало происходить только в пределах отдельных групп или подгрупп, но не между всеми группами. По мере того как лица, относящиеся к группе пониженного риска, стали отделяться от группы повышенного риска, средний риск для тех, кто оставался в данном сообществе, возрастал, а соответственно возрастала и стоимость страховки. В свою очередь люди, относящиеся себя к группе пониженного (по сравнению со средним для всей группы) риска, выходили из данного сообщества, что вело к дальнейшему повышению стоимости страховки для тех, кто в ней оставался. Возник некий порочный круг.

**ПАГУБНЫЕ** последствия «рейтинга по прошлому опыту» сегодня очевидны. Из-за резкого повышения стоимости медицинских услуг увеличилась разница в плате за страховку как между группами повышенного и пониженного риска, так и между «рейтингом по сообществу» и «рейтингом по прошлому опыту». Рост цен по-разному сказался на разных предприятиях и на разных людях. В частности, такие фирмы, как автомобильная компания Ford, в которой работает много немолодых людей, чаще прибегающих к услугам медицины, оказались в невыгодном положении. А таким компаниям, как Honda, работники которой в среднем моложе и здоровее, страхование обходится дешевле. (Это неравенство еще больше обостряется из-за того, что давно существующим фирмам приходится компенсировать расходы на медицину своим пенсионерам, которыми еще не «обзавелись» более молодые фирмы.)

«Рейтинг по прошлому опыту» привлек также внимание к предсу-

существующим факторам — медицинским проблемам, связанным с состоянием данного индивидуума до момента, как он или она получают страховой полис. Этот аспект, по-видимому, будет приобретать все большее значение, поскольку генетические исследования дают возможность все точнее определять факторы риска для данного индивидуума; в конечном счете предсуществующими факторами станут гены данного субъекта. Если только в стране не изменится практикуемая в настоящее время система медицинского страхования, людям, относящимся к группе риска выше среднего, станет все труднее получать такую работу, которая обеспечивала бы их страховым полисом, компенсирующим достаточный объем медицинских услуг.

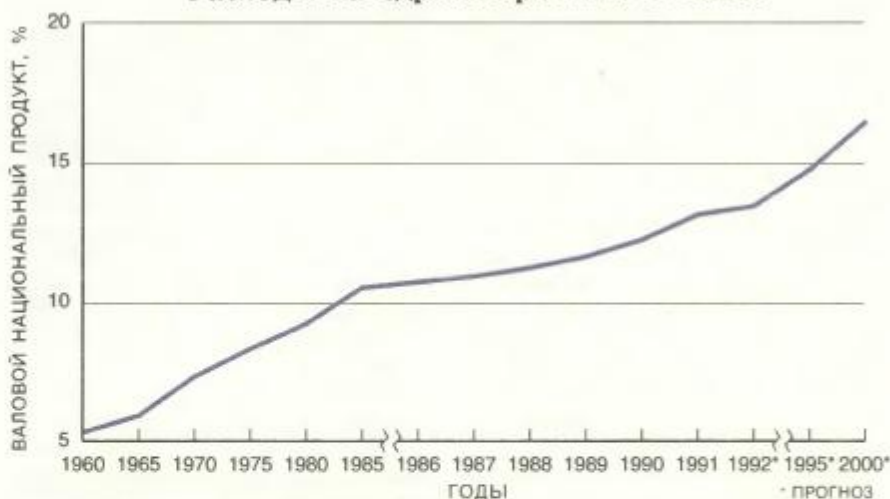
Можно назвать много факторов, которые объясняют резкое удорожание медицинских услуг, осложнившее проблемы американской экономики и обнаружившее недостатки системы «рейтинга по прошлому опыту». Выросло и продолжает расти население. Увеличивается доля пожилых людей, расходы которых на медицинские услуги велики. В экономике наблюдается общий спад. Кроме того, здравоохранение, как сфера услуг, представляет собой один из секторов экономики с низким увеличением производительности и весьма значительным ростом расходов.

И наконец, возрастает базовая стоимость медицинских услуг. Растущее количество судебных исков по обвинению врачей в преступной небрежности побуждает медицину к применению защитных мер. В повседневную практику вошло проведение анализов и процедур, терапевтическая ценность которых сомнительна, но которые в случае судебного разбирательства могут иметь важное значение. Наконец, самая веская причина повышения расходов состоит в том, что возможности медицины значительно расширились.

В дополнение к этому медицинское сообщество страны никогда не знало никаких ограничений бюджета. Многие пациенты защищены своими страховыми полисами от высокой стоимости медицинских услуг. Врачи, имея это в виду, могут свободно устанавливать размеры гонораров на нерегулируемом рынке. Действительно, в США врачи зарабатывают значительно больше, чем в любой другой стране Организации экономического сотрудничества и развития.

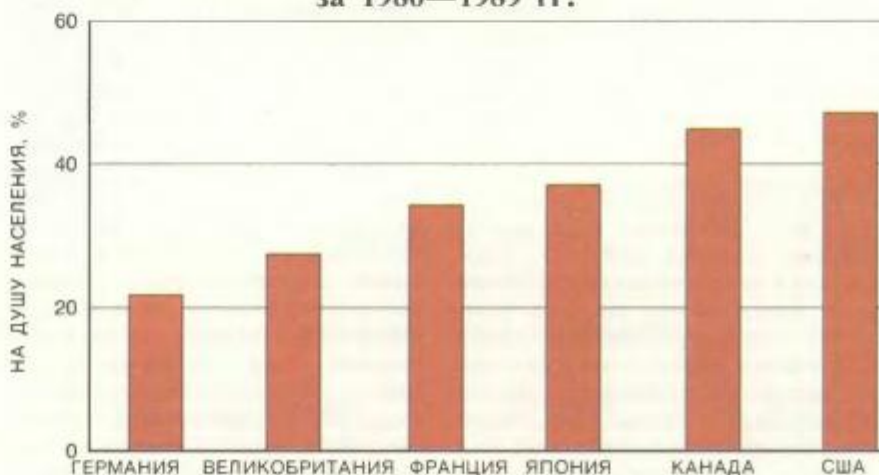
Постоянное увеличение стоимости медицинских услуг подрывает также структуру обеспечиваемого работодателем личного страхования, кото-

## Расходы на здравоохранение в США



ИСТОЧНИК: Управление финансов здравоохранения

## Возрастание расходов на здравоохранение за 1980—1989 гг.



ИСТОЧНИК: Организация экономического сотрудничества и развития

## Сопоставление расходов на здравоохранение, оборону и образование



ИСТОЧНИК: Consumer reports, Национальный центр статистики в области образования США, Управление финансов здравоохранения, Бюро по управлению и бюджету США

рое возникло после второй мировой войны. Высокая стоимость страховок побуждала работодателей к ограничению своих расходов. Они стали сокращать льготы, повышать долю участия самих работников в страховании и уменьшать объем услуг, компенсируемых договором страхования.

Стало очевидно, что обеспечиваемое работодателем личное страхование при системе, основанной на «рейтинге по прошлому опыту», не может охватить все население. Теперь, как и в 1950-е годы, имеются три группы, которые, по всей вероятности, не обеспечиваются полноценной или достаточной страховкой: это безработные, те, кому работодатели не предоставляют страховки, и те, кому трудно застраховаться по причине предшествующих факторов. Проблема доступности страхования приобретала все большее значение по мере того, как росли возможности медицины в лечении и предупреждении заболеваний, а стоимость медицинских услуг неуклонно увеличивалась.

**М**Ы МОЖЕМ создать универсальную программу страхования, которая позволит избежать недостатков и неблагоприятных эффектов ныне существующей системы. Концепция этой программы проста: каждый человек участвует в одной и той же финансовой программе, сходной по характеру с программой «Медикэр» (Американская программа бесплатной медицинской помощи престарелым. — *Ред.*). По этой программе пожилые люди, инвалиды и, скажем, больные на терминальной стадии почечной недостаточности пользуются медицинскими услугами из разных источников, хотя все расходы компенсируются одной и той же программой страхования.

Взносы в «Медикэр» не зависят от состояния здоровья данного лица или от медицинских услуг, которыми он пользуется в настоящее время или предполагает пользоваться в будущем. Не потребуется этого и в широкой системе, охватывающей всех граждан США. Исчезает «рейтинг по прошлому опыту», а вместе с ним и основание для дискриминации страхователей, относящихся к группе повышенного риска. Причина, побуждающая переводить стоимость услуг из одной программы в другую, отпадает, поскольку существует только одна программа. Кроме того, единая универсальная программа ликвидирует зависимость страхования от занятости. В отличие от этого программы типа «плати-или-играй» («pay-or-

play»), нередко представляемые как прагматический компромисс между радикально новой системой и той, которая практикуется в настоящее время, усиливает эту зависимость. Они требуют, чтобы работодатели либо «платили», т.е. выплачивали вперед некоторую правительственному фонду определенную сумму, которая будет использоваться на обеспечение страхования, либо «играли», т.е. обеспечивали своих работников медицинской страховкой, которая бы компенсировала заранее оговоренный объем услуг.

Однако, поскольку программы типа «плати-или-играй» создаются на основе существующей модели страхования, обеспечиваемого работодателем, они будут продолжать оставаться столь же неэффективными. Используя их, придется столкнуться с проблемами, связанными с обеспечением страховкой тех, кто трудится неполный рабочий день или работает не по найму. Придется вырабатывать особые механизмы, чтобы обеспечить непрерывность страхования для лиц, меняющих место работы или место жительства. Эти программы должны будут учитывать различные возможности работодателей по финансированию страхования и обеспечению соответствующих субсидий для «маргинальных» фирм, а также для начинающих предприятий. В программах типа «плати-или-играй» придется принимать специальные меры, чтобы компенсировать стремление работодателей нанимать преимущественно лиц, относящихся к группе пониженного риска, страховка которых обходится дешевле.

Несмотря на возможность вырабатывать особые меры, предусматривающие такие ситуации, каждая попытка компенсировать сложности страхования, обеспечиваемого работодателем, потребует определенных расходов. Вся система становится более громоздкой, административные функции разрастаются, а их стоимость возрастает.

Программы «плати-или-играй» должны все время «подстраиваться», чтобы поддерживать желаемое равновесие в обеспечении страхования из частных и общественных фондов. Относительно низкие взносы при программах типа «плати» (иными словами — слишком низкий налог) делает другую альтернативу, т.е. «играй», непривлекательной и приводит к спаду частного страхования. В свою очередь слишком высокие взносы вынуждают некоторых работодателей не предлагать страхование второго типа, хотя в результате такого выбора они возлагают тяжкий груз либо на се-

бя — в виде снижения доходов — либо на своих работников — в виде низкой заработной платы или безработицы.

Если, однако, все участвуют в одной программе, то ряд сложных проблем автоматически снимается. Аналогом может служить та же «Медикэр». Ее финансирование обеспечивается из нескольких источников. В 1992 г. 58% всех поступлений в фонд должны были быть получены от налогов с фонда заработной платы, 25% — от общей прибыли и 9% — от индивидуальных взносов. Ни один из этих взносов не зависит от состояния здоровья вносящего их лица, и точно так же будет обстоять дело с расширенной универсальной программой, в которой будут участвовать все американцы. «Рейтинг по прошлому опыту» и его неблагоприятные эффекты исчезнут.

Универсальная программа может опираться на любой из финансовых источников, которые использует «Медикэр», или же финансироваться за счет дополнительных источников доходов, таких, как налог на добавленную стоимость. Выбор источников финансирования имеет жизненно важное значение, и первоначальные политические и экономические затруднения, связанные с переводом в общественный сектор значительной доли средств из фондов частного медицинского страхования, оцениваемых в 460 млрд. долл., весьма значительны. Это, однако, преходящие заботы, и они облегчаются сознанием того, что в среднем повышение налогов, вызванное необходимостью финансировать универсальное страхование, будет возмещаться сокращением частных платежей по страховым взносам и медицинскому обслуживанию. Программа потребует не увеличения средств на финансирование здравоохранения, а просто их перемещения.

Единая универсальная программа имеет еще одну положительную черту, которая выявляется, если сравнить социальное обеспечение с благотворительностью, а «Медикэр» с «Медикэйд». Социальное обеспечение и «Медикэр» не проводят различия между людьми на основании их доходов. В отличие от этого благотворительность и «Медикэйд» предназначены только для немущих. Две первые — это «сильные» программы, которые, благодаря участию в них всех граждан, защищают малоимущих от капризов финансирования; судьбы групп с различным уровнем доходов здесь тесно переплетаются.

В отличие от этого мы финансируем «Медикэйд» и вкладываем деньги в благотворительность для «опреде-

ленной группы людей» — и мы знаем (или думаем, что знаем) кто эти люди. Эти программы полагаются на милосердие людей, но милосердие иногда дает сбой. Чтобы минимизировать неравенство в доступности и качестве услуг, важно создать программы, участие в которых не зависит от социального статуса и источников финансирования.

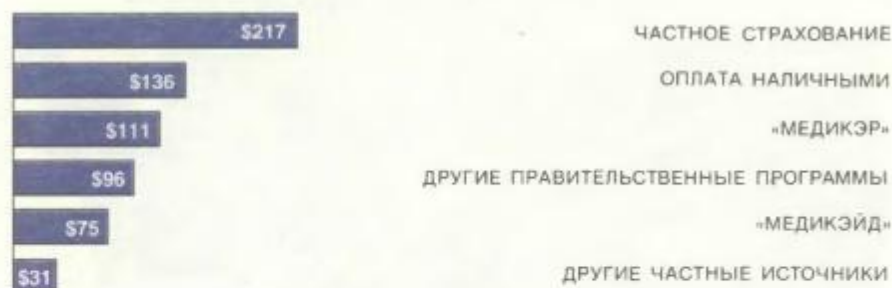
Между тем именно с этими факторами мы рискуем столкнуться, выбирая стратегии, подобные программам «плати-или-играй», в которых сочетаются частный и общественный подходы. Программы, финансируемые за счет общественных фондов, охватывали бы непропорционально много людей, принадлежащих к малообеспеченным слоям и к группам повышенного риска, за которых работодатели предпочитают платить. Стоимость медицинских услуг в расчете на одного такого человека будет выше, поскольку потребность в этих услугах отражает состояние здоровья, на которое в свою очередь оказывают влияние жилищные условия, уровень образования и занятость.

И в этом случае правительственные программы оказались бы более дорогостоящими, чем частные инициативы, вероятно, потому, что правительство действует менее эффективно; как следствие появляются основания для сокращения фондов общественного потребления или их поддержка оказывается недостаточной. На каком бы уровне ни находилась вначале финансируемая обществом программа, со временем любая программа для бедных становится бедной программой.

Включение всех граждан в одну и ту же программу, разумеется, не позволит справиться со всеми недостатками существующей в настоящее время системы или хотя бы взяться за их искоренение. Однако такой подход даст возможность непосредственно заняться проблемой сдерживания роста стоимости медицинских услуг.

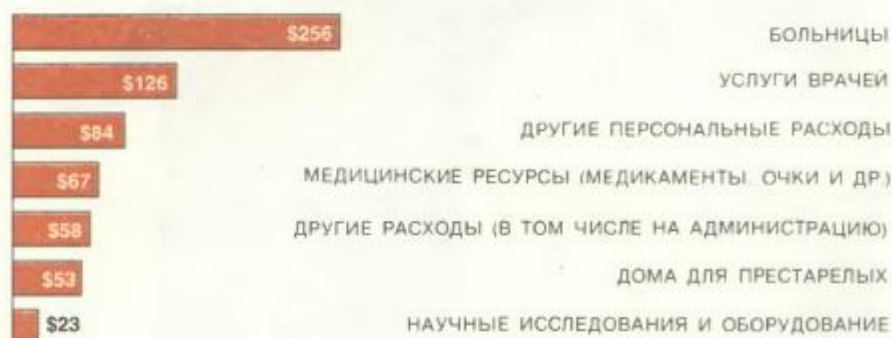
Единая программа страхования означает единого плательщика, или, лучше сказать, единого покупателя услуг. Такая ситуация создает возможность для стандартизации форм, проведения операций по счетам с помощью компьютеров и введения разного рода мер, уменьшающих путаницу, задержки и чрезмерные расходы на управленческий аппарат. Покупатель не только оплачивает счета за услуги, но и принимает на себя более широкую ответственность по оценке качества медицинского обслуживания, устранению ненужных услуг, ответственности получаемых услуг затрачиваемым средствам. Каждая из этих

## Как финансируется здравоохранение, млрд. долл.



ИСТОЧНИК: Управление финансов здравоохранения, 1990 г.

## На что расходуются средства, выделяемые на здравоохранение, млрд. долл.



ИСТОЧНИК: Управление финансов здравоохранения, 1990 г.

## Сравнение доходов врачей

|                | СРЕДНИЙ<br>ДОХОД ВРАЧЕЙ<br>В 1986 г.,<br>ДОЛЛ. США | ОТНОШЕНИЕ<br>ДОХОДА ВРАЧЕЙ<br>К СРЕДНЕМУ<br>ДОХОДУ | ЧИСЛО<br>ВРАЧЕЙ НА<br>1000 ЧЕЛОВЕК,<br>1981—1983 гг. |
|----------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| АВСТРАЛИЯ      | 34 191                                             | 2,26                                               | 1,9                                                  |
| КАНАДА         | 70 144                                             | 3,47                                               | 1,9                                                  |
| ДАНИЯ          | 39 061                                             | 2,01                                               | 2,4                                                  |
| ФИНЛЯНДИЯ      | 35 558                                             | 1,82                                               | 2,2                                                  |
| ФРАНЦИЯ        | НЕТ ДАННЫХ                                         | 3,27 (1979 г.)                                     | 2,2                                                  |
| ФРГ            | 91 244                                             | 4,28                                               | 2,4                                                  |
| ИРЛАНДИЯ       | 17 830                                             | 1,08                                               | 1,2                                                  |
| ИТАЛИЯ         | НЕТ ДАННЫХ                                         | 1,10 (1981 г.)                                     | 1,3                                                  |
| ЯПОНИЯ         | 56 437                                             | 2,46                                               | 1,4                                                  |
| НОРВЕГИЯ       | 31 664                                             | 1,38                                               | 2,0                                                  |
| ШВЕЦИЯ         | НЕТ ДАННЫХ                                         | 1,80 (1983 г.)                                     | 2,4                                                  |
| ШВЕЙЦАРИЯ      | 118 501                                            | 4,10                                               | 1,6                                                  |
| ВЕЛИКОБРИТАНИЯ | 33 615                                             | 2,39                                               | 1,3                                                  |
| США            | 119 500                                            | 5,12                                               | 1,9                                                  |

ИСТОЧНИК: Организация экономического сотрудничества и развития, 1986 г.

Доля населения штата,  
не имеющая медицинского страхования, %



НИЖЕ 10%  
 ОТ 10 ДО 14%  
 ОТ 15 ДО 19%  
 (ВКЛЮЧАЯ ОКРУГ КОЛУМБИЯ)

ОТ 20 ДО 24%  
 ОТ 25 ДО 26%

ИСТОЧНИК: Главное статистическое бюро США, 1988 г.

### Характеристики застрахованных и незастрахованных

|                          | СТРАХОВКА,<br>ПРЕДОСТАВЛЯ-<br>ЕМАЯ РАБОТО-<br>ДАТЕЛЕМ | ДРУГИЕ<br>ЧАСТНЫЕ<br>СТРАХОВКИ | ТОЛЬКО<br>ГОСУДАРСТ-<br>ВЕННАЯ<br>СТРАХОВКА | НЕЗАСТРА-<br>ХОВАННЫЕ |
|--------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|
| <b>РАБОТА</b>            |                                                       |                                |                                             |                       |
| ПОЛНЫЙ ДЕНЬ              | 81,9                                                  | 2,6                            | 2,8                                         | 12,7                  |
| НЕПОЛНЫЙ ДЕНЬ            | 59,7                                                  | 8,8                            | 7,5                                         | 24,1                  |
| НЕ ПО НАЙМУ              | 54,7                                                  | 20,6                           | 1,8                                         | 22,9                  |
| <b>РОД ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b>  |                                                       |                                |                                             |                       |
| СФЕРА ОБСЛУЖИВАНИЯ       | 52,5                                                  | 9,5                            | 6,6                                         | 31,5                  |
| СТРОИТЕЛЬСТВО            | 60,0                                                  | 6,8                            | 1,9                                         | 30,6                  |
| ТОРГОВЛЯ                 | 68,3                                                  | 6,3                            | 4,0                                         | 21,4                  |
| ПРОИЗВОДСТВО             | 85,9                                                  | 2,8                            | 1,0                                         | 10,3                  |
| <b>ЧИСЛО РАБОТНИКОВ</b>  |                                                       |                                |                                             |                       |
| МЕНЕЕ 10 ЧЕЛОВЕК         | 56,5                                                  | 13,1                           | 4,2                                         | 26,3                  |
| БОЛЕЕ 500 ЧЕЛОВЕК        | 89,4                                                  | 1,3                            | 3,2                                         | 6,1                   |
| <b>ПЛАТА ЗА 1 ЧАС</b>    |                                                       |                                |                                             |                       |
| 3,5 ДОЛЛ. И МЕНЕЕ        | 53,9                                                  | 6,0                            | 10,1                                        | 30,1                  |
| 3,51 ДО 5 ДОЛЛ.          | 56,3                                                  | 6,0                            | 7,3                                         | 30,4                  |
| БОЛЕЕ 15 ДОЛЛ.           | 91,3                                                  | 1,9                            | 1,7                                         | 5,1                   |
| <b>ЭТНИЧЕСКАЯ ГРУППА</b> |                                                       |                                |                                             |                       |
| БЕЛЫЕ                    | 69,1                                                  | 11,7                           | 6,8                                         | 12,4                  |
| ЧЕРНЫЕ                   | 48,5                                                  | 4,5                            | 25,1                                        | 22,0                  |
| ЛАТИНОАМЕРИКАНЦЫ         | 45,9                                                  | 4,2                            | 18,3                                        | 31,5                  |
| <b>ВОЗРАСТ</b>           |                                                       |                                |                                             |                       |
| ДО 6 ЛЕТ                 | 62,5                                                  | 5,0                            | 15,8                                        | 16,7                  |
| ОТ 19 ДО 24              | 55,2                                                  | 8,1                            | 6,5                                         | 30,2                  |
| 65 ЛЕТ И СТАРШЕ          | 35,4                                                  | 39,3                           | 24,4                                        | 0,9                   |

ИСТОЧНИК: Отделение службы здоровья и человека.

Цифры означают проценты. Некоторые суммы не равны 100% вследствие округления.

функций помогает контролировать стоимость обслуживания.

Кроме того, универсальная программа, финансируемая за счет налогов и страховых взносов, просто не может просуществовать в течение сколько-нибудь длительного времени, если она не учитывает проблемы стоимости. Если вы не можете финансировать принятые обязательства, вы будете вынуждены увеличивать доходы или перекладывать расходы на плечи пациентов, и в результате программа провалится. При единой программе страхования нельзя перекладывать расходы с одного страхователя на другого; программа должна достигать своих целей, не выходя за рамки бюджета.

Поэтому в универсальной программе должен быть установлен общий бюджет для медицинского обслуживания и аналогичные бюджеты для врачебных и больничных услуг. Как показал опыт многих стран, в том числе Франции и Японии, путем переговоров между всеми заинтересованными сторонами, включая правительство и тех, кто предоставляет медицинские услуги, такой бюджет создать можно. Это своего рода политический процесс, при котором необходимо сопоставлять стоимость медицинских услуг с расходами по другим социальным программам и расходами частного сектора.

Такие меры, как заблаговременно создаваемые бюджеты на помощь в условиях стационара, подушная (безгонорарная) плата за лиц, состоящих в «организациях медицинского обслуживания», и другие подходы к оказанию помощи лежащим больным, позволяют преодолевать бюджетные ограничения. Развитие необходимых для этого структур не потребует особого напряжения ума.

Серьезные затруднения могут возникнуть (как это обычно происходит со всеми правительственными программами) при выборе бюджета, который отражал бы общественное мнение в случаях столкновения потребностей и возможностей капиталовложений (примером может служить образование). В 1960-х и в начале 1970-х годов избиратели опасались, что правительство слишком расточительно и что государственное медицинское страхование приведет страну к банкротству — особенно страну, для которой более высокое качество обслуживания означает более высокие расходы. Сегодня избиратели опасаются обратного, что законодатели проявят скупость и что страна не будет тратить столько, сколько это необходимо, на поддержание инфраструктуры здравоохранения.

Конечно, недовложения средств гарантировать нельзя. И все-таки имеется возможность построить такую государственную систему здравоохранения, которая уменьшит вероятность подобного явления. Главный защитный фактор — универсальность программы, т.е. одинаковая для всех и каждого система финансирования. Хотя за любым человеком сохраняется право отказаться от программы, финансируемой обществом, в пользу частного страхования, тенденции к этому можно ослабить, сделав уплату всеобщего налога обязательной даже в том случае, если человек предпочитает покрывать свои расходы на медицину из собственных средств. Кроме того, должно быть оговорено, что лица, связанные с финансированием программы, либо участвуют в ней полностью, либо не имеют к ней никакого отношения; это позволит избежать занижения вложений.

Для выработки реального бюджета здравоохранения те, кто принимает решения, должны больше заботиться о снабжении медицинских учреждений необходимыми ресурсами. Развитие высокотехнологичного оборудования и услуг, а также специальностей, представители которых высоко оплачиваются (хирургия, анестезиология, радиология и некоторые области терапии), стало одной из причин удорожания медицинских услуг. Если разрабатываемая система не сумеет разрешить проблему материальных и других стимулов, отсутствие которых ведет к снижению привлекательности таких специальностей, как семейный доктор, терапевт и педиатр, то ни цены, ни качество удержать на должном уровне не удастся.

Даже самая лучшая программа государственного медицинского страхования не сможет обеспечить доступность медицинского обслуживания на разумном уровне расходов, если перестройка здравоохранения ограничится заключением договоров страхования, финансированием и оплатой счетов. Необходимо реформировать медицинское образование и обучение, а также их финансирование. Высокая стоимость медицинского образования ведет к задолженности, образующейся в период учебы, и заставляет студентов выбирать более прибыльные специальности.

**М**НОГИЕ ученые, занимающиеся проблемами здравоохранения, считают, что видоизмененная система медицинского обслуживания в США окажется способной обеспечить медицинской помощью всех граждан за те 800 млрд. долл., которые сейчас расходуются на медицин-



MANAGEMENT  
"REACHES OUT"  
THROUGH THE  
"PROTECTED  
PAY  
ENVELOPE"

#### What's management got to do with four year olds?

Progressive management today has a good deal to do with four year olds, because it is concerned not only with employees but also with their families. A family man doesn't cease to be a family man when he comes to work, and if he is worried about things at home he carries that worry through the day with him. Simple truth, and an important one in managing personnel.

Many worries that beset the head of a family are financial. What if he is sick... what if he is injured... or if he dies... or will he be a burden to his children when he reaches retirement age? These worries... and they are not small ones... can today be largely eliminated through Connecticut General's "Protected Pay Envelope" plan, which provides simply as in combination Group Life, Accident and Sickness and Hospital Expense insurance and a Retirement income for employees.

Employees have a lot to thank management for when this plan is in operation. If you would like to see how practical the "Protected Pay Envelope" plan can be for your organization, send for our booklet the "Protected Pay Envelope."

LIFE  
ACCIDENT AND HEALTH  
GROUP INSURANCE  
AND ANNUITIES

**CONNECTICUT GENERAL**  
LIFE INSURANCE COMPANY...

HARTFORD, CONNECTICUT

МЕДИЦИНСКОЕ СТРАХОВАНИЕ в 1940-х и 1950-х годах было заботой предпринимателей, которые охотно предоставляли его своим служащим. В то время медицинская помощь была не такой дорогостоящей и многие люди, которым в период второй мировой войны федеральное правительство оплачивало расходы на медицинское обслуживание, рассчитывали, что предприниматели также будут компенсировать им эти расходы. Здесь воспроизведена реклама, появившаяся в журнале "Fortune" в сентябре 1945 г.

ское обслуживание лишь части американцев. Эти эксперты заявили, что система могла бы делать это, не отказывая никому в той помощи, которая необходима с медицинской точки зрения. Они указывают, что, если отказаться от необязательных процедур и усовершенствовать систему управления, это даст большую экономию. В самом деле, судя по некоторым оценкам, среди проводимых процедур доля необязательных достигает 25%.

Тем не менее экономия станет ощутимой лишь через несколько лет. Для определения того, что следует считать адекватным обслуживанием, придется проводить научные исследования; необходимо будет также достигнуть согласия относительно необязательных услуг. Придется изменить и установившийся характер ме-

дицинской практики. Необходимо также организовать активно действующий рынок труда, чтобы обеспечить работой тех, кто в результате реорганизации окажется уволенным.

Но что, если сэкономленных средств не хватит на предоставление за разумную плату всех тех услуг, которые может предложить новая система или которые хотят получить пациенты? Что если в первое время возможности системы окажутся недостаточными?

Должен подчеркнуть, что я не считаю, что при реорганизациях такой высоко обеспеченной системы, как наша, людям придется столкнуться с очередями и длительными ожиданиями. Я допускаю, однако, что нам придется нормировать медицинские услуги. При этом под «нормировани-

ем» я понимаю «справедливое распределение». В медицинском обслуживании это означает распределение услуг на основании критериев, не зависящих от доходов, т.е. критериев, придающих приоритетное значение медицинским показателям, срочности лечения и возможным льготам.

**Д**ОСТИГНУТЬ согласия по этим вопросам нелегко, но решить их можно. В других странах правительства нередко справлялись с аналогичными проблемами, передавая процесс принятия решений врачам, которые распределяют и контролируют информацию и ресурсы, определяют первоочередные задачи и осуществляют нормирование.

Другая стратегия состоит в том, чтобы общество взяло на себя большую ответственность за нормирование и конкретизировало его. В шт. Орегон происходит дебаты такого рода с целью определить, какие конкретные услуги будут, а какие не будут предоставляться по принимаемой в этом штате медицинской программе. Однако на этом пути уже возникло множество проблем. Предложенная схема нормирования оказалась слишком жесткой, потому что в ней слабо учитывается мнение врача в частных случаях. Кроме того, она ставит в невыгодное положение немощных матерей и детей. Федеральное правительство не одобряет реализацию этой программы, считая ее дискриминационной по отношению к инвалидам.

Программа шт. Орегон — это, однако, лишь первая попытка нормирования медицинского обслуживания для части населения на уровне штата. Этот опыт показывает, как трудно достигнуть согласия, но вместе с тем он продемонстрировал, что путем открытых дебатов политический процесс может привести к созданию и совершенствованию четко сформулированных принципов нормирования. Во всяком случае, универсальная программа медицинского страхования не порождает нормирование как таковое; скорее она заменяет существующую в настоящее время систему ценового нормирования схемой справедливого нормирования.

Для того чтобы система медицинского обслуживания была жизнеспособной, она должна быть проникнута чувством общности, чувством солидарности с другими людьми. Это требование, как мне кажется, служит доводом в пользу планов, проводимых в жизнь властями каждого штата, а не далеким федеральным правительством. Наличие программ страхования, проводимых штатами, вместо одной федеральной программы,

не нарушит принципа универсальности. Очень важна детальная проработка тех моментов, где переплетаются компетенция федерального правительства и компетенция штатов. Федеральное правительство должно определять предоставляемые льготы и политику сдерживания стоимости услуг, а также обеспечивать частичное финансирование. Однако, по моему мнению, преимущества, которые способны обеспечить власти штата и непосредственное участие граждан на местах, перевешивают вероятные дополнительные сложности.

Обсуждая реформу здравоохранения, другие экономисты и специалисты в области здравоохранения подчеркивают значение характера оказания медицинских услуг, роли регулируемого здравоохранения, вопроса распределения расходов и переговоров по определению соответствующей структуры гонораров (для врачей). Я не отрицаю важности этих моментов и не считаю, что в очерченную мною схему нельзя внести ряд изменений, не нарушив при этом изначальную целостность предложений.

В то же время я хочу подчеркнуть, что нам необходимо определить свою позицию по ряду основных моментов. Мы должны сделать выбор между универсальным социальным страхованием и продолжением страхования, предоставляемого работодателем; между рейтингами «по среднему для сообщества» и «по прошлому опыту»; между сдерживанием стоимости медицинских услуг и ее непрекращающимся возрастанием.

Предлагаемый мною подход имеет ряд недостатков. Помимо того что он не предполагает увеличения объема предоставляемых медицинских услуг, он еще и повышает роль правительства. Кроме того, он заставляет внимательно подойти к последствиям изменения структуры страхования, к судьбе лиц, потерявших работу, и к последствиям перевода больших сумм из частного сектора в общественный. Тем не менее система, аналогичная усовершенствованной «Медикэр» для всех, обладает таким очевидным преимуществом как простота. Она объяснима, понятна и при этом осуществима. В ней четко очерчены проблемы справедливого распределения и расходов.

**Г**РАЖДАНЕ не должны занимать позицию, избранную многими аналитиками и политическими деятелями. Они отвергают программу, которую признают эффективной и осуществимой, лишь потому, что считают переход к ней слишком радикальным шагом и не могут преодолеть законодательные препоны. Менее эффективные последовательно реализуемые проекты, кажушиеся «лучше», на деле могут оказаться сопряженными с такими же трудностями, как и изложенная здесь единая программа страхования. Ничто не дается легко, однако в случае реформы медицинского страхования, как и в других случаях, мнение общественности может приобрести больше сторонников, чем мнение членов палаты представителей. Так, в конце июня при голосовании по программам Кайзера и Луи Харриса оказалось, что среди взрослого населения 35% высказались в пользу программы единого плательщика, а за программу «плати-или-играй» — только 29%, несмотря на поддержку этой второй программы ведущими фигурами в конгрессе и лидерами делового мира.

В то время как последовательно реализуемую программу «плати-или-играй» можно рассматривать как предложение «инстемблишмента», привлечение большого внимания и широко обсуждавшееся в средствах массовой информации, более основательное предложение о едином плательщике предпочли 41 против 29% среди демократов и 38% против 29 среди граждан без партийной ориентации. Республиканцы высказались в пользу программы «плати-или-играй», но лишь с небольшим перевесом — 31% против 26%, несмотря на то что президент страны раскритиковал вариант единого плательщика как социалистический и чреватый большими очередами.

Год президентских выборов не самое подходящее время ни для того, чтобы призывать ученых на роли истинных экспертов в вопросах, требующих политических решений, ни для отказа от всеобъемлющей реформы со ссылкой на ее невыполнимость. Лучше бы всем нам побольше узнать о различных вариантах улучшения здравоохранения в нашем обществе и обсудить их.

## Наука и общество

### Клетки для детей Джерри

**В** ПРОШЛОГОДНИЙ День труда на телемарафоне с участием Ассоциации по мышечной дистрофии (АМД)

Джерри Льюис представил годичный обзор обнадёживающих успехов в лечении ряда приводящих к инвалидности болезней. Но остались за кадром разногласия специалистов по мышеч-

ной дистрофии в отношении к одной из областей терапевтических исследований, а именно к трансплантации клеток, называемых миообластами. Если одни ученые считают трансплантацию миообластов безопасной, то другие подвергают сомнению научную ценность этих экспериментов и опасаются вреда для здоровья молодых реципиентов.

«Слишком быстро совершился скачок от животных моделей к человеку», — заявил Г. Эпштейн из Медицинского колледжа Бейлора, являющийся научным консультантом АМД. Недавно в письме в журнал «Science» он и более двух десятков других врачей и исследователей призвали к общему мораторию на трансплантацию миообластов у людей до тех пор, пока в опытах на животных не будут получены ответы на некоторые основные вопросы.

«Я убежден, что это письмо представляет демарш молекулярных генетиков, стремящихся раздавить трансплантацию клеток», — раздраженно прокомментировал событие П. Лоу из Фонда исследований в области клеточной терапии в Мемфисе. Он сообщил о главных достижениях трансплантации миообластов, а его собственные исследования вызвали наибольшую озабоченность. «Они возражают, потому что боятся, что трансплантация миообластов займет место генотерапии», — сказал Лоу.

Заболевание, оказавшееся в центре разногласий, носит название мышечной дистрофии Дюшенна; оно представляет собой генетическое нарушение, приводящее к прогрессирующему истощению мышц. Этим заболеванием страдает примерно один из 3500 мальчиков. У больных в 5-летнем возрасте развивается мышечная слабость, которая впоследствии прогрессирует; обычно они погибают в возрасте около 20 лет вследствие нарушений диафрагмы или сердца. В середине 1980-х годов было установлено, что причиной мышечной дистрофии Дюшенна является дефект в гене, кодирующем белок дистрофин, необходимый для функционирования мышц. С тех пор исследователи пытались возобновлять деятельность пораженных мышц путем восстановления недостающего белка. В частности, были попытки разработать генотерапию — включение в геном мышц функционального гена дистрофина.

Альтернативным методом лечения является трансплантация миообластов, при которой в организм вводятся целые клетки, а не отдельные гены. Эксперименты на грызунах показали, что пересадка миообластов в дистрофическую мышцу в ряде случаев позволяет спасти мышечные волокна:

трансплантированные клетки сливаются с ними и производят дистрофин. В 1989 г. Дж. Карпати из Неврологического института в Монреале, Лоу (который работал тогда в Теннессийском университете в Мемфисе) и другие исследователи предприняли аналогичную терапию у человека. К настоящему времени более чем 60 детям пересажены миообласты.

Как правило, результаты терапии оказываются малообещающими: улучшение наблюдается лишь у немногих реципиентов. Однако в марте прошлого года журнал «Cell Transplantation» опубликовал более обнадеживающие данные, полученные Лоу. Используя патентованную технику, он с коллегами вводил миообласты в ножные мышцы детей с дистрофией и далее оценивал функциональные изменения. В группе из 13 детей у 81% сила ножных мышц увеличилась или не уменьшилась.

Многие специалисты по мышечной дистрофии видят в проведенном Лоу исследовании серьезные недостатки. Главный из них в том, что в нем не было контрольной группы больных. Но Лоу считает, что медицинская этика не позволяет использовать ту форму контроля, на которой настаивают оппоненты.

По словам Лоу, он не пользовался плацебо, поскольку, согласно его опыту, такие инъекции ускоряют дегенерацию мышц. Он также не практиковал трансплантацию миообластов только в одну ногу ребенка с тем, чтобы вторая оставалась в качестве контроля, так как из-за различия в мышечной силе конечностей ребенок может упасть и получить травму. Единственным допустимым контролем, как заявил Лоу, является сравнение состояния данной мышцы до и после введения миообластов, наподобие фотографий «до» и «после» в рекламе средств против облысения.

«Эксперимент без контроля — это не эксперимент», — отвечает Эпштейн. Он согласен с подходом фармацевтических компаний, разработавших статистические методы испытания лекарств без контрольных процедур. Однако в исследовании Лоу контроль является критическим, поскольку известны факты, указывающие на то, что циклоспорин (препарат, подавляющий иммунную систему, который Лоу давал детям для предотвращения отторжения трансплантированных миообластов) может сам по себе вызывать временное увеличение силы мышц.

Работы Лоу не единственные в области трансплантации миообластов подверглись критике. В конце апреля 1992 г. группа исследователей под руководством Х. Блау из Медицинской

школы Станфордского университета сообщила в журнале «Nature» о данных, подтверждающих способность трансплантированных миообластов производить дистрофин в пораженных мышцах. Однако Э. Хоффман из Медицинской школы Питсбургского университета — один из первооткрывателей дистрофина — считает, что полученные Блау результаты значат меньше, чем можно было бы думать. Феномен, называемый генетической реверсией, может приводить к такому же морфологическому изменению пораженных мышц, как если бы в них образовался дистрофин. В любом случае, как говорит Хоффман, в работе Блау трансплантация нормализовала не более чем 1% мышечных волокон. Такая эффективность слишком мала, чтобы иметь терапевтическое значение. «Успех ли это?» — вопрошает Хоффман.

Тем не менее Блау настаивает на правильности своих выводов, подчеркивая, что, в отличие от Лоу, проделала контрольные эксперименты, в том числе применила двойной слепой метод. Она также убеждена в том, что использованные ею методы исключают возможность ложно-положительных результатов, обусловленных генетической реверсией. По ее мнению, петиция о моратории является ошибочной, хотя Блау и признает, что в свете чрезвычайно низкой эффективности трансплантации миообластов, она и ее коллеги задумались о том, своевременны ли сейчас эксперименты на людях.

Защитники трансплантации миообластов ссылаются на то, что не известно ни одного случая ухудшения состояния больного ребенка в результате трансплантации. Эпштейн это не убеждает. «Такое утверждение абсолютно не согласуется со всем предшествующим опытом применения циклоспорина, свидетельствующим о побочных эффектах», — заявляет он, добавляя, что в число этих эффектов входят почечная недостаточность и рак. И Эпштейн, и Хоффман отмечают, что трансплантация миообластов неэффективна относительно истинной причины гибели при дистрофии Дюшенна — дегенерации сердца и диафрагмы.

Призыв к мораторию, пусть и искренний, не получил пока официальной поддержки. Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) не ввело пока никаких юридических оснований для трансплантации клеток. Национальные институты здоровья не финансируют в настоящее время каких-либо исследований в области трансплантации миообластов у человека. АМД, фи-

нансировавшая такие исследования, остается открытой для предложений. «АМД занимается выяснением причин и лечением, — заявил Д. Вуд, директор этой организации по науке и технологии. — Мы никогда не откажем в помощи там, где есть надежда на успех».

По мнению Вуда, на сегодняшний день нужны эксперименты как на животных, так и на человеке. Он рассматривает связанный с трансплантацией миобластов конфликт как «болезнь роста», присущую всем новым технологиям. «Это заставляет упорнее работать для получения правильного ответа, — говорит Вуд, отмечая, однако, что в свете протестов следует действовать с осторожностью. — Бог запрещает все, что может сократить жизнь ребенка даже на день».

Джон Ренни

### Искусственные живые ткани

С КОНЦА 1970-х годов усилиями специалистов по клеточной биологии, химии белков и биоинженерии удалось отчасти понять механизмы функционирования живых клеток и их агрегации в единое многоклеточное целое. Это создало основу для перспективной технологии на базе различных дисциплин, получившей название тканевой инженерии. «Здесь как в оркестре, — заметил вице-президент по медицинским делам фирмы Advanced Tissue Sciences (ATS) в Ла-Хойя (шт. Калифорния) Р. Козн. — На протяжении двенадцати лет каждый настраивал свой инструмент, а теперь все собрались вместе, чтобы сыграть Моцарта».

Расширяется изучение живых тканей — кожи, хряща, костей, печени, кишечника и связок. В числе наиболее активных изыскателей и генераторов идей — сотрудники Массачусетского технологического института в Сан-Диего, Гарвардского и Мичиганского университетов. Компания ATS, которая сейчас присоединяет к себе фирму Neomorphics в Кембридже (шт. Массачусетс), возглавила движение на рынок. За ней следуют фирмы Organogenesis и BioSurface Technology в Кембридже, LifeCell в Вудлендсе (шт. Техас) и Skeletech в Кливленде (шт. Огайо). Ожидается возникновение новых компаний, специализированных на тканевой инженерии.

«При восстановительной хирургии всегда не хватает ткани», — подчеркивает директор программы по пересадке печени в Бостонской детской больнице Дж. Ваканти. Из трупов нельзя получить живой материал, а

животные ткани отторгаются. Поэтому хирурги стремятся использовать аутотрансплантаты — собственные ткани пациента из других участков тела, дополняя их, где это возможно, металлом или пластиком. Культивируемые ткани открывают возможность излечивать детей с врожденными деформациями лица или частичным отсутствием кишечного тракта. Они также помогли бы людям, изуродованным ожогами, раком или травмами; позволили бы реконструировать суставы, разрушенные из-за чрезмерной нагрузки, артрита или иных заболеваний.

Тканевая инженерия поможет преодолеть и неизбежную постоянную нехватку органов для трансплантации. Ваканти пришел к выводу, что, как он сказал, «если нельзя достать органы, надо их делать», после того, как ему не удалось предотвратить смерть своих молодых пациентов именно из-за отсутствия материала для пересадки печени, который большая редкость. В 1986 г. Ваканти и специалист по химической инженерии Р. Лангер из Массачусетского технологического института начали разрабатывать модель ткани печени, которая на сегодняшний день уже принесла ощутимые результаты: с помощью этой искусственной ткани подопытные крысы жили на три месяца дольше. Пока — и Ваканти это признает — искусственная печень, пригодная для испытаний на людях, остается делом будущего, здесь еще годы работы. Однако небольшая компания Neomorphics, финансирующая работы Ваканти и Лангера, взялась за создание менее сложных тканей, таких, как хрящ, которые скорее будут готовы к «употреблению».

Эти исследователи — не единственные в данной области, кто изменил своим исходным целям ради более неотложных задач. «Мы решили сосредоточиться на выращивании тканей с широкими возможностями применения», — сказал Козн. Вначале фирма ATS, основанная в 1986 г. и называвшаяся тогда Marrow-Tech, намеревалась выращивать костный мозг (отсюда и прежнее название: marrow по-английски значит «костный мозг»), взятый у людей, пока они еще малы и здоровы, для использования в будущем (например, при генотерапии). Но вскоре сотрудники фирмы осознали, что им нужен продукт, который быстрее достигнет коммерческой стадии.

ATS мудро взялась за дело без спешки. Первый продукт — заменитель кожи под названием Skin<sup>2</sup> — поступил в продажу в ноябре 1990 г. Он предназначался для оценки токсичности ле-

карственных препаратов и косметических средств, а не для прямого медицинского применения. «То, чему мы научились, работая над материалом для токсикологических испытаний, было использовано в кожезаменителе, пригодном для лечения ожогов», — пояснил Козн.

В результате был создан материал под названием Dermagraft, представляющий собой тонкую сеть из «биорастворимого» (т. е. поддающегося биодеструкции) полимера, который «засевается» клетками кожи, а именно фибробластами дермы. Эта искусственная кожа, прошедшая практическую проверку в 150 ожоговых центрах по всей стране, служит живым здоровым ложем для эпидермиса, который берут с неповрежденных участков тела больного. Dermagraft позволяет избежать глубоких ран, какие остаются после взятия кожного лоскута для трансплантации по существующей методике. По мнению Козна, такая искусственная ткань должна приживляться лучше, чем натуральная кожа взрослого человека, так как в полимерный матрикс включаются клетки, полученные из крайней плоти новорожденных, а эмбриональные ткани не образуют рубцов.

ATS уже испытывала Dermagraft применительно к язвам конечностей, обусловленным нарушениями кровоснабжения. Вскоре будет проведена проверка продукта на других типах кожных язв, при которых аномальная подповерхностная ткань не дает нормальным клеткам эпидермиса мигрировать в рану. «Теперь знания, которые дала разработка кожного материала, мы стараемся применить к другой ткани — хрящу», — заявил один из ведущих сотрудников ATS Г. Нотон.

«Оптимальным заменителем хряща — будь то на подбородке, щеках или в суставах — является собственная хрящевая ткань организма», — подчеркивает Ч. Ваканти (брат Дж. Ваканти; по образованию он анестезиолог, но последнее время занимается изучением механизмов роста костной и хрящевой тканей). В его лаборатории в Бостонской детской больнице можно видеть отлитые из полимера уши и диски, готовые для «засева» клетками различных типов. В оптимизации биоматериалов для клеточного роста Ваканти сотрудничает с Л. Сима, ранее работавшей у Лангера (сейчас она доцент в Массачусетском технологическом институте).

В ортопедической хирургии при такой обычной аналитической процедуре, как артроскопия, можно брать некоторое количество хряща, скажем, из колена. Этот материал затем под-

вергают ферментативной обработке для деструкции матрикса, окружающего хрящевые клетки — хондроциты. Освободившись, эти клетки начинают размножаться. Им дают прикрепиться к пористому полимеру, который рассасывается по мере клеточного роста, что побуждает хондроциты самим формировать новый матрикс.

«Если поместить нужное количество клеток на подходящий субстрат, то в конце концов получится новый хрящ, вполне подобный настоящему», — утверждает Ваканти. Как он уверяет, выращенная им в лаборатории ткань по существу идентична хрящу, взятому со свежей говяжьей лопатки из университетской столовой, и по химическому составу, и по внешнему виду. Однако он оговаривается, что нужно еще испытать материал в условиях организма, в частности проверить его способность выдерживать нагрузку; этим должны заняться как сами фирмы-производители, так и Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA).

Наилучшим субстратом для прорастания хондроцитами оказалась масса пучков полимерных волокон, которая выглядит как распотрошенная хлопковая коробочка. Ваканти сообщил, что в опытах на кроликах, которым удалили суставный хрящ колена, полимер обеспечивал 80%-ное восстановление ткани — такого результата ранее не достигалось без специальных средств, не дающих клеткам «расползаться». Он полагает, что эффективность полимера может быть выше, если до имплантации дать клеткам больше времени на рост в матриксе.

Скорость рассасывания полимерного субстрата является одним из важнейших показателей в разработке заменителей живых тканей. В идеале искусственный матрикс должен разрушаться по мере клеточного роста и формирования организованных конгломератов клеток. Стремясь к этому, Лангер и его коллеги А. Микос и Д. Баррера варьируют количества ингредиентов в биоматериалах, таких, как полилактогликолевая кислота, которая используется в хирургических шовных материалах и системах введения лекарственных препаратов.

Как поясняет Лангер, суть здесь в том, чтобы внедрить в синтетический субстрат максимально возможное число клеток и тем самым получить большое отношение поверхности к объему. Тогда заменитель лучше имитирует нормальную ткань, и заживление идет быстрее. «Обычно использовались полимерные лоскуты и плен-



ЧАРЛЗ А. ВАКАНТИ демонстрирует уши, сформованные из «биорассорвимого» полимера, предназначенного служить опорой растущим клеткам хряща. (Фотография: Stanley Rowin.)

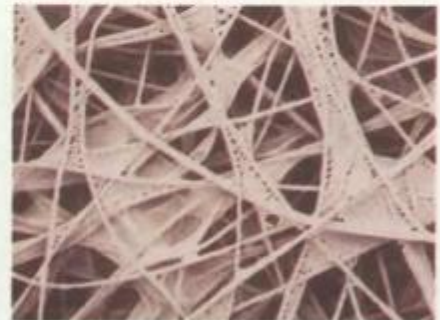
ки, но в них помещается немного клеток, — рассказывает Лангер. — Мы задумались над тем, как природа решила эту проблему. Ответ можно усмотреть в строении водорослей, деревьев, легких: для роста используется трехмерная ветвящаяся структура. Наша цель — создать именно такие полимеры».

По словам Лангера, «чем глубже знания по клеточной биологии, тем лучше для химической инженерии». Например, недавно установлено, что молекулы клеточной поверхности, обеспечивающие адгезию клеток, способствуют сохранению соседними клетками их уровня дифференцировки. Путем присоединения имитации этих молекул к полимеру можно будет поддерживать нужное функционирование клеток. Баррера, похоже, совершила значительный шаг вперед на пути к этой цели, включив в полилактогликолевую кислоту аминокислоту, служащую местом присоединения других веществ. Если новый полимер окажется воспроизводимым, станет возможной, как она говорит, имплантация любой локализации.

Специалисты по тканевой инженерии с энтузиазмом рассматривают воз-

можности использования новых технологий. Хирурги могли бы пользоваться компьютерными программами для производства синтетических субстратов или выбора уже готовых форм, например ушей или «розеток», складывающихся в нос. Полимеры по мере рассасывания могли бы высвобождать факторы роста, стимулирующих делящиеся клетки. Искусственные ткани могут также служить опорой для генетически модифицированных клеток.

Дебора Эрикссон



КЛЕТКИ ХРЯЩА заполняют пространство между полимерными волокнами. (Фотография: C. A. Vacanti.)

# Скорость расширения и размеры Вселенной

*Возраст, эволюция и судьба Вселенной зависят от скорости ее расширения. Измеряя размеры Вселенной с помощью разнообразных новых методов, астрономы уточнили значение этой скорости*

ВЕНДИ Л. ФРИДМАН

**Н**АША Галактика — Млечный Путь — и все другие галактики удаляются друг от друга вследствие взрывообразного рождения Вселенной. В XX в. космологи открыли расширение Вселенной, обнаружили микроволновое фоновое излучение взрывного начала, объяснили происхождение химических элементов и построили карты крупномасштабного распределения и движения галактик. Несмотря на эти и многие другие достижения, остаются без ответа основные вопросы. Когда началось расширение Вселенной? Будет ли Вселенная расширяться всегда или в конце концов расширение под действием гравитации сменится сжатием, а затем и гравитационным коллапсом?

На протяжении нескольких десятилетий космологи пытаются ответить на эти вопросы путем установления шкалы расстояния и измерения скорости расширения Вселенной. Чтобы выполнить эту задачу, астрономам необходимо определить скорости разбегания галактик и расстояния до них. Методы измерения скоростей галактик разработаны достаточно хорошо, но оценка расстояний оказалась гораздо более сложной задачей. В последние десятилетия несколько независимых групп астрономов усовершенствовали методы измерения расстояний до галактик, что привело к совершенно новым оценкам скорости расширения Вселенной.

В настоящее время имеется несколько свидетельств в пользу высокой скорости расширения, откуда следует, что Вселенная относительно молода — ее возраст всего около 10 млрд. лет. Из них также следует, что расширение Вселенной может продолжаться вечно. Однако по ряду причин мы с коллегами не считаем эти свидетельства окончательными и активно обсуждаем преимущества и недостатки используемых нами методов.

Точное значение скорости расширения необходимо не только для определения возраста Вселенной и ее будущей судьбы, но и для разработки космологических теорий и моделей образования галактик. Кроме того, без него не обойтись при оценке различных фундаментальных величин — от количества несветящегося вещества в галактиках до размеров скоплений галактик. А поскольку без точных значений расстояний невозможно определить светимость, массу и размеры астрономических объектов, с проблемой шкалы космологических расстояний, или, что эквивалентно, скорости расширения Вселенной, в большей или меньшей степени связана вся внегалактическая астрономия.

Измерения скорости расширения Вселенной начались около 60 лет назад. В 1929 г. выдающийся астроном Э. Хаббл из Института Карнеги обнаружил, что почти все галактики удаляются от Земли с огромными скоростями. Кроме того, он сделал замечательное открытие: скорость удаления пропорциональна расстоянию до галактики. Его наблюдения явились первым свидетельством расширения Вселенной.

Хаббл первым определил скорость расширения, поэтому она получила название постоянной Хаббла; ее величина равна скорости удаления галактики, деленной на расстояние до нее.

ТУМАННОСТЬ АНДРОМЕДЫ — важнейший пример, иллюстрирующий трудности измерения скорости расширения Вселенной. Хотя она находится на расстоянии 2,5 млн. св. лет от Земли, на ней сказывается гравитационное воздействие нашей Галактики. Поэтому по ее относительному движению нельзя судить о расширении Вселенной. Это явление можно выявить по наблюдениям более далеких галактик, но точная скорость расширения не известна из-за трудностей измерения расстояний до них.

Грубая оценка постоянной Хаббла составляет  $100 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпс})$ . (Астрономы обычно измеряют расстояния в



мегапарсеках (Мпс); 1 Мпс — это расстояние, которое свет проходит за 3,26 млн. лет). Таким образом, типичная галактика, находящаяся на расстоянии 50 Мпс, удаляется со скоростью около 5000 км/с, а галактика на расстоянии 500 Мпс удаляется со скоростью около 50 000 км/с (150 000 000 км/ч).

На протяжении 60 лет астрономы горячо обсуждали точное значение скорости расширения. Первоначальная оценка Хаббла составляла 500 км/(с · Мпс). После смерти Хаббла в 1953 г. его последователь А. Сандейж (также из Института Карнеги) продолжил программу изучения расширения Вселенной. По мере выполнения все более точных наблюдений пришлось пересмотреть значение постоянной Хаббла, и оно

сместилось в диапазоне от 50 до 100 км/(с · Мпс). Из этих новых значений следовало, что Вселенная гораздо больше, чем считалось на основе ранних измерений.

В два последующих десятилетия новые оценки постоянной Хаббла продолжали попадать в этот интервал, но группировались преимущественно вблизи двух экстремальных значений. Примечательно, что Сандейж со своим коллегой Г. Тамманом из Базельского университета отстаивал значение 50 км/(с · Мпс), а Ж. Вокюлер из Техасского университета — значение 100 км/(с · Мпс). Такое противоречие привело к ситуации, когда ученые были вольны выбирать любое значение постоянной Хаббла между этими двумя пределами.

В принципе определение постоян-

ной Хаббла — простая задача, требующая только измерения расстояния и скорости. Но если измерить скорость довольно просто, то определение расстояния — задача непростая. Для определения скорости свет галактики разлагают в спектр и регистрируют его. В спектре галактики присутствуют дискретные спектральные линии с характерными длинами волн, обусловленные излучением или поглощением специфическими химическими элементами в газе и звездах данной галактики. В спектре галактики, удаляющейся от Земли, эти спектральные линии смещены к длинноволновому концу спектра на величину, пропорциональную скорости. Это явление называется красным смещением.

Для определения расстояний до га-



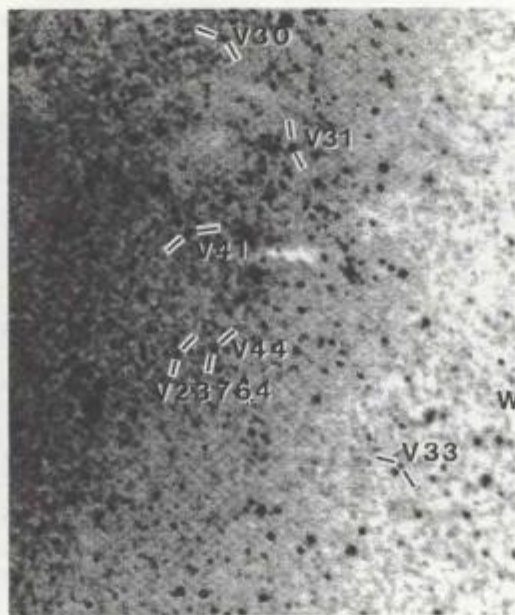
## Почему цефеиды пульсируют

**Ц**ефеиды — относительно молодые звезды, масса которых в несколько раз превосходит массу Солнца, а светимость периодически изменяется: происходит быстрое увеличение блеска, затем более медленный его спад. Пульсации цефеид обусловлены тем, что сила гравитации, действующая на атмосферу звезды, не уравновешена давлением горячего газа в ее недрах.

Этот дисбаланс связан с изменениями, происходящими в атмосфере звезды. Важной составляющей атмосферы является однократно ионизованный гелий. Он поглощает и рассеивает поток излучения из недр звезды и может даже стать двукратно ионизованным. Вследствие этого атмосфера становится менее прозрачной, что затрудняет прохождение сквозь нее излучения. Взаимодействие излучения с веществом порождает давление, ведущее к расширению атмосферы, в результате чего звезда увеличивается в размерах и ее светимость возрастает.

В то же время при расширении атмосфера охлаждается, а при более низкой температуре происходит рекомбинация, гелий снова становится однократно ионизованным, атмосфера становится прозрачной для излучения и его давление уменьшается. В конце концов атмосфера возвращается к прежним размерам, а звезда — к прежней светимости. Затем весь цикл повторяется.

Астрономы с большой точностью предсказывают поведение цефеид на основе теоретических моделей звездной эволюции и моделирования потока излучения. Астрономы считают цефеиды надежным индикатором расстояний, поскольку хорошо понимают физические процессы в этих молодых звездах и тщательно наблюдают их.



НЕСКОЛЬКО ЦЕФЕИД наблюдается в галактике М33 из нашей Местной группы галактик. Отдельные цефеиды отмечены буквой V с цифрой. Темные точки — звезды, а белые пятна — области пылевой материи.

лактик астрономы располагают богатым набором сложных методов, и, хотя каждый из них имеет свои преимущества, все они далеки от совершенства.

**Т**ОЧНЕЕ всего расстояния до ближайших галактик можно измерить с помощью переменных звезд, называемых цефеидами. Эти звезды периодически и довольно заметно изменяют свой блеск. В первой половине периода светимость увеличивается очень быстро, а во второй происходит медленный спад. В среднем светимость цефеид равна 10 000 солнечных.

Примечательно, что расстояние до цефеид можно определить по ее периоду и среднему видимому блеску. В 1908 г. Генриетта Левитт из Обсерватории Гарвардского колледжа открыла, что период изменений блеска цефеиды тесно связан с ее светимостью. Она установила, что чем длиннее период, тем больше светимость. Это соотношение обусловлено тем, что светимость цефеиды пропорциональна площади ее поверхности. Большие яркие цефеиды пульсируют с более длинным периодом, подобно тому как большие колокола звонят на низких частотах (с более длинным периодом колебаний).

По наблюдениям вариаций блеска цефеиды со временем можно определить ее период и средний видимый блеск, а по этим величинам найти светимость (т. е. звездную величину звезды, если бы та находилась на расстоянии 10 пс). Кроме того, известно, что чем дальше звезда, тем меньше ее блеск на земном небосводе. Таким образом из соотношения между видимым блеском и светимостью можно вычислить расстояние до цефеиды.

Цефеиды представляют собой удобные индикаторы расстояний по многим причинам. В частности, благодаря их периодической переменности и высокой светимости их легко обнаружить и наблюдать.

В 20-х годах Хаббл использовал цефеиды для того, чтобы подтвердить существование других галактик вне нашего Млечного Пути. Изучая фотографии туманности Андромеды, или М31, Хаббл выделил слабые звездобразные изображения, блеск которых незначительно изменялся со временем. Ему удалось показать, что их поведение сходно с поведением соседних цефеид. По измерениям блеска и периода цефеид в М31 он определил, что расстояние до туманности Андромеды превышает несколько сотен тысяч световых лет, т. е. она находится далеко за пределами Млечного Пути. С 30-х по 60-е годы Хаббл, Сандейдж и другие астрономы затратили огромные усилия, чтобы обнаружить цефеиды в соседних галактиках, что создало более надежную основу для определения постоянной Хаббла.

Одна из главных трудностей метода цефеид состоит в том, что видимый блеск звезды может искажаться пылевой материей в межзвездном пространстве. Пылевые частицы поглощают, рассеивают и вызывают «покраснение» света звезды всех типов, но сильнее всего эти эффекты проявляются в синей и ультрафиолетовой областях спектра. Поэтому следует наблюдать цефеиды либо в инфракрасной области спектра, где влияние пыли менее заметно, либо на многих длинах волн в оптическом диапазоне, чтобы можно было бы выявить влияние пыли и внести соответствующие поправки.

**И**З СКАЗАННОГО следует, что для определения расстояния до цефеид астрономам требуются телескопы и детекторы высокой чувствительности в различных областях длин волн. Хаббл, Сандейдж и их последователи использовали фотопластинки с наибольшей чувствительностью в зеленом и синем диапазонах спектра и эффективностью менее 0,1%. В настоящее время в распоря-

жении астрономов имеются кристаллические приборы с зарядовой связью (ПЗС), изготовленные из тонких слоев кремния. Эти приборы способны регистрировать излучение во всех областях спектра от синей до красной с эффективностью более 50%. Падающий на ПЗС фотон выбивает из кремния электроны, генерируя сигнал, который можно обнаружить.

По сравнению с фотопластинкой эффективность ПЗС очень велика. Кроме того, ПЗС регистрирует блеск источника света гораздо точнее, чем фотоматериалы. Поэтому ПЗС представляют собой идеальные детекторы для изучения цефеид и учета влияния пылевой материи.

За последнее десятилетие в Калифорнийском технологическом институте мной и моим мужем и коллегой Б. Мейдором были проведены тщательные измерения расстояний до ближайших галактик. Мы использовали для этого ПЗС и мощные рефлекторы различных обсерваторий, в том числе Мауна-Кеа на Гавайях, Лас-Кампанас в Чили и Маунт-Паломар в Калифорнии. В результате мы определили расстояния до ближайших галактик с гораздо большей точностью, чем прежде.

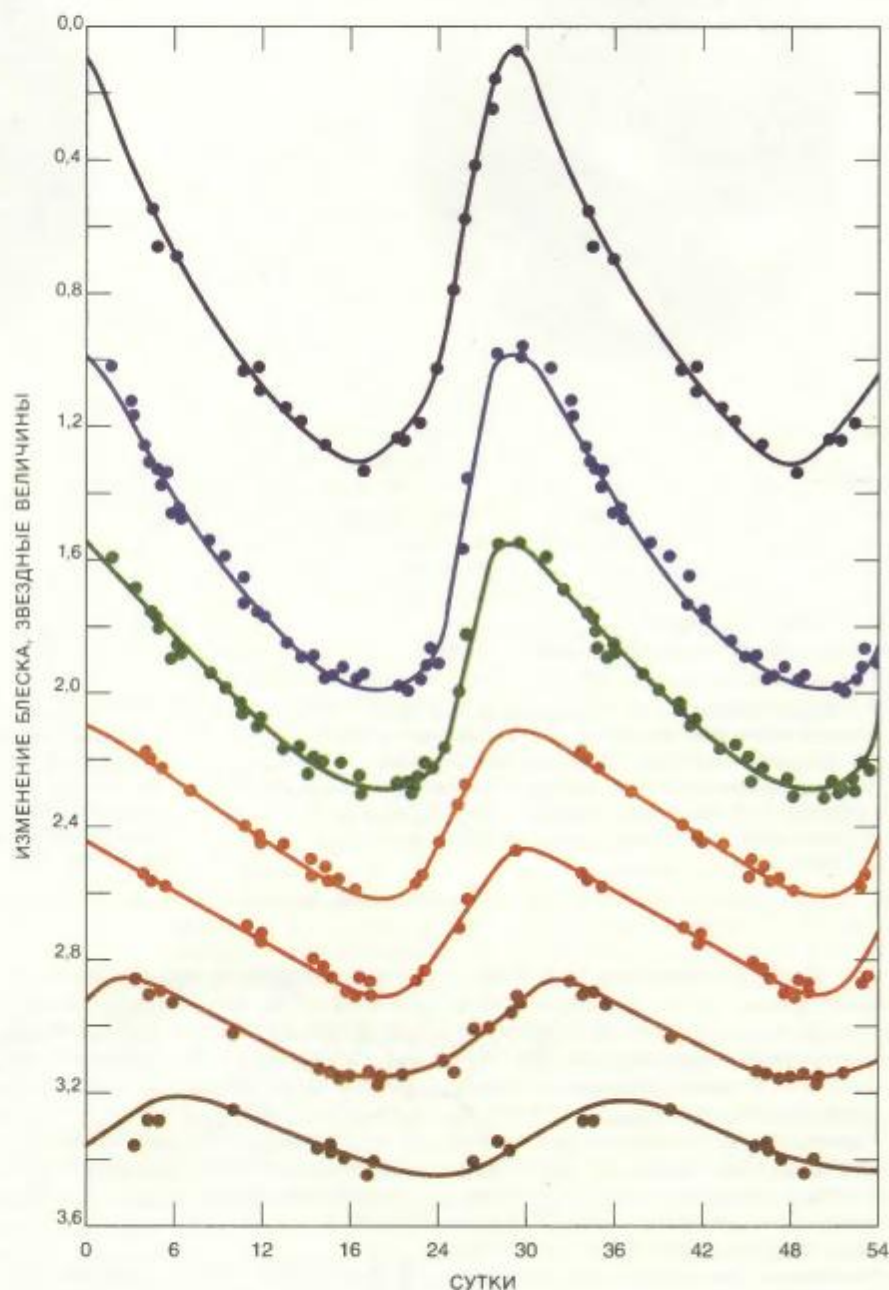
К сожалению, метод измерения расстояний до галактик по находящимся в них цефеидам не позволяет непосредственно получить постоянную Хаббла. Цефеиды легко наблюдать только в ближайших галактиках, где они достаточно ярки. И хотя ближайшие галактики также участвуют в расширении Вселенной, из-за гравитационного взаимодействия с соседями некоторые из них могут двигаться много быстрее или медленнее, чем Вселенная в целом. Следовательно, чтобы точно определить постоянную Хаббла, астрономы должны точно измерить расстояния до удаленных галактик, а это чрезвычайно трудная задача.

Тем не менее астрономы разработали несколько методов определения расстояний до удаленных галактик. Эти методы считаются косвенными, поскольку шкала расстояний в них калибруется по цефеидам. Они основаны либо на свойствах ярких объектов некоторых типов в галактиках, либо на свойствах самих галактик. Однако ученые никак не могут прийти к согласию относительно надежности вторичных индикаторов расстояний. Кроме того, у них нет согласия относительно применения большинства из этих методов и объяснения различных эффектов, которые могут исказить результаты. Эти разногласия лежат в основе всех современных дискуссий о постоянной Хаббла.

Один из многообещающих методов измерения больших расстояний основан на корреляции между яркостью галактики и скоростью ее вращения. Галактики высокой светимости, как правило, более массивны, чем галактики низкой светимости, и поэтому яркие галактики вращаются быстрее, чем слабосветящиеся. Хотя эта корреляция известна уже давно, но только в 1977 г. Б. Тулли из Гавайского университета и Р. Фишер из Национальной радиоастрономической обсерватории использовали эту корре-

ляцию для измерения расстояний.

Соотношение Тулли—Фишера дает наиболее точный результат, если измерения яркости галактики выполнены в инфракрасной области спектра. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, звезды, которые вносят наибольший вклад в светимость галактики, излучают преимущественно в ближней инфракрасной области. Во-вторых, такое инфракрасное излучение на пути к Земле меньше подвержено рассеянию в межзвездной среде. Десять лет назад соотношение Тул-

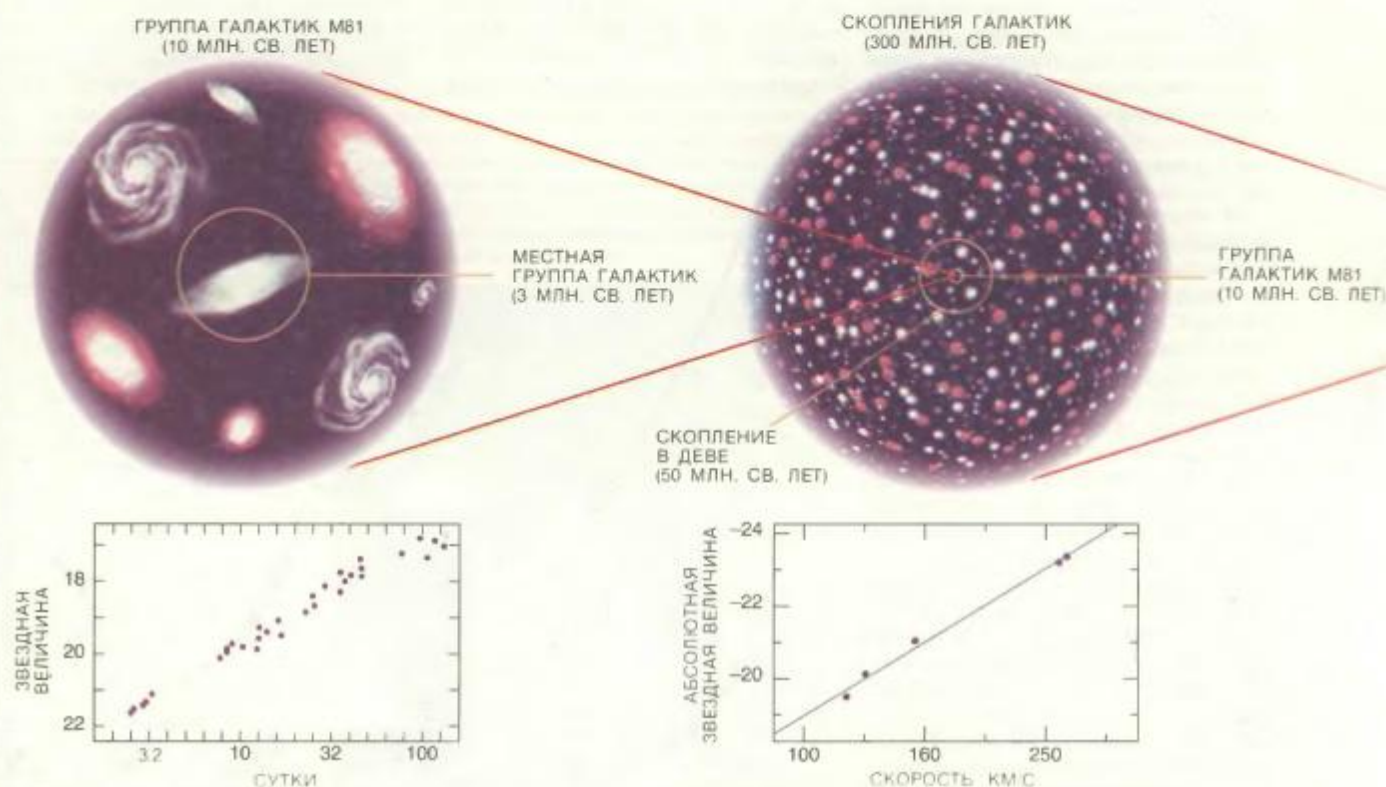


ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА цефеид меняется с периодом порядка нескольких суток. Цветные кривые блеска соответствуют наблюдениям на различных длинах волн (от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного диапазона). Амплитуда колебаний блеска приближается к максимальной в синей и ультрафиолетовой областях, поэтому цефеиды легче обнаружить с помощью детектора, чувствительного к синему цвету.

## Измерение расстояний до галактик

**А**строномы применяют несколько методов для измерения расстояний до галактик. К сожалению, чем дальше галактика, тем ниже точность измерений расстояния до нее. По наблюдениям с Земли пульсирующих переменных — цефеид — точно определено расстояние до группы галактик M81, находящейся на расстоянии

около 10 млн. св. лет. По наблюдениям с космического телескопа «Хаббл» удалось измерить расстояние до скопления в Деве (примерно 50 млн. св. лет). По яркости галактики и скорости ее вращения можно измерить расстояния порядка 300 млн. св. лет. Другой многообещающий метод основан на измерениях максимума блеска взрывающихся



**ПЕРИОД** цефеиды — это время, за которое звезда завершает полный цикл нарастания и спада светимости. Он связан со звездной величиной, или блеском звезды. Приведены данные наблюдений цефеиды в Большом Магеллановом Облаке в инфракрасном диапазоне.

**СКОРОСТЬ** вращения галактики связана с ее звездной величиной. Это так называемое соотношение Тулли—Фишера позволяет с высокой точностью определять расстояния до галактик. Расстояния до этих галактик были также измерены методом цефеид с помощью детектора ПЗС.

ли—Фишера в инфракрасном диапазоне было впервые использовано М. Ааронсоном (ныне покойным) из Аризонского университета, Дж. Муллом из Калифорнийского технологического института, Дж. Хукрой из Гарвардского университета и Г. Бодуном из Орегонского университета. С тех пор еще несколько независимых групп проверили метод Тулли—Фишера. Они показали, что это соотношение не зависит от того, находится ли галактика в плотных частях богатых скоплений, в их внешних частях или относительно изолирована.

По этой и ряду других причин астрономы пришли к согласию (хотя и неполному), что соотношение Тулли—Фишера — это один из наиболее

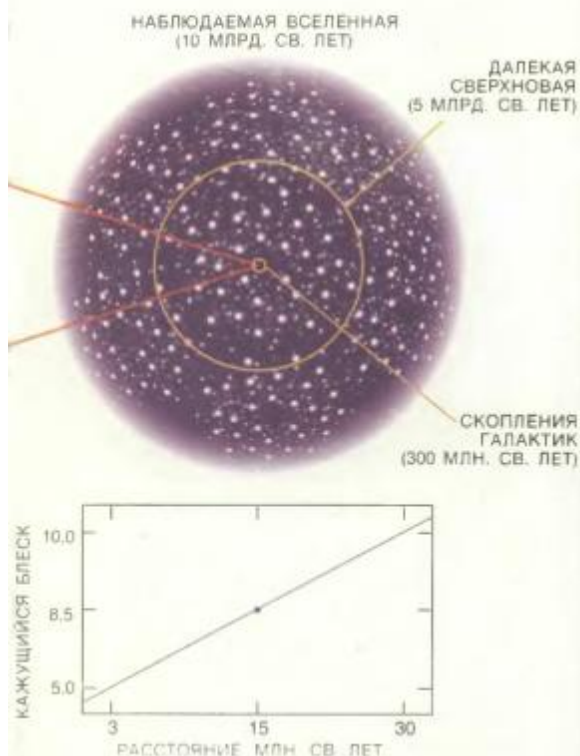
точных вторичных индикаторов расстояния. Его можно использовать для оценки расстояний до 300 млн. св. лет. Другое преимущество в том, что для его калибровки можно использовать метод цефеид. Недостатком же этого метода астрономы считают отсутствие надежной теоретической интерпретации соотношения Тулли—Фишера.

**Н**ЕДАВНО были разработаны еще два метода измерения расстояний (см. статью: К. Пауэлл. Отраженный космос, «В мире науки», 1992, № 1). В первом методе, предложенном Дж. Джакоби с сотрудниками из Национальных оптических обсерваторий, используются объекты,

называемые планетарными туманностями. Они образуются, когда звезды примерно такой же массы, как наше Солнце, приближаются к концу своего жизненного пути.

Джакоби с сотрудниками установили, что светимость планетарных туманностей не может превосходить вполне определенный верхний предел. Для определения расстояния до галактики достаточно измерить светимости ярчайших планетарных туманностей в ней. Для калибровки своего метода они использовали галактики, расстояния до которых определены методом цефеид. Они нашли, что расстояния, измеренные этим методом, хорошо согласуются с результатами метода Тулли—Фишера в тех случаях,

звезд — сверхновых типа Ia. В принципе вспышки сверхновых обнаруживаются до расстояний, равных половине радиуса наблюдаемой Вселенной. Как следует из приведенных ниже графиков, метод сверхновых гораздо менее точен, чем метод цефеид.



МАКСИМУМ АБСОЛЮТНОЙ СВЕТИМОСТИ сверхновых типа Ia, как предсказывает теория, постоянен, поэтому их видимый блеск связан с расстоянием от Земли. Однако для калибровки шкалы расстояний методом сверхновых астрономам удалось сделать всего одно измерение.

когда применялись оба метода.

Второй метод, разработанный Дж. Тонри с сотрудниками из Массачусетского технологического института, основан на том, что близкие галактики имеют более выраженную зернистую структуру, тогда как далекие галактики более однородны по распределению поверхностной яркости. Чем дальше галактика, тем меньше зернистость, структурированность ее изображения, поэтому задача разрешения отдельных звезд становится все более трудной. Следовательно, о расстоянии до галактики можно судить по уровню флуктуации яркости на ее поверхности. Тонри сравнил свои результаты определения расстояний до галактик методом

поверхностной яркости с расстояниями, найденными методами планетарных туманностей и Тулли—Фишера, и нашел, что все они прекрасно согласуются. С учетом неопределенностей при измерении межгалактических расстояний результаты Тонри обнадеживают. Однако в настоящее время шкала расстояний обоих методов еще недостаточно точно прокалибрована методом цефеид.

Еще один перспективный индикатор расстояний — сверхновые типа Ia. Сверхновые — это катастрофические взрывы, знаменующие гибель некоторых типов звезд. Как считают астрономы, сверхновые типа Ia являются компонентами двойных звездных систем, в которых одна из звезд — очень плотный объект, называемый белым карликом. Когда вещество со звезды-спутника переносится на белый карлик, происходит взрыв. Поскольку при взрыве сверхновой возникает мощное излучение, сверхновые доступны наблюдениям вплоть до расстояния 5 млрд. св. лет, составляющего половину радиуса наблюдаемой Вселенной.

Сверхновые типа Ia являются хорошими индикаторами расстояний, поскольку в максимуме блеска все они, по-видимому, испускают примерно одинаковый поток излучения. Исходя из этого, астрономы могут вывести расстояния до них.

К сожалению, вспышка сверхновой — очень редкое событие, что затрудняет их

открытие и особенно калибровку шкалы расстояний. В связи с уникальностью этого события вероятность того, что оно произойдет в достаточно близкой галактике, расстояние до которой может быть измерено методом цефеид, очень мала. Лишь в прошлом году Сандейж с коллегами впервые удалось непосредственно измерить расстояние до галактики, в которой произошла вспышка сверхновой типа Ia. С этой целью Сандейж с сотрудниками выполнили наблюдения цефеид с помощью космического телескопа «Хаббл». Хотя их работа весьма важна, но одного результата для точной калибровки шкалы расстояний методом сверхновых недостаточно.

С ТОНТИ упомянуть еще два метода определения постоянной Хаббла, поскольку они совершенно не зависят от шкалы расстояний, установленной по цефеидам, и могут быть полезны для измерения расстояний по огромной космологической шкале. Кроме того, попытки применения каждого из этих методов свидетельствуют в пользу более низкого значения постоянной Хаббла.

Первый из этих альтернативных методов базируется на эффекте, называемом гравитационной линзой. Если луч света на своем пути к Земле проходит вблизи галактики, то он может отклониться. При этом свет вблизи галактики идет по различным траекториям, и более коротким, и более длинным, а потому будет прибывать к Земле в различные моменты времени. Если яркость источника резко изменяется, то сначала сигнал будет виден в лучах, идущих более коротким путем, а некоторое время спустя будет наблюдаться снова, но в лучах, прошедших более длинный путь. По разности времен прихода можно судить о разности длин траекторий излучения. С помощью теоретической модели распределения масс в галактике можно вычислить значение постоянной Хаббла.

Второй метод основан на так называемом эффекте Сюняева—Зельдовича. В скоплениях галактик фотоны микроволнового фонового излучения могут приобретать энергию вследствие рассеяния на электронах горячей плазмы, находящейся в скоплениях. В результате этого процесса интенсивность микроволнового фона в окрестностях скоплений галактик уменьшается. Из сравнения распределений микроволнового и рентгеновского излучения можно вывести расстояние до скопления галактик. Но для этого необходимо также знать среднюю электронную концентрацию, распределение и температуру и точно измерить понижение температуры микроволнового фона. Вычислив расстояния до скопления и определив скорость его удаления, можно найти постоянную Хаббла.

Метод Сюняева—Зельдовича и метод гравитационной линзы весьма перспективны, но еще не были подвергнуты строгой проверке. Для оценки неопределенности этих методов необходимо найти как можно больше объектов с требуемыми характеристиками. Споры о наилучшем методе определения расстояний до далеких галактик продолжаются. Астрономы продолжают дискуссии о современном значении постоянной Хаббла. Сандейж с сотрудниками сообщил, что предварительные оценки



ГЕНРИЕТТА ЛЕВИТТ из Обсерватории Гарвардского колледжа открыла в 1908 г. корреляцию между периодом цефеиды и ее светимостью. Эта корреляция позволяет астрономам измерять расстояния до ближайших галактик.

по методу сверхновых типа Ia дали значение  $45 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпс})$ . Методы Сюняева—Зельдовича и гравитационной линзы также подтверждают низкое значение постоянной Хаббла.

Мы с коллегами получили наилучшую оценку с помощью последних измерений цефеид для калибровки соотношения Тулли—Фишера, метода планетарных туманностей и метода флуктуаций поверхностной яркости. Эти три независимых метода дают прекрасно согласующиеся между собой оценки постоянной Хаббла — около  $80 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпс})$ .

**И**ЗМЕРЕНИЯ, проводимые нами и нашими коллегами, очень важны для определения возраста, эволюции и будущего Вселенной. Низкое значение постоянной Хаббла соответствует большому возрасту Вселенной, а высокое — сравнительно молодому ее возрасту. Так, если постоянная Хаббла равна  $100 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпс})$ , то возраст Вселенной составляет примерно от 7 до 10 млрд. лет (в зависимости от полной массы вещества во Вселенной и, следовательно, вызываемого им замедления расширения). Однако при значении  $50 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпс})$  возраст Вселенной должен составлять от 15 до 20 млрд. лет.

Что же можно сказать о дальнейшей судьбе Вселенной? Если, как ука-

зывают современные оценки, средняя плотность вещества во Вселенной низка, то она будет расширяться вечно. Однако из теоретических расчетов следует, что помимо светящегося имеется еще много несветящегося вещества. Поискам этой скрытой массы посвящена целая область космологии. Но, чтобы однозначно ответить на вопрос о конечной судьбе Вселенной, космологам требуется не только знание постоянной Хаббла и средней плотности вещества, но и независимые оценки возраста Вселенной. Эти три величины необходимы для однозначной оценки геометрии и эволюции Вселенной.

Если постоянная Хаббла окажется высокой, это будет иметь далеко идущие последствия для нашего понимания эволюции галактик и Вселенной. При постоянной Хаббла  $80 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпс})$  возраст Вселенной должен составлять от 8 до 12 млрд. лет (с учетом неопределенности в значении средней плотности Вселенной). Эти оценки меньше, чем теоретические оценки возраста старых звездных систем, называемых шаровыми звездными скоплениями. Считают, что шаровые скопления были в числе первых объектов, образовавшихся в нашей Галактике, и их возраст оценивается от 13 до 17 млрд. лет. Ясно, что возраст шаровых скоплений не может быть больше возраста самой Вселенной.

Оценки возраста шаровых скоплений часто приводят как основание для выбора более низкого значения постоянной Хаббла, а значит, большего возраста Вселенной. Однако некоторые астрономы утверждают, что теоретические модели шаровых скоплений, из которых выводятся эти оценки, могут быть несовершенны и в их основе могут лежать неточные предположения. Например, в этих моделях предполагается, что известны точные отношения содержания некоторых присутствующих в шаровых скоплениях химических элементов, особенно кислорода и железа. Кроме того, для надежного определения возрастов требуются точные измерения светимостей звезд в шаровых скоплениях. Это в свою очередь требует точных измерений расстояний до шаровых скоплений. В связи с тем что измерения постоянной Хаббла, равно как и модели шаровых скоплений и оценки расстояний до них, могут быть отягощены ошибками, астрономам трудно судить о значимости расхождения между возрастом Вселенной и шаровых скоплений.

Высокое значение постоянной Хаббла ставит другую потенциально

важную проблему: оно не согласуется со стандартными теориями образования и распределения галактик в пространстве. Например, эти теории предсказывают время, которое требуется для формирования крупномасштабного сгущивания, наблюдающегося в распределении галактик. Если же постоянная Хаббла велика, т. е. Вселенная молода, такие модели не способны воспроизвести наблюдаемое распределение галактик.

Противоречие в значении постоянной Хаббла, возможно, удастся снять благодаря данным, продолжающим поступать с космического телескопа «Хаббл». Этот телескоп, названный в честь Эдвина Хаббла, был выведен на околоземную орбиту в апреле 1990 г. (см. статью: Э. Чейссон. Первые результаты с космического телескопа «Хаббл», «В мире науки», 1992, № 8).

Телескоп способен разрешать отдельные звезды на расстояниях, в 10 раз больших, чем при наземных наблюдениях. Поэтому он позволяет открывать цефеиды в объеме пространства, в 1000 раз превышающем область, доступную наземным телескопам.

Одна из главных целей космического телескопа «Хаббл» — открытие цефеид в таких далеких галактиках, как скопление в Деве (около 50 млн. св. лет). Цефеиды можно использовать для определения расстояний до этих галактик, а следовательно, для калибровки различных вторичных индикаторов расстояний. Такие наблюдения могут существенно повысить точность оценки постоянной Хаббла.

**Н**ЕКОТОРОЕ время назад мне с коллегами предоставили достаточно время для наблюдений на космическом телескопе «Хаббл» для поиска новых цефеид в далеких галактиках. В 1991 г. мы приступили к наблюдениям ближайшей галактики M81. Было идентифицировано более 20 новых цефеид и получены эффективные кривые блеска. К сожалению, выяснилось, что главное зеркало подвержено сферической аберрации, и большинство программ пришлось отложить до полной коррекции оптической системы телескопа (в настоящее время планируемой на декабрь 1993 г.).

Ученые с оптимизмом смотрят в грядущее десятилетие в надежде, что будет снято, наконец, противоречие, касающееся оценок возраста Вселенной и ее эволюции. Но как свидетельствует история науки, вряд ли мы станем последним поколением, которое ломает голову над этой проблемой.

## Динамика пустыни

ЛЮБОМУ наблюдавшему птиц, расталкивающих друг друга у садовой кормушки, идея о межвидовой конкуренции за жизненно важные ресурсы может показаться банальностью. Однако, как это ни странно, экологи часто спорят о ее роли в естественных экосистемах. Некоторые исследователи утверждают, что климатические факторы, такие, как температура и количество осадков, должны быть гораздо важнее для выживания особей. Столкновения из-за пищи, по их мнению, имеют значение в этом смысле только в неблагоприятные периоды, когда выбор кормовых участков ограничен.

Одна из причин неутраченного споров вокруг конкуренции состоит в том, что подсчет животных в естественных или близких к природным экосистемам весьма затруднителен. А поскольку полевые исследования обычно проводятся на ассигнования, выделяемые на год-два, они вынужденно непродолжительны. Одно из немногих исключений — работа Дж. Брауна из Университета Нью-Мексико. Он в течение длительного времени изучает взаимодействие между грызунами, птицами и растениями в пустыне Чиуауа на юго-востоке Аризоны. В его недавнем отчете делается вывод, что, несмотря на сильную зависимость численности особей от климатических факторов, между видами здесь непрерывно идет конкуренция.

Браун и его сотрудники начали свои опыты 15 лет назад с того, что огородили 24 участка 50 × 50 м в равнинной части пустыни около Портала. Изгороди из проволоочной сетки поднимались над землей на 60 см и уходили в почву на 20 см, чтобы кенгуровые крысы, белоногие хомячки и другие грызуны не могли сделать под ними подкоп. Несколько участков было оставлено без изменений. С некоторых экспериментаторы удалили крупных грызунов (отверстия в заграждениях были такими мелкими, что они не могли пролезть назад); на других площадках также исключались те или иные сочетания видов животных. За-

тем на каждом участке тщательно определялась численность присутствующих видов и прослеживались ее изменения.

На контрольных участках восемь изученных видов пустынных грызунов весьма различно реагировали на изменения окружающих условий. У некоторых из них наблюдались пятилетние циклы колебаний численности, которые Браун связывает с феноменом эль-ниньо, обуславливающим климатический цикл с обильными дождями на юго-западе США примерно раз в пять лет. Однако у других грызунов такой реакции нет, хотя все они питаются семенами, а растения производят их гораздо больше именно во влажные годы.

Исследования показывают, что предсказать реакцию каждого вида невозможно. По словам Брауна, ре-

зультаты его экспериментов не согласуются с излюбленным тезисом учебников по биологии о достижении экосистемами равновесия, соответствующего их географическому местонахождению. Природа не так проста. Чего никогда не наблюдалось на опытных участках — так это именно равновесия. Наоборот, состав сообществ непрерывно менялся.

Экспериментальное удаление тех или иных видов с участков дает дополнительные данные о сложной динамике состава даже такой относительно простой экосистемы. Это удаление, как утверждает Браун, может привести к каскаду последствий, прекращающихся только через годы. Например, когда с некоторых участков были удалены три вида кенгуровых крыс, спустя несколько лет местообитание значительно изменилось. Ряд видов злаков заселил пространство между кустарниками, и их обилие (Продолжение статьи см. на с. 66)



РАСТИТЕЛЬНОСТЬ МЕНЯЕТСЯ весьма существенно, если с экспериментального участка удалить кенгуровых крыс (слева от изгороди). Спустя 5 лет однолетнее растение *Lesquerella gordonii* (с желтыми цветками) становится более обильным (вверху). Еще через 8 лет (внизу) здесь уже доминируют высокие однолетние и многолетние злаки. (Фотография: J. Brown.)

# Ошибки компьютерных программ

*Из-за ошибок в программах нарушается телефонная связь и откладываются запуски космических кораблей. Отсутствие гарантий надежности может ограничить роль компьютера, особенно в тех случаях, когда безопасность зависит от программного обеспечения системы*

БЕВ ЛИТЛВУД, ЛОРЕНЦО СТРИЖИНИ

**М**НОГИЕ из нас сталкиваются с теми или иными проблемами, связанными с ошибками в работе компьютеров: счет, присланный по ошибке, или результаты работы целого дня, уничтоженные из-за какого-то непонятного сбоя в персональном компьютере. Подобного рода недоразумения, зачастую обусловленные программными ошибками, или «жучками», не более чем мелкие неудобства по сравнению с теми последствиями, которые могут быть вызваны этими ошибками в системах, имеющих важное значение. Программные ошибки не раз были причиной крупномасштабных нарушений в телефонной связи США. Возможно также, что именно из-за ошибки в программе противоракетная система «Пэтриот» не смогла вовремя обнаружить и уничтожить иракскую ракету «Скад» во время войны в Персидском заливе, что привело к гибели 28 американских военнослужащих. Программные ошибки обычно более коварны и их труднее устранить по сравнению с физическими дефектами.

По существу эти проблемы являются следствием сложности программного обеспечения компьютеров. Чем сложнее программа, тем больше вероятность возникновения ошибок в ее логической структуре, которые затем проявляются в окончательном продукте. В современной технике достигнут значительный прогресс в обнаружении и устранении физических дефектов. Хотя конструктивные ошибки иногда присутствуют в изделиях, не содержащих вычислительных устройств, благодаря относительной простоте этих машин проблема надежности конструкции не является столь серьезной, как в программных продуктах. Между прочим, вопросы, которые мы здесь рассмотрим, выходят далеко за пределы экзотических военных и аэрокосмических систем. Сложные компьютер-

ные программы играют важную роль и в таких повседневных приложениях, как управление автомобилем.

В этой статье мы рассмотрим основные причины неопределенности относительно надежности программных продуктов и постараемся доказать, что наши возможности в смысле оценки этой надежности в некоторых случаях оказываются недостаточными. В таких критически важных объектах, как системы обеспечения безопасности химического завода, производящего вредные вещества, вполне вероятно, что необходимый уровень надежности можно гарантировать только при условии, что роль программного обеспечения системы не столь важна.

**Т**ЕОРЕТИЧЕСКИ, конечно, можно написать программы, свободные от ошибок. В отличие от материалов и механизмов программное обеспечение не портится от длительной эксплуатации. Все ошибки в структуре программы присутствуют в ней с того момента, когда она была впервые загружена в компьютер. В принципе все эти дефекты можно устранить раз и навсегда. Более того, методы математического вывода должны позволить программистам гарантировать правильность программы.

Тем не менее создание совершенных программ остается недостижимой целью. Несмотря на тщательное и систематическое тестирование, большинство больших программных продуктов содержит «врожденные» дефекты. Главная причина этого заключается в сложности исходного текста. Программа, состоящая всего из нескольких сотен строк, может содержать десятки решений, приводящих к тысячам альтернативных путей выполнения (программы для важных приложений могут содержать от десятков до сотен миллионов строк исходного текста). Программа может



РАКЕТА «ПЭТРИОТ», летящая над Тель-Авивом, чтобы перехватить иракскую ракету «Скад» во время вой-

принять неверное решение потому, что какое-то конкретное сочетание входных данных, вызвавших неожиданную ситуацию, не встречалось на стадии отладки, когда дефекты еще можно было исправить. Соответствующая этому сочетанию ситуация, возможно, даже не была должным образом осознана или осталась непредвиденной: программист либо «правильно» запрограммировал неверный ответ, либо вообще не принял во внимание эту ситуацию. Ошибки подобного рода особенно трудно обнаружить и устранить.

Кроме того, алгоритмы часто претерпевают изменения в процессе создания программы по мере того, как цели, поставленные перед системой,

изменяются или уточняются. Подобного рода изменения волной проходят по всем компонентам системы, делая задуманную прежде логическую структуру недействительной. Более того, реально цели системы могут отличаться от тех целей, которыми руководствовался ее разработчик. Неудачные попытки ракет «Пэтриот» перехватить иракские ракеты, по мнению специалистов, объясняются накапливаемой неточностью во внутреннем механизме подсчета времени у компьютера. Тем не менее компьютер работал в соответствии с заданием: при создании системы предполагалось, что она будет выключаться и снова включаться достаточно часто, так что накопленная ошибка не ста-

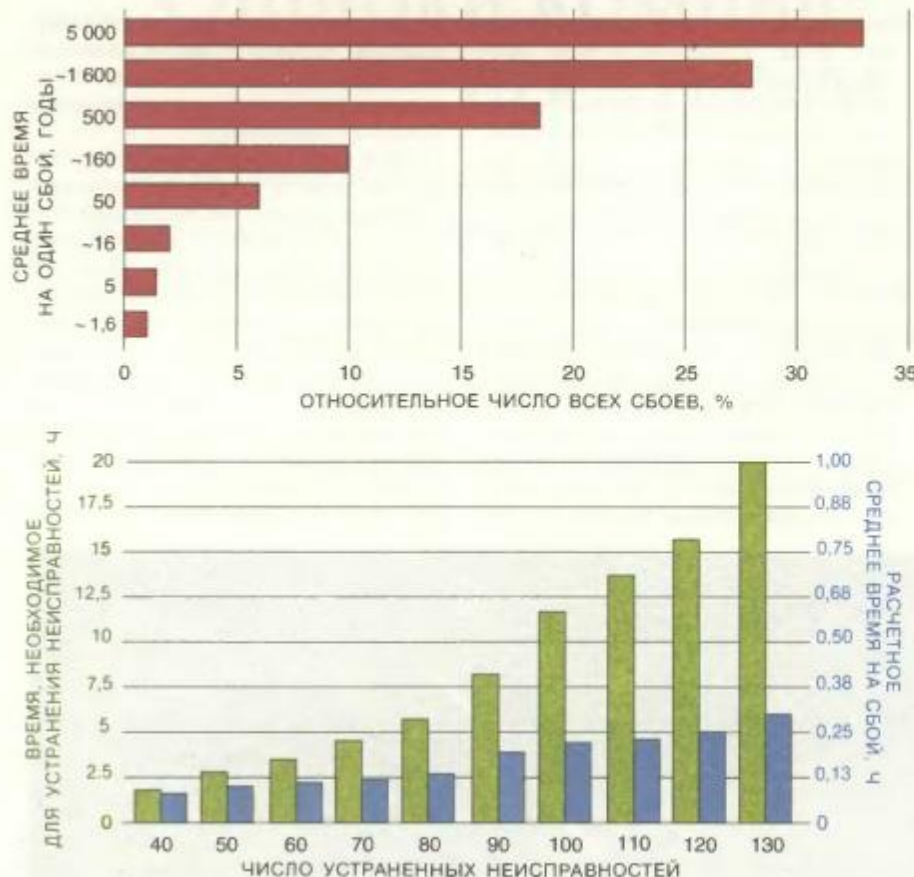
нет опасной. Поскольку в реальных условиях система использовалась не так, как предполагалось, незначительная неточность превратилась в серьезную проблему.

Сама природа цифровых электронных устройств также препятствует созданию абсолютно надежных программных продуктов. Многие физические системы существенно непрерывны, так что их можно описать достаточно «гладкими» математическими функциями; малые изменения на входе приводят к малым изменениям на выходе. В отличие от этого малейшее возможное возмущение в состоянии цифрового компьютера (например, изменение бита с 0 на 1) может привести к радикальному измене-



ны в Персидском заливе в 1991 г. По всей вероятности в программах, управляющих системой наведения «Пэтриот», происходили сбои, что помешало этим ракетам

обнаружить и уничтожить ракеты противника. Одна из таких ошибок послужила причиной гибели 28 американских военнослужащих.



ПРОГРАММНЫЕ ОШИБКИ остаются даже в тщательно отлаженных системах. Э. Адамс из IBM установил, что значимость остающихся в системе ошибок колеблется в широких пределах (вверху). Около трети из них относятся к категории «5000 лет» — это означает, что каждая из них приводит к сбою системы раз в 5000 лет. Из-за различия в частоте и важности ошибок результативность их поиска все время снижается: при тестировании военной командно-управляющей системы (внизу) время, требующееся для устранения ошибок возрастает непропорционально достигаемому улучшению в оценке частоты отказов системы.

нию в принимаемом решении. Единственная неправильная буква в программе для траектории ракеты «Атлас», несшей первую американскую межпланетную станцию «Маринер-1», в конечном итоге привела к тому, что ракета отклонилась от расчетного направления. В результате и ракету, и космическую станцию пришлось уничтожить вскоре после запуска.

Во всех других отраслях техники простота и плавность изменений в поведении систем являются основными критериями надежности их конструкции. Однако в программировании беспрецедентные возможности и гибкость средств соблазняют разработчиков, и они игнорируют эти принципы. Совершенно новые приложения могут быть найдены, казалось бы, очень легко, и это придает обманчивую уверенность как авторам, так и клиентам, не знакомым со специфическими проблемами программного обеспечения компьютерных систем.

Но даже добавление новых возможностей к программе может привести к неожиданным изменениям в уже существующих ее свойствах.

**ПРОБЛЕМА** встраивания сложных правил принятия решений в конструкцию и предсказания поведения сложных дискретных систем не ограничивается программированием. Разработчики цифровых интегральных схем сталкиваются с аналогичными трудностями. Однако программирование остается основной средой для реализации чрезвычайно сложных логических правил принятия решений.

Помимо неумышленных ошибок в структуре программы, неадекватное поведение системы может быть вызвано дефектами, внесенными в нее умышленно. Вопросы компьютерной безопасности, тайны личной информации и шифрования данных требуют специального рассмотрения, выходящего за рамки настоящей статьи (см. статью: Д. Чом. Обеспечение недо-

ступности личной информации, «В мире науки», № 9-10, 1992).

Понимая, что создать идеальные программы практически нельзя, каким образом мы можем убедиться, что программа настолько надежна, насколько требуется? Прежде всего следует тщательно выбрать критерии безопасности в зависимости от характера приложения. Требования эти могут быть далеко не одинаковыми для различных приложений. Например, правила управления авиатранспортом США требуют, чтобы автоматизированная авиадиспетчерская система не находилась в нерабочем состоянии более трех секунд в год. На гражданских авиалиниях вероятность катастрофических неисправностей не должна превосходить  $10^{-9}$  в час.

Устанавливая требования надежности для компьютеров, мы должны принимать во внимание и некоторые дополнительные преимущества, связанные с применением вычислительной техники, поскольку отказ от той или иной автоматизированной системы может также принести определенный вред. Например, в силу конструктивной специфики военных самолетов летать на них опаснее, чем на гражданских самолетах. Выживание в боевых условиях зависит от высоких тактико-технических показателей, которыми не обладают традиционные модели, и новая компьютерная система может повысить шансы самолета, даже если она менее надежна, чем аналогичные системы в гражданской авиации. Точно так же в конструкции автопилотной системы таких авиалайнеров, как аэробус «A320» или «Боинг-777», вероятность того, что программное обеспечение может стать причиной аварии, должна быть сопоставлена с вероятностью, что благодаря ему удастся избежать катастрофы, которая в отсутствие этой программы может быть вызвана ошибкой пилота или неисправностью оборудования.

Мы полагаем, что существуют весьма жесткие ограничения относительно уровня надежности программных систем, который мы могли бы считать гарантированным. Чтобы разъяснить эту точку зрения, мы должны проанализировать различные источники тех данных, которые поддерживают нашу уверенность в правильности программы. Наиболее очевидный источник — тестирование: выполнение программы, непосредственное наблюдение за ее поведением и устранение ошибок при их выявлении. В ходе этого процесса надежность программ возрастает, а собранные данные могут использоваться, чтобы с помощью сложных методов

статистической экстраполяции получить точные оценки результирующего уровня надежности программы.

К сожалению, этот подход работает только тогда, когда требования надежности остаются сравнительно скромными (скажем, на уровне одного сбоя в течение нескольких лет) по сравнению с требованиями, которые часто предъявляются к критически важным приложениям. Чтобы иметь уверенность в надежности системы на уровне  $10^{-9}$  ошибки в час, нам необходимо было бы выполнять программу в течение времени, многократно превышающего  $10^9$  часов, или 100 000 лет. Очевидно, эта задача невыполнима. Для реалистических периодов времени, отводимых на отладку программы, наша уверенность в ее безопасности будет намного ниже требуемого уровня.

Здесь мы сталкиваемся с законом уменьшающихся результатов. Если продолжать отлаживать программу в течение очень долгого времени, то в конце концов отлавливаемые ошибки будут становиться настолько «мелкими», что их устранение окажет очень незначительное влияние на общую надежность системы. Э. Адамс из Исследовательского центра им. Томаса Дж. Уотсона корпорации IBM проанализировал эмпирически «размеры ошибок» в системе управления международной базой данных в эксперименте, равносильном тысячелетней эксплуатации одного программного комплекса.

Наиболее удивительным открытием было то, что около трети из всех выявленных ошибок относились к типу «5000 лет», т. е. каждая из них приводит к сбою системы приблизительно один раз в 5000 лет эксплуатации (частота сбоев, обусловленных други-

ми ошибками, варьировала в пределах, отличающихся на несколько порядков). Эти редко проявляющиеся ошибки составляли значительную часть всех ошибок, поскольку ошибки с большей частотой проявления были обнаружены и, следовательно, устранены ранее. В конечном итоге лишь ошибки типа «5000 лет» будут причиной ненадежности системы, и устранение одной такой ошибки повлечет за собой ничтожно малое повышение надежности.

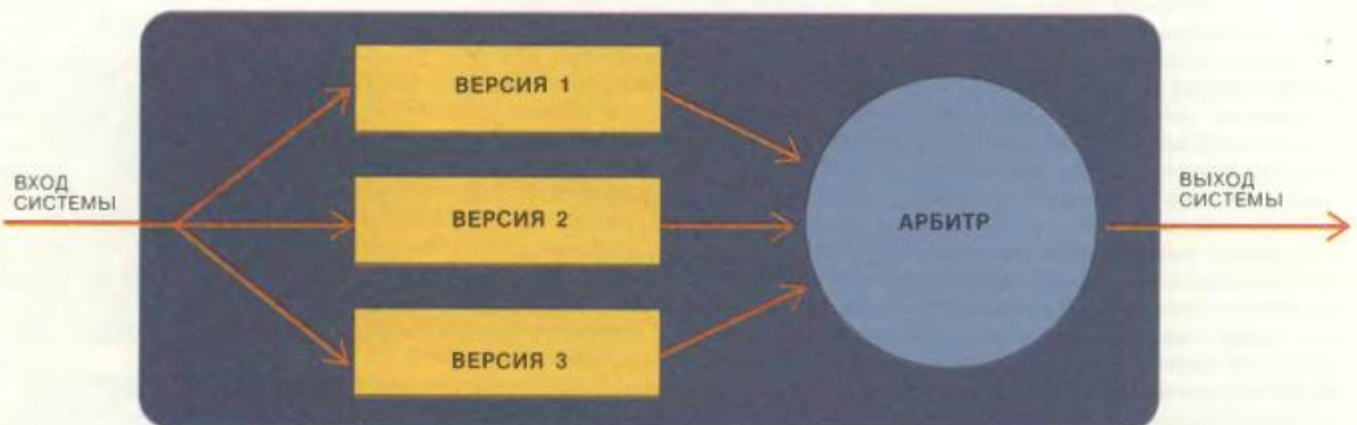
Экстраполяция по данным тестирования и отладки также основана на неверном предположении, что однажды встреченная ошибка просто будет исправлена. В действительности попытка исправить ошибку иногда может оказаться неудачной. Она может даже привести к возникновению новой ошибки. Поскольку об этой новой ошибке ничего не будет известно, ее влияние на надежность системы потенциально не ограничено, и может случиться, что система станет менее надежной после устранения ошибки, чем она была до ее обнаружения.

Следовательно, разумно было бы вообще игнорировать историю, предшествовавшую обнаружению последней ошибки. Такая предосторожность особенно важна в ситуациях, влияющих на безопасность, требует наличия специальной процедуры оценки, которая анализировала бы систему после последнего исправления ошибки как совершенно новую программу. Только самый последний период работы программы, свободный от ошибок, может повлиять на оценку надежности системы. Но даже такой консервативный подход не обеспечивает достаточной уверенности. Наши исследования показывают, что программа будет функционировать без

сбоев в течение того же промежутка времени, что она проработала до этого.

Проблема оценки безопасности на самом деле является еще более острой. Чтобы быть уверенными в расчетных результатах, мы должны поставить программу в те ситуации, с которыми она может встречаться в реальных условиях. Этот подход требует, чтобы входные данные, приводящие к сбоям, встречались во время тестирования с такой же частотой, с которой они будут встречаться в реальности. Кроме того, тестирующий должен всегда иметь возможность определить, верен ли в действительности выход программы. Здесь возникают трудности, аналогичные тем, с которыми сталкиваются разработчики программы. Чтобы построить правильную среду для тестирования, мы должны быть уверены, что учли все обстоятельства, в которых может оказаться система. Так же как при разработке системы нас подводят непредвиденные ситуации, неожиданно могут помешать нам при построении тестов. Разумно поэтому было бы относиться с некоторым недоверием к представительности результатов тестирования, а следовательно, и к точности оценок.

Продемонстрировать очень высокую надежность или безопасность любого программного модуля трудно потому, что у нас просто нет для этого достаточной информации. Для больших, сложных программных комплексов неутешительная правда, повидимому, заключается в том, что существуют жесткие ограничения в степени нашей уверенности относительно их надежности. Простое наблюдение за поведением программы не может служить достаточным основанием для



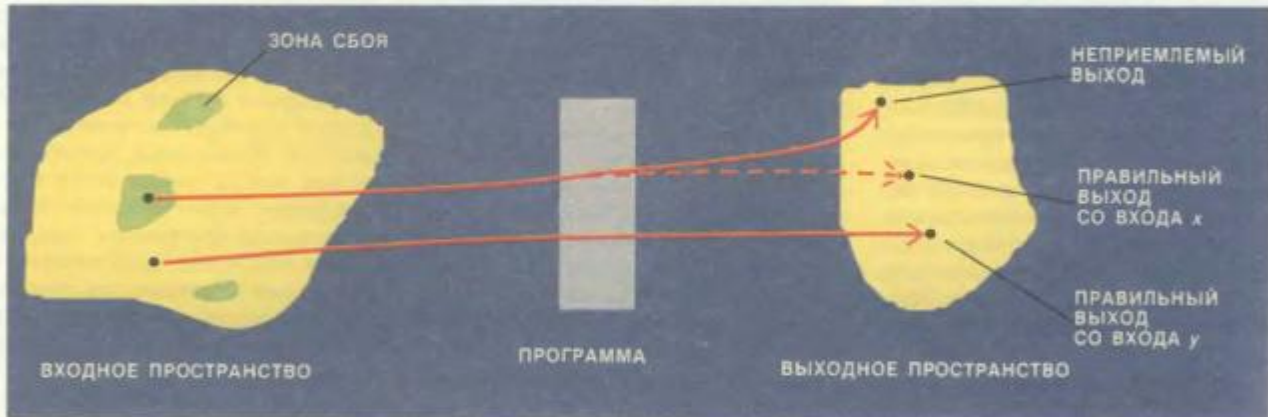
МНОВОВАРИАНТНОСТЬ в создании программ повышает их надежность. Каждая версия программы создается независимо отдельной группой разработчиков. Специальный «арбитр» принимает решение о том, каким должен быть результат на выходе системы, используя, например, среднее зна-

чение выходных параметров всех версий или значение, за которое «проголосовало» большинство. Арбитр может представлять собой еще одну избыточную систему, или же он может быть основан не на компьютерной технической основе, а, скажем, на гидравлическом приводном механизме.

гарантии, что она будет работать правильно в течение следующих 100 000 лет. Каким еще образом мы могли бы получить такую уверенность?

ОДНО из очевидных условий высокой надежности заключается в том, чтобы программы разрабатывались при помощи специальных мето-

дов, призванных повысить надежность продукта. Существует метод, использующий «формальный» подход, который основан на математиче-



## Природа отказов программных систем

Программы время от времени дают сбой, потому что содержат логические ошибки. Некоторые специалисты считают, что эти ошибки носят систематический характер: поскольку создание программы для компьютера является чисто логическим процессом, то в нем отсутствует какой-либо фактор неопределенности. Если имеется достаточно информации о том, что будет поступать на вход программы, то ее поведение будет полностью детерминированным. Мы, однако, полагаем, что отказы программных систем математически нельзя описать только в терминах детерминистического поведения. По нашему мнению, описание природы отказов программ требует вероятностного подхода аналогично тому, как с помощью статистических методов можно предсказать среднюю частоту отказов электрических или механических устройств.

В подтверждение этой точки зрения рассмотрим все возможные входы (называемые входным пространством), с которыми программа может столкнуться в течение своей жизни. Входом для программы является набор цифровых данных (чисел), считываемых извне или уже хранящихся в памяти компьютера. На рисунке вверху входное пространство показано в двух измерениях (в плоскости страницы), но в реальности оно обычно имеет много измерений.

Здесь входное пространство содержит три потенциальные зоны сбоя, пронумерованные от 1 до 3. Вход  $x$  принадлежит зоне 2, и при его наличии программа дает на выходе неприемлемый результат. В то же время программа может успешно справиться со входом  $y$ , который не принадлежит ни одной из зон сбоя.

Программу проверяют (тестируют), выполняя ее со многими возможными входами и регистрируя результаты на выходе. Если во время проверки результат

был правильным, он будет таковым всякий раз при данном входе. Однако для большинства программ тестирование со всеми возможными входами потребовало бы миллиарды миллиардов лет — следовательно, нам нужно вывести вероятность сбоев на основании выборки тестов.

Хотелось бы, конечно, знать, когда программа откажет в следующий раз, но предсказать это невозможно в силу внутренней неопределенности самого процесса. Во-первых, эта неопределенность обусловлена поведением физических механизмов, определяющих последовательность того, что поступает на вход (называемую траекторией во входном пространстве). Никогда нельзя быть уверенным, какие входы будут выбраны в будущем, и различные входы могут встретиться с различной вероятностью. Во-вторых, существует неопределенность относительно размеров и расположения зон потенциальных сбоев во входном пространстве. Даже если бы траектория была известной, мы все равно не знали бы, когда программа откажет.

Таким образом, предсказания о будущих ошибках программы приходится описывать в вероятностных терминах. Мы можем задать вопрос: какова вероятность того, что программа успешно справится с определенным числом входов, прежде чем произойдет сбой? Или: какова вероятность, что случайно выбранный вход обусловит ошибку в работе программы? Оба вопроса часто легко преобразовать во временную меру надежности, т. е. в вероятность, что программа проработает без отказов в течение определенного времени.

В результате мы вынуждены считать процесс периодических отказов программы в такой же мере «случайным», как и отказы аппаратуры. Поэтому использование вероятностной меры надежности является неизбежным.

ских доказательствах, гарантирующих, что программа будет функционировать согласно заданным характеристикам. Формальные методы привлекли к себе широкий интерес. Хотя их применение на практике пока ограничено, они позволяют избежать ошибок программирования, возникающих при реализации алгоритмов и моделей в программных продуктах.

К сожалению, требования к программам также должны формулироваться в виде формальных утверждений; другими словами, потребности пользователя должны быть выражены на математическом языке. Это не простая задача: она требует тщательного выбора аспектов реального мира, которые следует описать на формальном языке, а также понимания практических особенностей приложения и самого формального языка. В этом процессе могут возникнуть ошибки, и нельзя гарантировать, что эти ошибки никогда не проявятся при эксплуатации программы.

Другой метод, широко применяемый в настоящее время (например, в системах управления, используемых в авиации и на железных дорогах) и позволяющий достичь высокой надежности, заключается в толерантности к ошибкам, или запроектованной избыточности. Один из типичных способов применения принципа избыточности — поручить нескольким группам разработчиков создать несколько версий программы. При этом есть надежда, что если группы и допустят ошибки, то эти ошибки будут различными. Каждая версия программы предлагает свой вариант правильного выхода. Предложенные выходы сопоставляются на стадии выработки общего решения, в результате чего получается единый выход, который будет правильным, если большинство версий дали один и тот же результат.

По некоторым данным такое разнообразие обеспечивает довольно высокую надежность при относительно невысоких затратах. Однако различные группы разработчиков могут допустить одни и те же ошибки (возможно, вследствие общих культурных традиций) или же концептуально различные ошибки, из-за которых различные версии будут отказывать в одной и той же ситуации. Поэтому и общее решение будет выработано неверно.

Чтобы оценить надежность программных комплексов, толерантных к ошибкам, необходимо выявить статистические корреляции между ошибками различных версий. К сожалению, эта задача оказывается настолько же трудно разрешимой, как и по-



«САЙЗУЭЛЛ-В» будет первым ядерным реактором в Англии, оснащенным как обычной, так и компьютерной системой отключения объекта в случае аварии. Некоторые специалисты утверждают, что надежность программной системы (выполняемой на сотнях микропроцессоров и состоящей более чем из 100 000 строк) не достаточна, чтобы обеспечить приемлемую и соответствующую действующим стандартам безопасность реактора.

пытки оценить надежность, рассматривая всю систему как единое целое, о чем мы говорили выше.

Таким образом, если формальные методы доказательства не позволяют нам гарантировать, что программа будет всегда работать правильно, и если методы, основанные на толерантности, также не дают таких гарантий, то, очевидно, не остается ничего другого, как попытаться оценить надежность непосредственно, воспользовавшись методами, адекватность которых считается ограниченной. Что же делают в этой неопределенной ситуации официальные нормативные органы и пользователи программных продуктов?

Существуют три основных подхода. Согласно первому, отказы, связанные с ошибками в программном обеспечении систем, считаются «не поддающимися количественным оценкам», и таким образом требования к программам явно не формулируются. Такой подход получил в настоящее время довольно широкое распространение. Например, в гражданской авиации Рекомендательный циркуляр 25.1309-1А Федеральной авиационной администрации США описывает «приемлемые» средства для установления соответствия систем некоторым федеральным нормативам в области авиации. В нем говорится: «отказы с катастрофическими последствиями (наихудшая категория) должны быть настолько малове-

роятными, чтобы можно было считать, что они не будут иметь места на протяжении периода эксплуатации всех летательных аппаратов одного и того же типа». Предлагаемый количественный критерий соответствует вероятности отказа не более  $10^{-9}$  за час полета. Программы, однако, совершенно исключаются из этого циркуляра, «поскольку не представляется возможным оценить количество или характер программных ошибок, которые могут остаться после того, как завершены разработка, реализация и тестирование системы».

Широко применяемый документ Радиотехнической комиссии по аэронавтике «RTCA/DO-178A» аналогичным образом избегает нормативов на программное обеспечение систем. Авторы этого документа, задающего технические нормативы изготовителю, который хочет получить сертификат авиационной администрации на свою продукцию, явно отказываются указать количественные критерии или методы оценки надежности или безопасности компьютерных программ. Вместо этого комиссия считает, что правильный подход при конструировании (строгий контроль, подробная отчетность и тестирование, а также анализ предыдущих ошибок) имеет более важное значение, чем количественные методы. Основная рекомендация документа «RTCA/DO-178A» заключается в том, чтобы «разработчики использо-

вали единый подход к программному обеспечению: формулирование требований, порядок проектирования, разработки, проверки и оформления документации». Получается, таким образом, что лучшая гарантия надежности — это проверить, чтобы в процессе проектирования и разработки были приняты все меры предосторожности, позволяющие избежать ошибок.

Насколько хорошей гарантией можно считать такие меры? Очевидно, не очень хорошей: дело в том, что не существует убедительных доказательств того, что хорошие методы конструирования и производства всегда приводят к созданию первоклассной продукции. Мы не можем даже быть уверены, что лучшие современные методы обеспечивают достаточную надежность продукции, предназначенной для использования в наиболее ответственных областях.

Отказ от количественных оценок надежности программных продуктов налагает серьезные ограничения на многие потенциально опасные системы, в особенности тех, которые еще до начала их эксплуатации требуют общей вероятностной оценки риска. Вероятности могут быть предсказаны с приемлемой точностью для физических неисправностей, обусловленных механическими нагрузками и износом. Но при попытках оценить риск того, что вся система целиком (т. е. и аппаратура, и программное обеспечение) выйдет из строя, говорить о такой точности мы не можем. Самое точное, что можно сказать, так это то, что были приняты все меры, чтобы избежать ошибок. Просто рекомендовать пользоваться «наилучшими методами» — это не значит решить проблему. Мы спешим, однако, добавить, что было бы конечно неразумно отказываться от методов, повышающих надежность и безопасность, только потому, что мы не можем точно сказать, в какой степени они полезны. Стандарты, поощряющие их использование, разумеется, полезны, но они не решают проблему, заключающуюся в том, чтобы знать, что система обладает требуемой надежностью.

Второй — и, как мы полагаем, лучший — подход состоит в требовании, чтобы вся система была сконструирована так, что роль программного обеспечения не оказалась в ней слишком важной. «Не слишком важной» — означает, что требуемая надежность программного обеспечения может оставаться довольно скромной, но она должна быть определена до начала эксплуатации системы. Этот подход был применен при стро-

ительстве нового ядерного реактора «Сайзуэлл-В» в Англии. Для этого объекта достаточной оказалась вероятность отказа программной системы защиты, равная  $10^{-4}$ .

Существуют проверенные методы ограничения критичности для любого компонента, сложного объекта. Например, промышленное предприятие, технологические процессы на котором управляются главным образом с помощью компьютера, может быть оборудовано системами безопасности, не зависящими от программ или других конструктивно сложных систем. Аварийная или предупреждающая система безопасности обычно выполняет более простые функции по сравнению с главной системой управления, и поэтому может быть устроена более надежно. Безопасность достигается за счет того, что системы предупреждения аварий функционально полностью отделяются от основного технологического оборудования. Они могут быть построены на другой технической основе или использовать автономные датчики, приводные системы и источники питания. В этом случае вероятность того, что и главная технологическая, и предупреждающая системы выйдут из строя одновременно, можно с полным основанием считать крайне малой.

Третий подход заключается в том, чтобы просто согласиться с известными ограниченными возможностями и недостатками современного программного обеспечения и довольствоваться более скромными стандартами на безопасность всей системы. В конце концов, общество иногда требует чрезвычайно высокой степени безопасности, руководствуясь не вполне рациональными соображениями. В этом смысле хорошим примером могут служить медицинские системы. Известно, что хирурги довольно часто допускают ошибки, поэтому было бы естественно прибегнуть к помощи компьютера, если имеются довольно убедительные данные, что он несколько не хуже или даже несколько лучше, чем профессиональный хирург. Нет сомнения, что в скором будущем хирурги-роботы будут проводить операции, выходящие за рамки возможностей человека.

**РАССМОТРЕННЫЕ** три подхода к проблеме безопасности программного обеспечения могут показаться довольно разочаровывающими. Каждый из них накладывает ограничения либо на степень безопасности системы, либо на сложность используемых в ней программ. Воз-

можно, что единственный способ достижения необходимого компромисса между безопасностью и сложностью заключается в анализе сбоев (или их отсутствия) программ во время их работы.

К сожалению, мы не располагаем достаточным количеством данных, чтобы можно было делать статистические предсказания. Информация об ошибках в программном обеспечении редко становится всеобщим достоянием. Компании опасаются, что оглашение этих данных повредит им в конкурентной борьбе. Еще больше они опасаются восстановить против себя общественное мнение. Обнаружение ошибок в программах люди могут расценить как свидетельство низкого качества продукции, хотя на самом деле оно может свидетельствовать о тщательных процедурах контроля, применяемых к высококлассному программному обеспечению. Однако вследствие такой скрытности люди начинают ориентироваться на недостижимый в реальных условиях уровень безопасности. По мнению некоторых специалистов, правительственные организации должны обязательно регистрировать и публиковать данные об отказах в наиболее ответственных программных комплексах. Введение таких правил исключило бы опасение компаний предоставлять информацию о сбоях.

Каким бы образом ни были добыты эти данные, накопленные в достаточном количестве, они со временем помогут провести количественный анализ эффективности различных методов разработки и верификации программ. Эта информация поможет также установить более эффективные методы оценки надежности программных систем. Так, для программного обеспечения, которое не было в достаточной мере статистически проверено, приемлемые гарантии безопасности могли бы быть привязаны к явным верхним границам, зависящим от сложности программ. Не исключено, что подобный подход позволит считать вполне разумным и такие требования к надежности и безопасности программ, которые в настоящее время представляются совершенно невероятными.

А пока мы должны с осторожностью относиться к любым утверждениям относительно обеспечения очень высокой надежности. Учитывая высокий уровень сложности различных технических систем, достигнутый благодаря компьютерным программам, мы полагаем, что разумно было бы к этим утверждениям относиться с определенной степенью недоверия.

## Устранение хаоса в лазерах

ТРАДИЦИОННО считается, что лазеры излучают «чистый» свет на фиксированных длинах волн с постоянной интенсивностью. Однако фактически интенсивность света, излучаемого лазерами некоторых типов, часто подвержена случайным флуктуациям. Раджарши Рой и его студенты-дипломники Зельда Гиллс и Кристина Ивата из Технологического института штата Джорджия пытаются найти способы улучшения стабильности лазеров, склонных к хаотической модуляции выходной интенсивности. Им удалось в 15 раз улучшить стабильность выходной мощности некоторых типов лазеров.

Исследователи работают с широко распространенным лазером на иттриво-алюминиевом гранате (ИАГ) с примесью ионов неодима (Nd), который «накачивается» (то есть возбуждается) излучением от другого диодного лазера. Такой Nd: ИАГ лазер излучает в инфракрасной области спектра (длина волны 1,06 мкм), и для получения более коротковолнового зеленого света используется удвоение частоты его излучения (и, следовательно, сокращения длины волны вдвое) в специальном нелинейном «удваивающем» кристалле.

Удвоение частоты в нелинейном кристалле происходит неидеально из-за так называемой зеленой проблемы: по мере преобразования инфракрасного излучения в зеленое интенсивность света начинает спонтанно испытывать хаотические осцилляции. Такие же хаотические флуктуации возникают при попытке поднять выходную мощность лазера за счет увеличения мощности накачки.

Два года назад Рой и его студент обнаружили, что они могут подавить хаотические осцилляции путем тщательной настройки углового положения нелинейного кристалла, при этом устраняются эффекты случайной поляризации, приводящие к зеленой проблеме. Но что произойдет при изменении параметров настройки?

Когда ученые начали искать способ динамической настройки для непрерывной стабилизации хаоса, они воспользовались новым аналоговым методом, называемым стабилизацией за счет нерегулярной пропорциональной обратной связи. В этом методе через одинаковые интервалы времени измеряется интенсивность флуктуи-

рующего излучения лазера. Затем разницы между измеренными величинами и набором опорных значений переводятся в небольшие воздействия, которые принуждают лазер изменять интенсивность периодическим образом.

Такой метод стабилизации оказался успешным, но только до определенной степени. Попытка исследователей из Технологического института увеличить мощность накачки в лазерах привела к новому появлению хаоса. Однако неожиданно появилась теоретическая работа А. Шварца и И. Триандафа из Исследовательской лаборатории ВМС США, посвященная управлению нестабильными ор-

отических возмущений.

Рой со студентами ввели такие коды с корректировкой ошибки в свою программу, управляющую лазером, за счет чего им удалось в 15 раз повысить стабильность интенсивности излучения лазера за время порядка нескольких минут. Кроме того, для такой стабилизации потребовалось совсем немного дополнительной энергии — всего 2—3% мощности накачки.

«Этот лазерный эксперимент показывает, насколько результативными могут быть математические методы в управлении нелинейными системами», — замечает Шварц, получивший патент на свой алгоритм. В настоя-



ЗЕЛДА ГИЛЛС, студент-дипломник Технологического института штата Джорджия, следит за интенсивностью излучения лазера, которая отображается на экране осциллографа в виде хаотических «вспышек». (Фото: М. Баррет, Технологический институт штата Джорджия.)

битами. Методы, описание которых приведено в этой статье, помогли решить возникшие проблемы.

Используя коды с корректировкой ошибок, Шварц и Триандаф разработали алгоритмы, позволяющие подавлять местные вспышки хаоса в широком диапазоне изменения основных параметров. В результате за счет изменения только одного легко поддающегося регулированию параметра (например, мощности накачки) математики могут управлять поведением объектов на нестабильных орбитах. Такой подход можно также использовать для компенсации случайного дрейфа, возникающего вследствие ха-

отических возмущений. Методы, описание которых приведено в этой статье, помогли решить возникшие проблемы. Используя коды с корректировкой ошибок, Шварц и Триандаф разработали алгоритмы, позволяющие подавлять местные вспышки хаоса в широком диапазоне изменения основных параметров. В результате за счет изменения только одного легко поддающегося регулированию параметра (например, мощности накачки) математики могут управлять поведением объектов на нестабильных орбитах. Такой подход можно также использовать для компенсации случайного дрейфа, возникающего вследствие ха-

Элизабет Коркоран

# Визуализация биологических молекул

*Изображения, получаемые с помощью компьютера, помогают исследовать структуру биологических молекул и проникать в тайны сложного химического состава живых существ*

АРТУР ДЖ. ОЛСОН, ДЕЙВИД С. ГУДСЕЛЛ

«ГЛАЗ, называемый окном души, является главным средством, с помощью которого можно понять всю глубину и сложность окружающего нас мира». Эти слова Леонардо да Винчи со всей выразительностью отражают тесную связь между зрением человека и его осознанием видимого мира. Однако современная наука часто имеет дело с объектами, не видимыми человеческому глазу. Химики и биохимики, в частности, испытывают большие неудобства из-за того, что не видят молекул, которые подлежат изучению. Детали молекулярной структуры на атомном уровне не поддаются наблюдению даже при использовании электронного микроскопа.

В последние годы, однако, компьютерная технология сделала возможным получение вполне приемлемых и достаточно точных с научной точки зрения изображений молекул. Эти изображения позволяют биохимикам и молекулярным биологам зрительно представлять себе сложные молекулы, производимые живыми клетками. Компьютерная графика помогает, например, проследить, как антитела отыскивают в организме чужеродные молекулы и как ферменты создают нужную среду для той или иной химической реакции. Наглядная картина структуры молекулы может иметь концептуальное значение. Пример тому — изображение двуспиральной структуры ДНК, опубликованное Дж. Уотсоном и Ф. Криком, революционизировавшее понимание человеческой наследственности и природы генетических заболеваний.

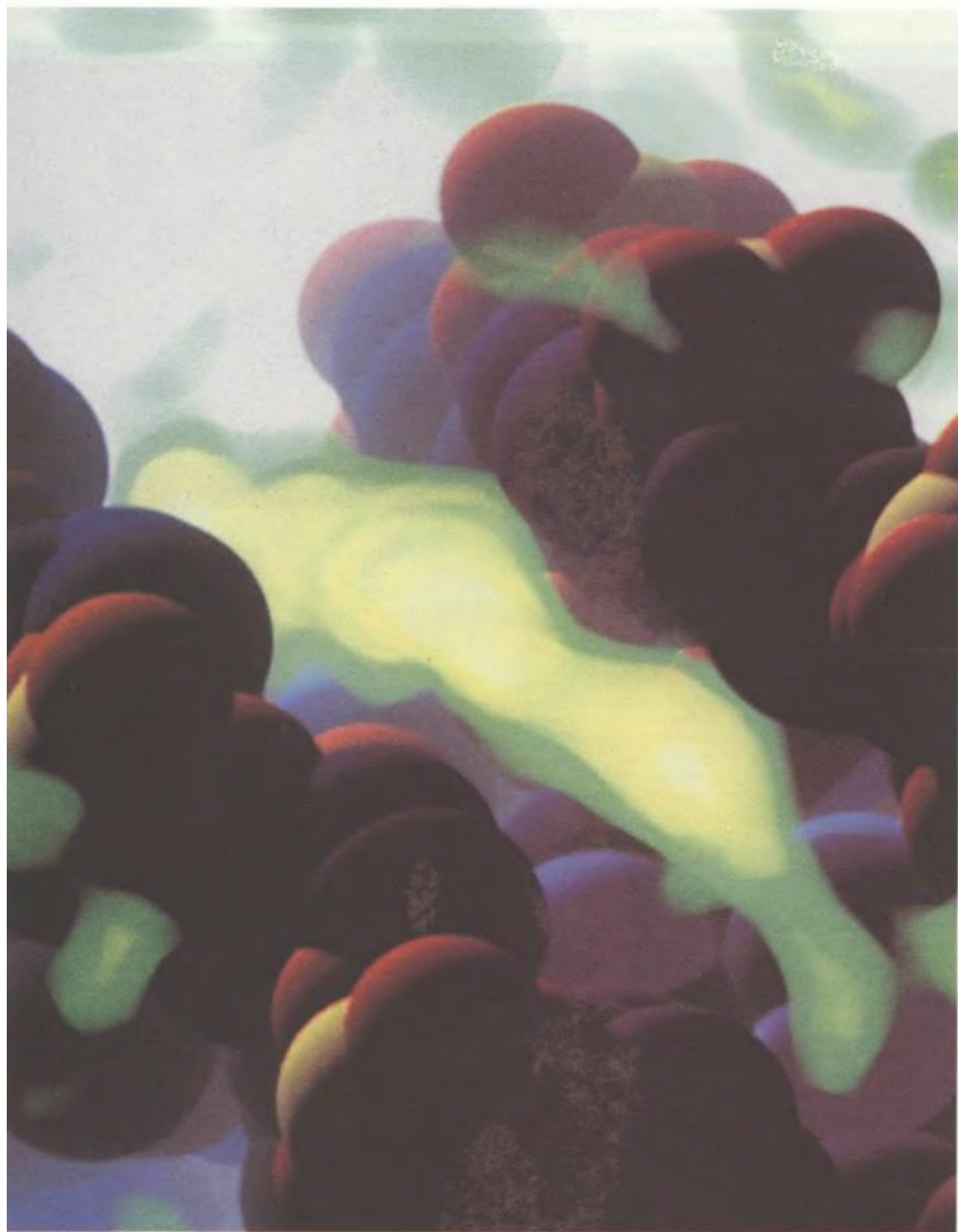
Исходные данные для получения изображений молекул собираются различными способами. На сегодняшний день наиболее результативным из них является рентгеноструктурный анализ. При этом кристалл, содержащий изучаемые молекулы, подвергается интенсивному рентгеновскому облучению, дающему характерную для данного кристалла картину рассеяния, которую анализируют математически, устанавливая пространственное распределение электронов и таким образом положение каждого атома в молекуле.

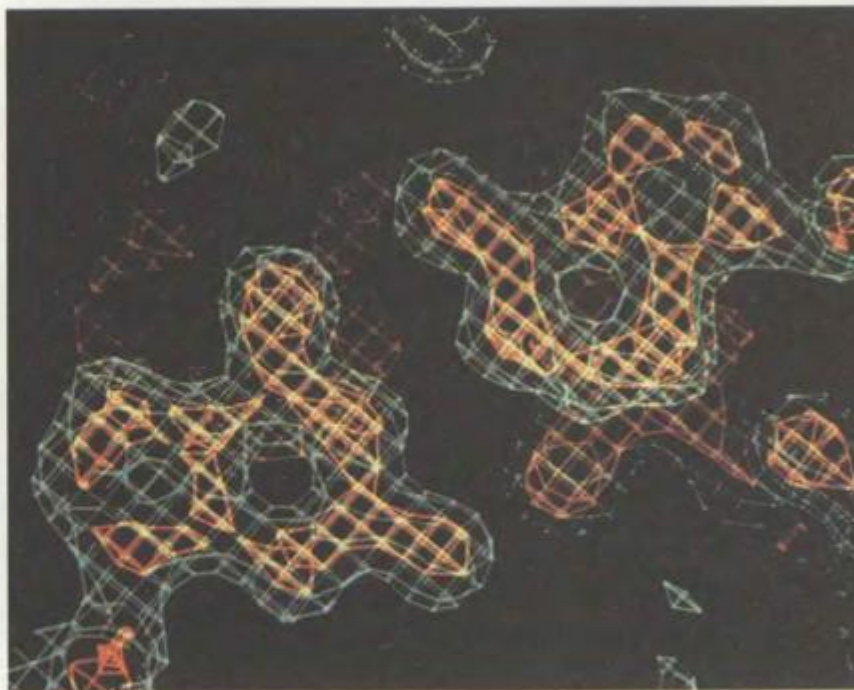
Другой подход к определению молекулярной структуры представляет ядерно-магнитно-резонансная (ЯМР) спектроскопия. Раствор, содержащий исследуемые молекулы, помещается в мощное магнитное поле. Затем он подвергается импульсному радиочастотному облучению, в результате чего ядра определенных атомов начинают излучать собственные радиоволны на частотах, зависящих от их локального химического окружения. На основании значений

этих частот определяются примерные расстояния между атомами в молекуле. Объединяя такие данные с известными химическими свойствами молекулы, можно установить положение входящих в ее состав атомов.

**ИМИТАЦИОННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ** молекул построены средствами компьютерной графики. Общий вид вируса иммунодефицита человека (внизу) составлен по данным электронной микроскопии Ю. Скоглундом из Королевского института и С. Хёглундом из Уппсальского университета (Швеция); выявлены конусообразная сердцевина, содержащая генетический материал, и окружающая ее сферическая оболочка. Связывание лекарственного препарата с ДНК (справа) изображено по данным рентгеноструктурного анализа, полученным Р. Дикерсоном из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Лекарству отвечает область высокой электронной плотности (зеленый и желтый цвета) внутри малой бороздки ДНК (темные шары).







**РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ** позволяет получить информацию, необходимую для построения имитационной картины молекулы. Рассеяние рентгеновского излучения на кристалле ДНК (слева) анализируется с помощью компьютера, что выявляет распределение электронов в каждой молекуле ДНК. Сетка линий вокруг областей высокой электронной плотности (справа) пока-

зывает расположение атомов в молекуле; здесь приведено изображение необычной пары оснований гуанин — аденин. Изображение, построенное из пикселей (на следующей странице), дает более реалистичную для человеческого восприятия картину трехмерного расположения атомов, но для чего компьютеру требуется большее расчетное время.

В течение последних нескольких лет специалисты по материаловедению разработали еще один метод наблюдения атомов в молекулах, называемый сканирующей микроскопией. Молекулу фиксируют на плоской поверхности и сканируют ее иглой, кончик которой имеет толщину в несколько атомов. Цепь обратной связи позволяет кончику иглы следовать строго по контуру каждого атома, «вырисовывая» его форму. С помощью последовательных сеансов сканирования постепенно строится трехмерный контур одной стороны молекулы.

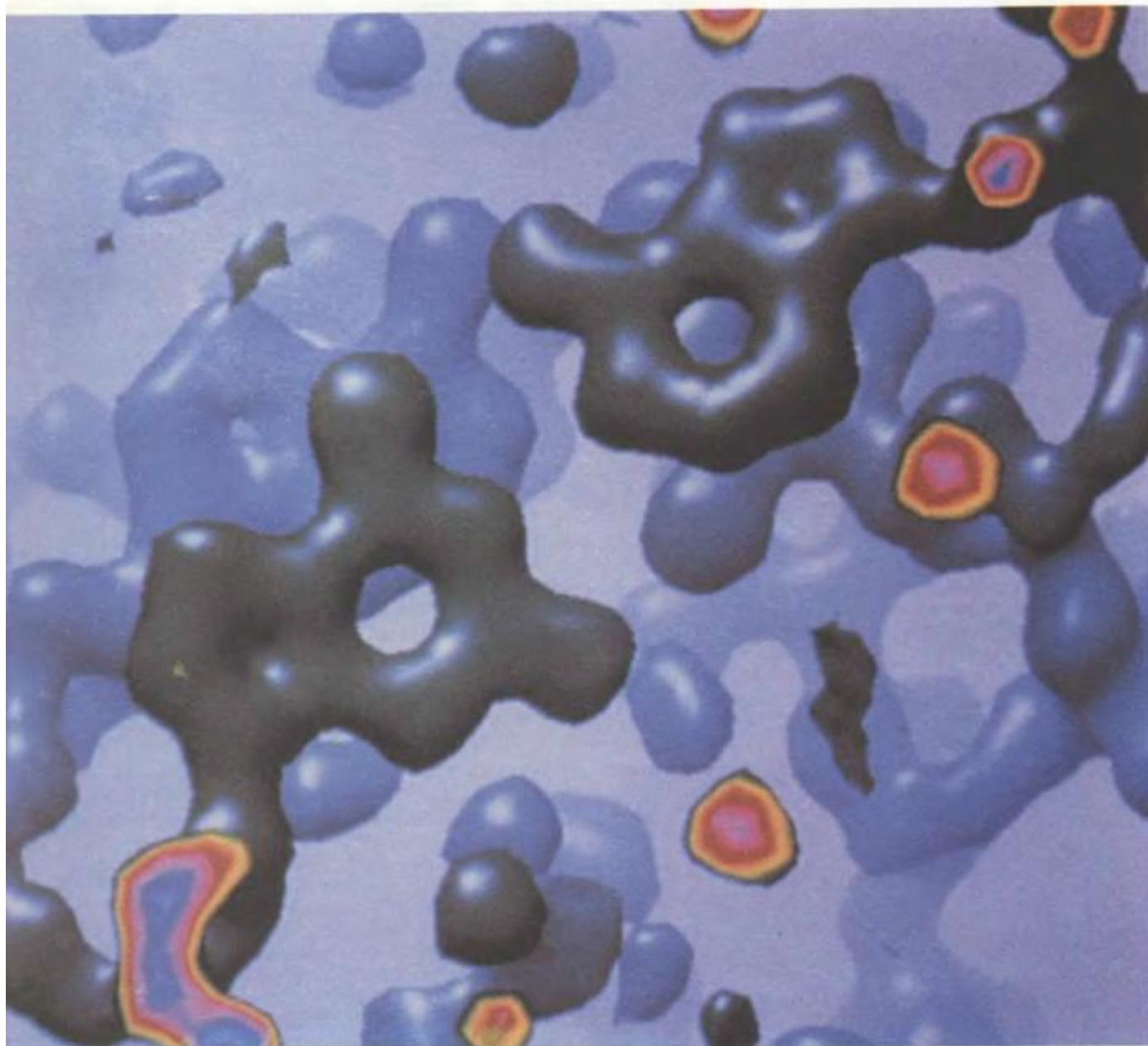
Все три рассмотренных метода позволяют получить огромное количество данных, которые намного легче интерпретировать, если их преобразовать в визуальную форму. До того как компьютеры получили широкое распространение, ученые затрачивали немало труда на анализ информации, представляемой в виде таблиц, графиков, осциллограмм и фотографий, а затем по полученным результатам делали металлические или пластмассовые модели. Поскольку такая работа очень трудоемкая, можно было изучать только небольшие молекулы, содержащие не более нескольких десятков атомов.

Исследователи биологических молекул, которые содержат порядка  $10^2$  —  $10^5$  атомов, стали поэтому активно пользоваться первыми компьютерами. В 1947 г. Р. Пипински из Университета шт. Пенсильвания разработал аналоговую вычислительную машину XRAC, предназначенную для преобразования данных, получаемых при рентгеноструктурном анализе, в такую форму, по которой легко судить о молекулярной структуре. По мере развития вычислительной техники увеличивался и размах научных проблем, решаемых с ее помощью. Современные цифровые компьютеры, используемые в компьютерной графике, дают возможность получать детальные изображения разнообразных макромолекул, включая ферменты, антитела и даже целые вирусы.

Для построения изображения молекул обычно используются два принципиально отличающихся друг от друга графических метода. В одном из них изображение строится из линий, проводимых от точки к точке. В другом изображение формируется из плотно расположенных отдельных точек, называемых пикселями, или элементами изображения. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. Поскольку линию можно задать, указав ее положение относительно двух осей (вертикальной и горизонтальной), дисплей, строящий изображение из линий, может очень быстро перестраивать его, позволяя тем самым исследователю манипулировать изображением в интерактивном режиме. Дисплей, формирующий изображения из пикселей (обычно это цветные мониторы), требуют больше времени на построение «картинки», поскольку каждому ее элементу нужно приписать некоторую величину, соответствующую нужному цвету; обычно монитор располагает более чем миллионом пикселей. Зато дисплей, строящий изображение из пикселей, могут имитировать такие изобразительные приемы, как светотень и оттенок, которые делают изображение более реалистичным.

Для того чтобы построить изображение изучаемой молекулы, вначале собирают информацию о ее структуре, чаще всего путем рентгеноструктурного анализа. Рентгеновское излучение рассеивается наиболее сильно там, где плотность электронов самая высокая, т. е. вблизи атомов в молекуле. Следовательно, области, в которых обнаруживается высокая электронная плотность, являются атомами, а участки, где она низкая, представляют собой пустоты. (С помощью электронной микроскопии можно получать аналогичные, но более грубые трехмерные карты электронной плотности, на которых отдельные атомы не выявляются.)

Так же как картографы проводят на карте изогипсы (линии постоянной высоты земной поверхности над уровнем

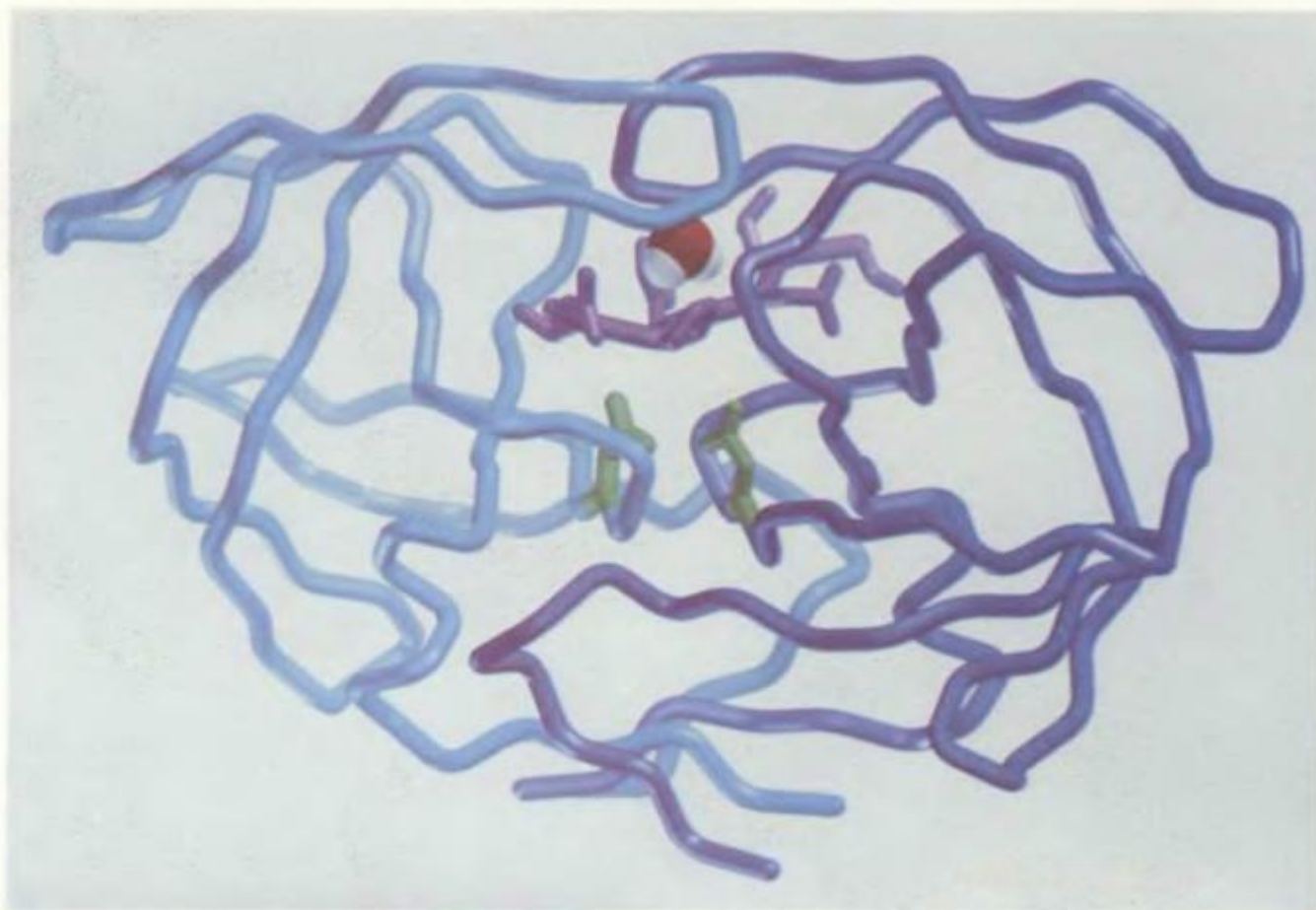


моря), чтобы выделить возвышенности и долины, кристаллографы используют компьютерные графические устройства для расчета и наглядного построения граничной поверхности, отделяющей атомы от пустого пространства. Эта поверхность может быть изображена в виде плотного переплетения линий, напоминающего клетку для птиц. Затем с помощью графической программы цепочку атомов «подгоняют» в область, ограниченную этой поверхностью, следуя сложным контурам, указанным данными об электронной плотности.

Изображения, построенные из пикселей, представляют результаты рентгеноструктурного анализа более наглядно. Например, различным значениям данных можно присписать специфические цвета и оптические характеристики. На карте электронной плотности ДНК, приведенной на с. 35, участки молекулы, имеющие высокую электронную плотность, непрозрачные и цветные, а области с низкими ее значениями кажутся прозрачными. С помощью процесса, называемого передачей объема, графическая программа формирует изображение, которое имитирует характер прохождения света через объект, обладающий заданными оптическими свойствами. К сожалению, при построении

изображений по методу передачи объема уходит гораздо больше времени на вычисления по сравнению с получением изображений из линий. Четкость изображения достигается за счет скорости манипулирования внешним видом молекулы.

Если координаты атомов, входящих в состав данной молекулы, известны, компьютер позволяет анализировать ее различными способами. Графические системы, предназначенные для построения изображений молекул, могут фокусировать или упрощать картину молекулярной структуры, сохраняя при этом всю нужную информацию. Биохимики часто находят полезным проследить сворачивание полипептидной цепи белка в компактную трехмерную структуру. Дж. Ричардсон из Университета Дьюка широко пропагандировала простой, но довольно эффективный метод графического представления данных, позволяющий увидеть весь этот процесс сворачивания, минуя сложную для восприятия картину на уровне отдельных атомов. Получающееся в результате «ленточное» изображение помогает классифицировать множество белковых структур и свести их разнообразие к ограниченному числу определенных типов сворачивания.



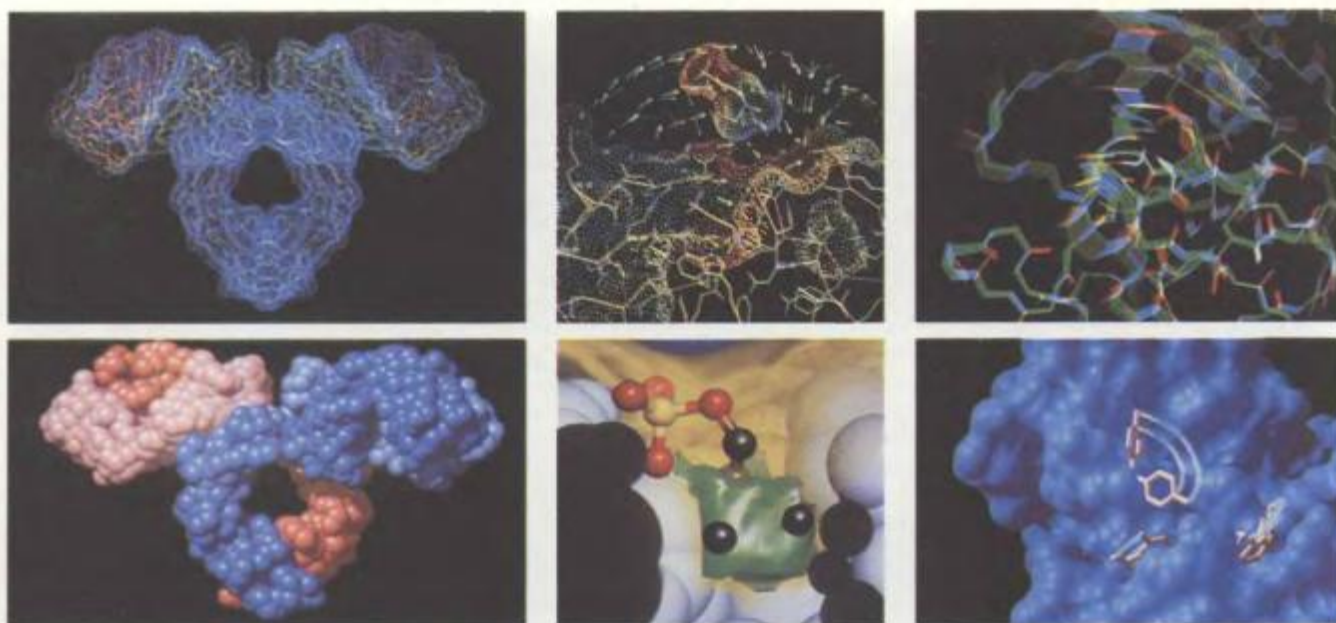
**«КОНСТРУИРОВАНИЕ» МОЛЕКУЛ** — одна из быстро расширяющихся областей использования компьютерной графики. Фермент протеиназа (вверху), играющий исключительную роль в жизненном цикле вируса иммунодефицита, представляется заманчивой мишенью для лекарственного воздействия. «Скелет» белка показан голубым цветом; активный центр — зеленым. Лекарством может служить ингибитор (лиловый), связывающийся в активном центре протеиназы, что препятствует нормальному функционированию вируса. Данные для построения этой модели получены Э. Улодоуэром из Национального института рака. В другом эксперименте конструировался фермент «на заказ» (слева): в антителе, способном связывать флуоресценцию (голубая зона из точек), создавался участок связывания иона металла (маленький красный шарик).

Компьютеры помогают также в изучении формы биологических молекул, что в свою очередь позволяет определить, как они взаимодействуют с другими соединениями. Простейший способ описания топографии (внешних очертаний) молекулы сводится к построению изображения с пространственным заполнением. Этот метод заключается в том, что компьютер «рисует» атомы в молекуле в виде шаров, радиусы которых отражают, насколько они могут приближаться друг к другу. При адекватном расположении всех шаров создается очень четкая картина всей молекулы. Если каждому атому в зависимости от его химической природы придать определенный цвет, то можно извлечь дополнительную информацию.

Изображение с пространственным заполнением показывает молекулу в том виде, как если бы она была увеличена до размеров, воспринимаемых невооруженным глазом. Б. Ли, работающий сейчас в Национальных институтах

здоровья, и Ф. Ричардс из Йельского университета приняли другой подход и рассчитали, как «выглядит» та или иная молекула для молекулы воды. Они использовали компьютерную программу, с помощью которой как бы катили воображаемую молекулу воды по изучаемой молекуле, отмечая, где они соприкасаются. В результате получалась картина молекулярной поверхности без тех областей, которые не контактируют с окружающими молекулами воды. Такая картина помогает, например, понять, как белки взаимодействуют с водой, всегда присутствующей в живых организмах.

Геометрия расположения атомов — это лишь один аспект природы молекул; важны также химические и физические свойства каждого атома — его заряд, размеры и характер взаимодействия с другими атомами. П. Гулфорд из Оксфордского университета разработал метод, позволяющий определить, как биологическая молекула хими-



**СТРУКТУРА И ФУНКЦИЯ МОЛЕКУЛЫ** может быть легко, точно и достаточно подробно изучена с помощью компьютерных графических систем. Изображения в верхнем ряду построены из линий, а в нижнем ряду — из пикселей. Для исследования формы антител используется точечная поверхность (слева сверху) или множество выглядящих объемными и твердыми шариков (слева снизу). Можно сформировать изображение связывания антигена с помощью стрелочек, указывающих направление элект-

ростатического поля молекулы (вверху в центре), или с помощью объемной картинки, отражающей силу взаимодействия атомов углерода; зеленым цветом выделены участки наибольшего сродства к углероду (внизу в центре). Чрезвычайно быстрые внутренние движения в молекуле антитела представляют в виде множества последовательных изображений (вверху справа) или серии «снимков» наиболее интересных моментов (внизу справа).

чески взаимодействует с атомами других молекул. Он последовательно меняет положение моделируемого компьютером пробного атома около молекулы. При каждом новом положении производится расчет химического взаимодействия между этим атомом и молекулой, и таким образом составляется сводная таблица, отражающая благоприятные и неблагоприятные положения. Получаемые при таком анализе картины позволяют выявить «горячие точки», находясь в которых атом вероятнее всего вступит в химическое взаимодействие.

При помощи компьютерной графики можно также уловить невидимую динамику в поведении биологических молекул. Молекулярные вибрации, закручивания и вращения совершаются за триллионные доли секунды. Эти движения не обнаруживаются рентгеноструктурным анализом и ЯМР-спектроскопией, поскольку такие эксперименты длятся несколько часов или даже дней. А компьютерное моделирование динамических процессов позволяет проследить движения молекулы за тысячи временных интервалов, с необходимым числом «фотографий» изменяющейся структуры. Исследователь может затем просмотреть всю последовательность «кадров», обращая внимание на наиболее интересные. Из лучших снимков можно составить короткий фильм, демонстрирующий динамику молекулы.

Одним из самых занимательных случаев применения новых графических методов является конструирование молекул с помощью компьютера. По мере того как углубляется понимание природы биологических молекул, растет потребность в целенаправленной модификации специфических молекул для конкретных нужд. Конструирование антибиотиков, построение новых белковых структур и создание полезных микроорганизмов — это лишь некоторые из многих задач биоинженерии, преследующей цель улучшения здоровья и качества жизни человека.

Компьютерная графика уже применяется при разработке лекарственных препаратов для лечения различных заболеваний, включая гипертонию, эмфизему, глаукому и различные формы рака. С помощью этого подхода проверяются потенциальные свойства широкого диапазона веществ, предположительно обладающих нужным лечебным действием, еще до того, как начнется длительный процесс синтеза и лабораторных испытаний. Это весьма перспективно для создания антивирусных агентов, позволяющих бороться с вирусом иммунодефицита человека (HIV), вызывающим СПИД. Уже выделен ряд вирусных белков и установлена их структура, в том числе фермент обратная транскриптаза, синтезирующая по вирусной РНК ДНК, которая включается в ДНК клетки-хозяина, обеспечивая дальнейшее развитие инфекции.

Удалось получить в кристаллическом виде чистую протеиназу HIV и ее комплексы с различными ингибиторами, что делает возможным их исследование путем рентгеноструктурного анализа. Изучение молекулярных структур с помощью компьютера помогает выявлять все больше и больше соединений, способных служить лекарствами. Лабораторные испытания показали, что некоторые из них вполне эффективны и могут останавливать размножение HIV в клеточных культурах. И хотя проблема токсичности и действенности в организме человека еще не решена, по крайней мере один созданный с помощью компьютера ингибитор протеиназы HIV, обозначаемый Ro31-8959 (производство фирмы Hoffman-La Roche), оказался довольно обнадеживающим, и в настоящее время он проходит клинические испытания.

Воодушевленные многими достижениями в понимании структуры и функции белков, Р. Лернер и его коллеги из Научно-исследовательского института Скриппсовской клиники взяли за весьма амбициозный проект — создание ферментов «на заказ» для ускорения определенных хи-

мических реакций. Эти исследователи модифицируют антитела, чтобы они действовали как катализаторы. Антитела обладают великолепной способностью узнавать и различать молекулы, и в принципе возможно сконструировать антитела-катализаторы, специфично ускоряющие ту или иную реакцию (см. статью: Р. Лернер, А. Трамонтано. Антитела-катализаторы, «В мире науки», 1988, № 5). Целенаправленно созданные каталитические антитела могли бы бороться с вирусами или разрушать тромбы, не причиняя никакого вреда здоровым клеткам больного.

В сотрудничестве с В. Робертс, Дж. Тейнером и Э. Гетцгофф, также из Скриппсовской клиники, Лернер модифицировал одно из антител таким образом, что образовался участок связывания для атомов металлов. Этот участок помог сконструировать компьютерная графика. Возможность соединять металлы с антителами представляется важным шагом на пути к получению катализаторов «на заказ», поскольку скорость многих химических реакций зависит от присутствия атомов металлов.

Перспективы использования компьютерной графики в молекулярной биологии уже становятся реальностью. Скорость и объем памяти компьютерной техники увеличиваются вдвое каждые полтора года, вызывая соответствующий прогресс в развитии программного обеспечения. Имитации виртуальной реальности, переносящие исследователя в мир молекул, сами становятся реальностью. Уже существуют видеоустановки, которые изменяют видимую картину в ответ на повороты головы наблюдателя, а также механизмы с обратной связью, реагирующие на физические усилия, которые позволяют исследователю

«ощущать» силы, действующие на молекулу, находящуюся в поле зрения.

В опытной установке, разрабатываемой в Университете шт. Северная Каролина под руководством Ф. Брукса-младшего, используется компьютеризованный имитатор для проверки потенциальных лекарственных препаратов путем «ощущения» того, как они действуют на молекулу-мишень. Один из новых проектов, предполагающий решение такой же задачи, заключается в совместном применении растрового туннельного микроскопа и системы виртуальной реальности. Цель здесь в том, чтобы вооружить исследователя средствами, которые помогли бы ему увидеть и почувствовать детали исследуемой молекулярной структуры на атомном уровне. Такие системы, возможно, позволят человеку в будущем взаимодействовать с миром невидимых субмикроскопических частиц так же, как он это делает в мире привычных для него ощущений.

Но величайшее из того, что может дать компьютерная графика молекулярной биологии, заключается, пожалуй, в том, что она способствует научному общению. Быстродействующие сети передачи данных позволяют ученым, работающим в различных частях земного шара, одновременно проверять самые последние результаты в молекулярных исследованиях. Интерактивные видеосистемы могут учащимся всех уровней изучать молекулярные структуры и их функции. А непрофессионалам, далеким от научных проблем, сложные средства моделирования в сочетании с графическими устройствами, создающими реалистические изображения, позволяют впервые индивидуально ощутить работу сложного химического «комбината» внутри себя.

## Наука и общество

### Спадают завесы секретности

НЕ ТАК давно какой-нибудь русский разведывательный самолет, напичканный различными датчиками, залетев в самый центр системы противовоздушной обороны США, мог вызвать панику и поднять в воздух американские истребители. Каково же было удивление дежурных операторов, работающих на радиолокаторах, когда 12 сентября 1992 г. массивный самолет «ИЛ-76 МД» приземлился в аэропорту «Стэплтон» в Денвере, всего в нескольких минутах лета от штаба воздушной обороны Северной Америки в Чейне-Маунтин и от спутниковой разведывательной станции на авиационной базе Air National Guard Base в Бакли.

Если нужны какие-либо дополнительные подтверждения того, что холодная война окончилась, то можно сослаться на этот визит в США 32 ученых и 14 членов экипажа, многие из которых были сотрудниками советского военного комплекса. Гости открыли двери грузового отсека, достали оттуда водку и пригласили всех присутствующих пообедать по огромному самолету и осмотреть его техническую оснастку. Разрешалось даже фотографировать.

Этот примечательный визит русских был кульминационным событием после семимесячных усилий У. Дьюхерста, главного геофизика береговой геодезической службы Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУИОА). Дьюхерст уже в течение года устанавливает связи со своими коллегами из бывшего неприятелиского государства и впервые увидел летающую лабораторию в феврале 1992 г. в Институте летных испытаний им. Громова под Москвой. Именно тогда, по словам Дьюхерста, ему удалось договориться относительно прилета этой лаборатории в США в качестве рекламы Инициативы по обмену геофизической информацией, которую он разрабатывал совместно с Н. Хартхиллом, геофизиком из Колорадской горнодобывающей школы в Голдене, и с С. Домарацким, научным сотрудником Санкт-Петербургского института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн. Т. Музичник из Института точного приборостроения в Москве предложил список русских ученых для поездки в Колорадо.

Дьюхерст, Хартхилл и Домарацкий убеждены, что американские и русские геофизики могут многому научиться друг у друга, поскольку на про-

тяжении нескольких десятилетий они работали без взаимных контактов. Главным препятствием на пути к сотрудничеству было то обстоятельство, что и американские, и русские специалисты использовали чувствительную аппаратуру, которая до последнего времени была засекречена. Хотя наблюдения за мельчайшими колебаниями магнитного и гравитационного полей Земли можно использовать для обнаружения залежей полезных ископаемых, нефти и газа, магнитные возмущения над океаном могут быть сигналом присутствия подводных лодок. Карты гравитационного поля можно использовать для точного прицеливания и для определения местонахождения подземных шахт с ракетами.

Магнетометры на специально оборудованном самолете Илюшина имеют военное исполнение, как замечает Хартхилл. По его словам, этот самолет «в основном предназначен для обнаружения подводных лодок». Самолет с четырьмя двигателями, дальностью полета 8200 км и грузоподъемностью 40 т несет на своем борту РЛС с синтезированной апертурой и формированием изображения и гравитометры. Имеющиеся в распоряжении НУИОА корабли и небольшие самолеты не оснащены такой аппара-

турой. «Наши корабли выходят в море и измеряют глубину, и все», — удрученно говорит Дьюхерст.

Дьюхерст считает, что не ставит в неловкое положение своих русских партнеров, когда спрашивает их о военных заданиях, которые они, возможно, выполняли во время полетов. «Если это сотрудничество взаимно приемлемо, то мы должны дать ему ход», — сказал он. Однако военные круги США не проявили к этому визиту заметного интереса. Чтобы получить разрешение на приземление «Илюшина» в Денвере, потребовалось приложить немало усилий, и Дьюхерсту пришлось также столкнуться с «тенью холодной войны» в кабинетах Государственного департамента. Еще за день вылета самолета из Москвы, многие члены экипажа и ученые не имели на руках виз, разрешающих пребывание в США.

По прибытии в «Стэплтон» русские ученые следующие четыре дня провели в Колорадской горнодобывающей школе, распродавая различные вещи американским геофизикам, а заодно и зорко за всем следящим военным специалистам из таких учреждений, как Центр боевых операций на море и Военное картографическое агентство. Лишившись поддержки военных ведомств, русские ученые не теряют бодрости духа. «У нас есть опыт, у нас есть техника, у нас есть желание», — заявил Музинянц в конце осмотра летающих лабораторий. — Чего нам не хватает, так это немного денег».

Среди систем, показанных русскими, была мощная установка ЛИДАР (лазерный радар, способный «видеть» под поверхностью воды), в которой используется лазер на парах меди мощностью 300 кВт. По словам В. Фейгельса из Института точной механики и оптики в Санкт-Петербурге, эта система может давать очень ценную информацию обо всем «увиденном» на глубине 20—30 м. Дж. Дейвис из Центра боевых операций на море в Уорминстере (шт. Пенсильвания) сказал, что американские ВВС могли бы сотрудничать с русскими по использованию установки ЛИДАР, «так как я думаю, что они немного обогнали нас в этой области».

Многие американские обозреватели единодушны в том, что относительно несложное электронное оборудование русских заставило их изыскивать оригинальные способы решения различных проблем. Они, например, говорили о многих методах исследования гравитации воздушными средствами. «У них есть выдающиеся теоретики», — сказал Ричард Уолд из фирмы GWR Instruments в Сан-Диего, которая производит гравитометры. Не-



ВОЕННЫЕ И ГРАЖДАНСКИЕ УЧЕНЫЕ США осматривают русский самолет Илюшина «ИЛ-76МД», «летающую лабораторию», приземлившуюся в аэропорте «Стэплтон» в Денвере. (Фото: Г. Олссон.)

которые обозреватели были разочарованы. Хотя гости рассказывали о бортовых системах компьютерной обработки данных, поступающих от РЛС с синтезированной апертурой, «они не показали ни одного синтезированного изображения, которое действительно было бы хорошего качества», — сказал Э. Окадлик из Центра боевых операций на море. Однако он добавил: «Я собираюсь научиться говорить по-русски».

Конференция в Голдене была первым официальным мероприятием в рамках Инициативы по обмену геофизической информацией. Следующим будет конференция в 1993 г. в Санкт-Петербурге, где американские геофизики расскажут о своих исследованиях. Кроме того, Дьюхерст и Домарацкий создали в Санкт-Петербурге постоянный действующий фонд в поддержку совместных проектов в области геофизических исследований.

Несмотря на то что этот фонд является совсем новым, Дьюхерст уже замыслил один проект для него. Он пытается заручиться поддержкой фонда, чтобы приобрести (о финансовой стороне этого дела он имеет весьма поверхностное представление) русскую «летающую лодку» под названием «Бериев А-40». Два опытных образца ее уже существуют. Этот самолет будет оборудован гравитометрической аппаратурой, установкой ЛИДАР и другими приборами и будет использоваться для исследований в полярных районах или где-нибудь еще. Бла-

годаря большой дальности полета и способности плавать на воде этот самолет, как считают Дьюхерст и Домарацкий, является идеальным средством для проведения планируемых исследований, поскольку он мог бы проводить наблюдения с воздуха, а затем сесть на море, чтобы провести уточненные замеры «на земле». У ученых уже имеется один конкретный план проведения такого исследования. Речь идет о заброшенной территории в районе Берингова пролива, где, как они полагают, нужно построить туннель. Протяженность пролива составляет 96 км (с островом посередине), а глубина его небольшая, как сказал Дьюхерст. А пока Дьюхерст хотел бы, чтобы русский «ИЛ» выполнил геофизические исследования в США. По словам Хартхилла, имеющийся на его борту ЛИДАР является идеальным средством мониторинга качества воздуха и воды. И всем, кому идея о получении разрешения у американских ВВС на полеты многофункционального исследовательского самолета в параллельных коридорах шириной 4 км над Канзасом с включенной измерительной аппаратурой кажется невероятной, у Дьюхерста имеется готовый ответ. «Месяц назад военные власти не проявляли особого желания, чтобы «ИЛ» приземлился в Колорадо», — сказал он, указывая жестом на самолет, стоящий на бетонированной площадке перед ангаром. — Однако ж вот он здесь».

Тим Бердсли

# Большой взрыв эволюции животных

*Почти 600 млн. лет назад в эволюции животных произошел уникальный взрыв «творческой активности». Изменился ли механизм эволюции с тех пор настолько, что принципиально новые планы строения животных уже никогда не возникнут?*

ДЖЕФФРИ С. ЛЕВИНТОН

Что было, то и будет, и что творилось, то творится, и нет ничего нового под солнцем.

*Екклесиаст 1:9*

**Б**ИОЛОГИ едины во мнении, что все широчайшее разнообразие животных, растений и других форм жизни, населяющих нашу планету, произошло от простых организмов, возникших более 3 млрд. лет назад. Древнейшие ископаемые остатки относятся к водорослям и другим одноклеточным организмам; более сложные многоклеточные животные и растения появились на сотни миллионов лет позже. По-видимому, это увеличение сложности шло отнюдь не равномерно. Большинство важнейших эволюционных преобразований совершилось довольно внезапно вскоре после появления многоклеточных примерно 600 млн. лет назад, т. е. в кембрийский период. Планы строения тела, сформировавшиеся в то время, стали в общих чертах основой тех, что существуют сегодня. Позже к ним добавилось совсем немного новых. Как все автомобили в принципе повторяют схему первых самоходных четырехколесных экипажей, так и все эволюционные изменения после кембрия были лишь вариациями нескольких основных тем.

Глубочайший парадокс эволюционной биологии заключается именно в этой странной неравномерности. Почему за последние сотни миллионов лет эволюция не создала новых планов строения, а древние оказались такими устойчивыми?

Эти основные планы строения известны даже начинающему натурасту-любителю. В царстве животных простейшими многоклеточными организмами являются радиально симметричные стрекающие кишечнополостные вроде медуз и актиний, тело которых состоит из двух слоев ткани. Несколько сложнее устроены плоские черви: у них три слоя первичных тка-

ней, двусторонняя симметрия и сенсорные органы на переднем конце тела. У целомических форм, к которым относятся почти все остальные животные, также трехслойное в принципе тело, но с полостью в среднем слое ткани. В этой обширной группе различаются планы строения аннелид (кольчатых червей), иглокожих (морских звезд, голотурий, змеехвосток и других животных с пятилучевой симметрией), членистоногих (насекомых, клещей, пауков, ракообразных), моллюсков, позвоночных и ряда менее известных организмов.

Такие структурные различия легли в основу иерархической системы, которую биологи стали применять для классификации животных и растений. Иглокожие, членистоногие, аннелиды и другие столь же своеобразные группы составляют отдельные типы, являющиеся самыми крупными таксонами (подразделениями) царства животных. Каждый тип определяется особым планом строения своих представителей. Типы в свою очередь делят на классы, те — на отряды и т. д. вплоть до уровня вида.

В 1859 г. Чарлз Дарвин объяснил, почему в природе существует такая таксономическая иерархия. Согласно его теории, эволюция — это процесс ветвления, а каждое иерархическое подразделение соответствует очередной точке расхождения линий развития. Типы различаются признаками, отражающими самые древние и глубокие уровни эволюционной близости своих представителей.

Все известные типы животных, хорошо fossilизованные, т. е. сохранившиеся в виде ископаемых остатков, появились в течение 60 млн. лет кембрийского периода. Когда конкретно возник каждый из них, неизвестно. Тем не менее в сравнении с 3,5 млрд. лет всей биологической эволюции и около 570 млн. лет, прошедших с начала кембрия, создается впечатление, что типы животных появи-

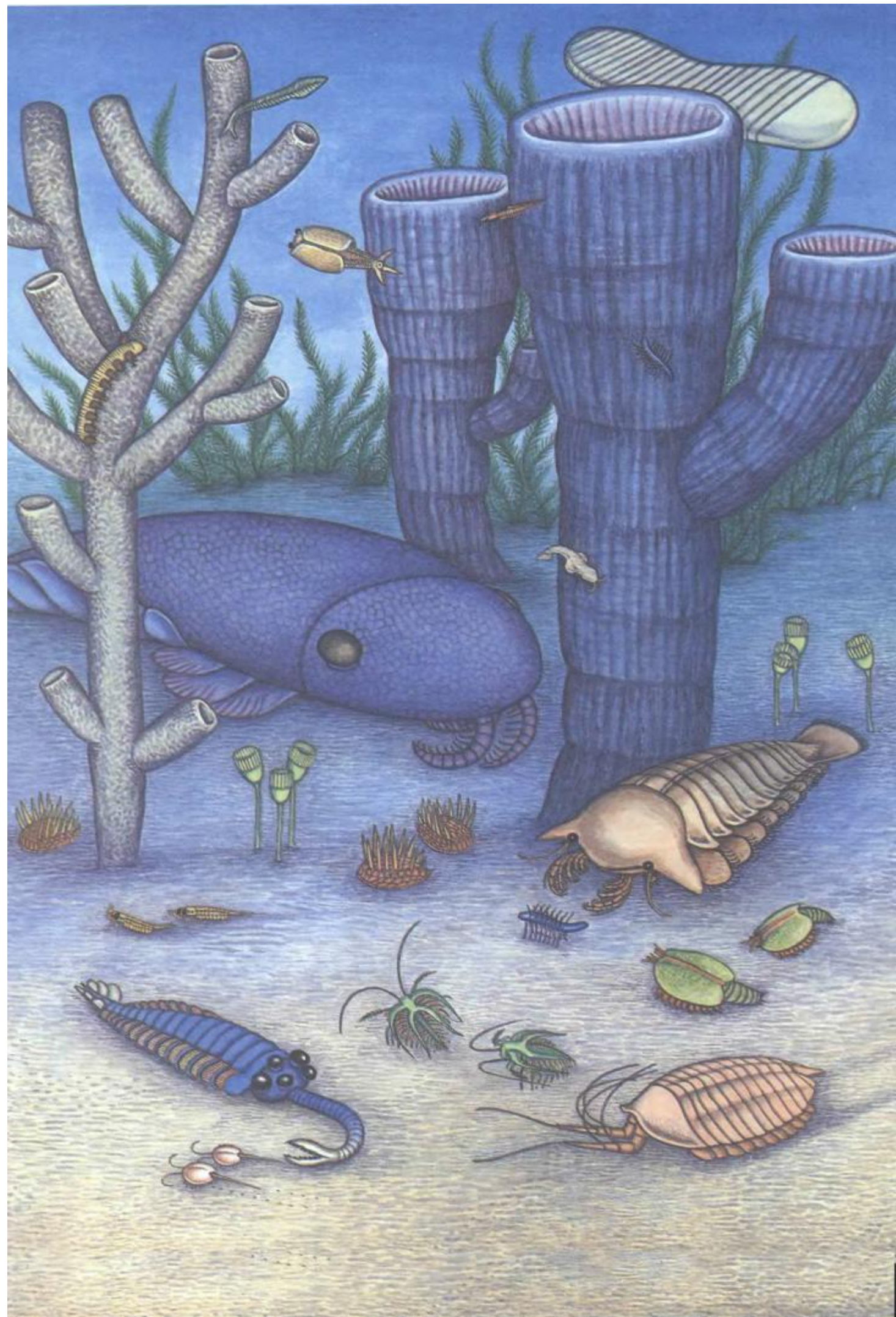
лись внезапно и одновременно. Поэтому некоторые палеонтологи говорят о кембрийском «взрыве» формообразования.

Даже если обратиться к более низкому таксономическому уровню — классам, совершенно очевидно, что определяющие их черты возникли очень рано. Р. Бамбач из Политехнического института и Университета шт. Виргиния показал, что после кембрия скорость появления новых классов катастрофически упала. По-видимому, это подтверждает уникальный характер раннекембрийской эволюционной радиации.

Некоторые особенности кембрийской вспышки до сих пор малопонятны. Установление времени возникновения типов по ископаемым остаткам вызывает большие сомнения. Так, не исключено, что родоначальники отдельных групп животных, обнаруживаемых в кембрийских отложениях, произошли от общего предка на сотни миллионов лет раньше, однако они могли не оставить следов своего существования, если не имели раковин или скелетов. А значит, кембрийская дифференциация форм вовсе не обязательно была такой взрывообразной, как принято думать.

По этому поводу собраны противоречивые данные. Единственные известные докембрийские ископаемые, напоминающие животных, относятся к своеобразной группе, открытой в

**КЕМБРИЙСКИЙ ВЗРЫВ** разнообразия животных характеризуется внезапным и примерно одновременным появлением множества различных форм около 600 млн. лет назад. Ни один из периодов истории фауны не может сравниться с ним по масштабам эволюционного творчества. (Большинство изображенных здесь кембрийских существ реконструировано по ископаемым остаткам С. Конвеем Моррисом и Г. Уиттингтоном из Кембриджского университета.)

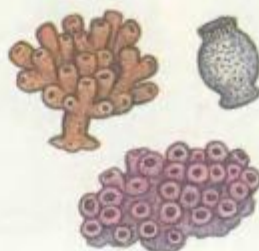




ANNELIDA  
КОЛЬЧАТЫЕ ЧЕРВИ



NEMATODA  
КРУГЛЫЕ ЧЕРВИ



PORIFERA  
ГУБКИ



CNIDARIA  
МЕДУЗЫ, КОРАЛЛЫ,  
АКТИНИИ



PLATYHELMINTHES  
ПЛОСКИЕ ЧЕРВИ



ECHINODERMATA  
МОРСКИЕ ЕЖИ И ЗВЕЗДЫ,  
ГОЛОТУРИИ



MOLLUSCA  
УЛИТКИ, ДВУСТВОРКИ,  
ОСЬМИНОГИ, КАЛЬМАРЫ



ARTHROPODA  
НАСЕКОМЫЕ, РАКООБРАЗНЫЕ,  
МОРСКИЕ ЖЕЛУДИ



CHORDATA  
РЫБЫ, ЗЕМНОВОДНЫЕ,  
ПРЕСМЫКАЮЩИЕСЯ,  
МЛЕКОПИТАЮЩИЕ

УНИКАЛЬНЫЙ ПЛАН СТРОЕНИЯ свойствен каждому типу, т. е. крупнейшей таксономической группе животных. Организмы, относящиеся к одному типу, объединяет ряд определенных эволюционных приобретений. Дальнейшее подразделение на более мелкие таксоны вплоть до вида отражает изменчивость в

1947 г. геологом Р. Спринггом в районе холмов Эдиакара на юге Австралии и впервые описанной М. Глесснером из Аделаидского университета (сходные остатки были затем найдены и в других местах). Эдиакарская фауна, видимо, представляет собой эволюционный тупик: ее трудно связать с какими-либо ныне живущими организмами и даже с кембрийскими ископаемыми.

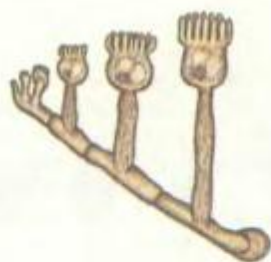
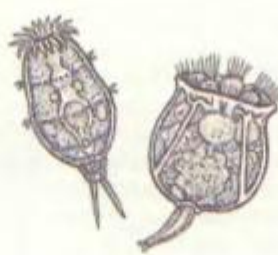
ПОПЫТКИ решить проблему методами молекулярной биологии также не дали четких результатов. Постулировалось, что нуклеотидные последовательности ДНК и соответственно аминокислотные последовательности белков мутируют примерно с постоянной скоростью. Следовательно, их можно использовать как своего рода молекулярные часы. Сравнив белки, называемые глобинами, у современных организмов, Б. Раннегар из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе сделал вывод, что линии эволюционного развития многоклеточных, давшие основные таксономические типы, разделились скорее всего более 900 млн. лет назад, т. е. задолго до кембрия. А определение нуклеотидной последовательности рибосомной РНК 18S (эти молекулы участвуют в синтезе белков) у различных видов говорит о почти одновременном появлении многих типов, вероятно, в позднем докембрии. Точное время возникновения этих типов и их родственные отношения остаются неясными.

В любом случае факты говорят о взрывоподобном появлении весьма неоднородной биоты около начала кембрийского периода. Реальные масштабы этой вспышки формообразования можно оценить, только критически подходу к палеонтологической летописи. Самые впечатляющие ископаемые известны из сланцев Берджесс в Британской Колумбии

(Канада). Удивительно хорошо сохранившиеся окаменелости были впервые обнаружены здесь в 1809 г. Ч. Уолкоттом из Смитсоновского института. Хотя, по его мнению, эти странные ископаемые можно связать с современными группами, сейчас многие палеонтологи считают, что сланцы Берджесс и другие кембрийские отложения содержат остатки множества уникальных по плану строения существ, обильных в кембрии, а затем полностью вымерших. С. Гулд из Гарвардского университета изложил эту точку зрения в своей книге «Удивительная жизнь» (S. Gould "Wonderful Life").

Хороший пример такого странного ископаемого из сланцев Берджесс — существо, названное *Wiwaxia*. Эта покрытая шипами форма длиной примерно 2,5 см подробно описана палеонтологом С. Конвеем Моррисом из Кембриджского университета, который предложил ее правдоподобную реконструкцию, убедившую многих исследователей, что речь идет о совершенно новом таксономическом типе. Однако в 1990 г. Н. Баттерфилд, в то время учившийся в Гарварде, предположил, что это животное родственно современному многощетинковому кольчецу, называемому морской мышью. Проведенные им более детальные исследования подтвердили принадлежность ископаемого к типу Annelida: у образцов *Wiwaxia* имеются уплощенные хитиновые крючки, характерные для одного из подклассов ныне живущих аннелид — полихет.

История с *Wiwaxia* прошла полный круг от первых выводов Уолкотта до окончательного, видимо, верного заключения о принадлежности этого вымершего животного к кольчатым червям. Даже самое удивительное из берджесских ископаемых — *Hallucigenia*, как показали недавно Л. Рамскельд из Шведского музея

ЕКТОПРОКТА  
МШАНКИЕНТОПРОКТА  
ВАРЕНТСИЯ И ДР.РОТИФЕРА  
КОЛОБРАТКИ

пределах этой основной конструкции. Все типы животных с твердыми структурами появились в кембрии. Сейчас их насчитывается 26; здесь изображены только некоторые из наиболее известных.

естественной истории и Хоу Сяньгуан из Нанкинского института геологии и палеонтологии, вероятно, относится к современному типу *Onychophora*.

Другой пример. Долгое время кембрийских иглокожих распределяли по многим таксономическим классам, которые, казалось, возникли внезапно и не связаны между собой явными родственными отношениями. Однако позднейший анализ продемонстрировал наличие в данном случае типичного эволюционного древа, а отнюдь не «газона» с множеством самостоятельных всходов, уходящих корнями к неизвестным предкам.

Эти истории свидетельствуют о серьезной проблеме, касающейся всех эволюционных аргументов, опирающихся на таксономическую классификацию. Некоторые окаменелости, наводящие на мысль о существовании уникальных по своим признакам классов, представляют собой лишь крошечные лоскутки общей геологической картины. Чтобы установить, относится ли данная ископаемая форма к какой-то действительно принципиально новой таксономической группе, следует убедиться в отсутствии у нее признаков, общих с другими группами. Чтобы говорить о принадлежности находки к известному таксону, необходимо обнаружить соответствующие ему «диагностические» черты. Впервые найденные фрагментарные ископаемые остатки неизвестного организма часто лишены таких черт, и потому палеонтологу проще их отнести к новой группе. Поскольку великое множество окаменелостей представлено именно фрагментами, трактовать которые можно по-разному, я считаю, что Гулд и ряд других исследователей преувеличивают фаунистическое разнообразие кембрия.

**Т**ЕМ НЕ МЕНЕЕ вспышка разнообразия животного мира в кембрийский период все-таки была.

Биологи-эволюционисты пытаются выяснить, почему за последние полмиллиарда лет не появилось новых планов строения тела у животных.

Дж. Валентайн из Калифорнийского университета в Беркли предположил, что новые структурные варианты возникали и эволюционировали быстрее на ранних стадиях истории живого, поскольку тогда было больше «свободного пространства», т. е. незаполненных экологических ниш. По моему, вряд ли дело только в этом. Д. Роп из Чикагского университета подсчитал, что во время крупнейшего массового вымирания, произошедшего в конце пермского периода (около 230 млн. лет назад), исчезло до 96% всех морских видов. Однако — в противоречие с гипотезой Валентайна — данных о каком-либо принципиально новом плане строения, возникшем тогда, чтобы заполнить освободившиеся ниши, нет.

Трудно также принять, что освоенность всех ниш совершенно исключает эволюционные новообразования. В настоящее время организмы с самыми разными планами строения экс-

плуатируют одни и те же ресурсы; например, улитки, черви и представители многих других типов питаются органическими частицами ила. Приходится искать иное объяснение послекембрийской ограниченности биологических новшеств.

Одна из заслуживающих обсуждения гипотез заключается в том, что сейчас эволюция идет медленнее, чем на ранних стадиях развития Земли. Если по каким-то неизвестным причинам она замедлилась, то, наверное, для появления новых планов строения просто прошло еще мало времени.

Десять лет назад П. Клеркс из Университета Юго-Западной Луизианы и я решили проверить эту гипотезу, проанализировав устойчивость к тяжелым металлам у беспозвоночных из бухты Фаундри на реке Гудзон. Как и в других, соседних, бухтах, в ней бурлит жизнь: по поверхности снуют водомерки, хватая зазевавшихся нимф мошкар, в донном иле кишат черви-олигохеты и личинки насекомых, давая корм рыбам, крабам и креветкам. Однако бухта Фаундри имеет ту особенность, что здесь самая высокая в мире концентрация токсичных загрязнителей, содержащих никель и кадмий.

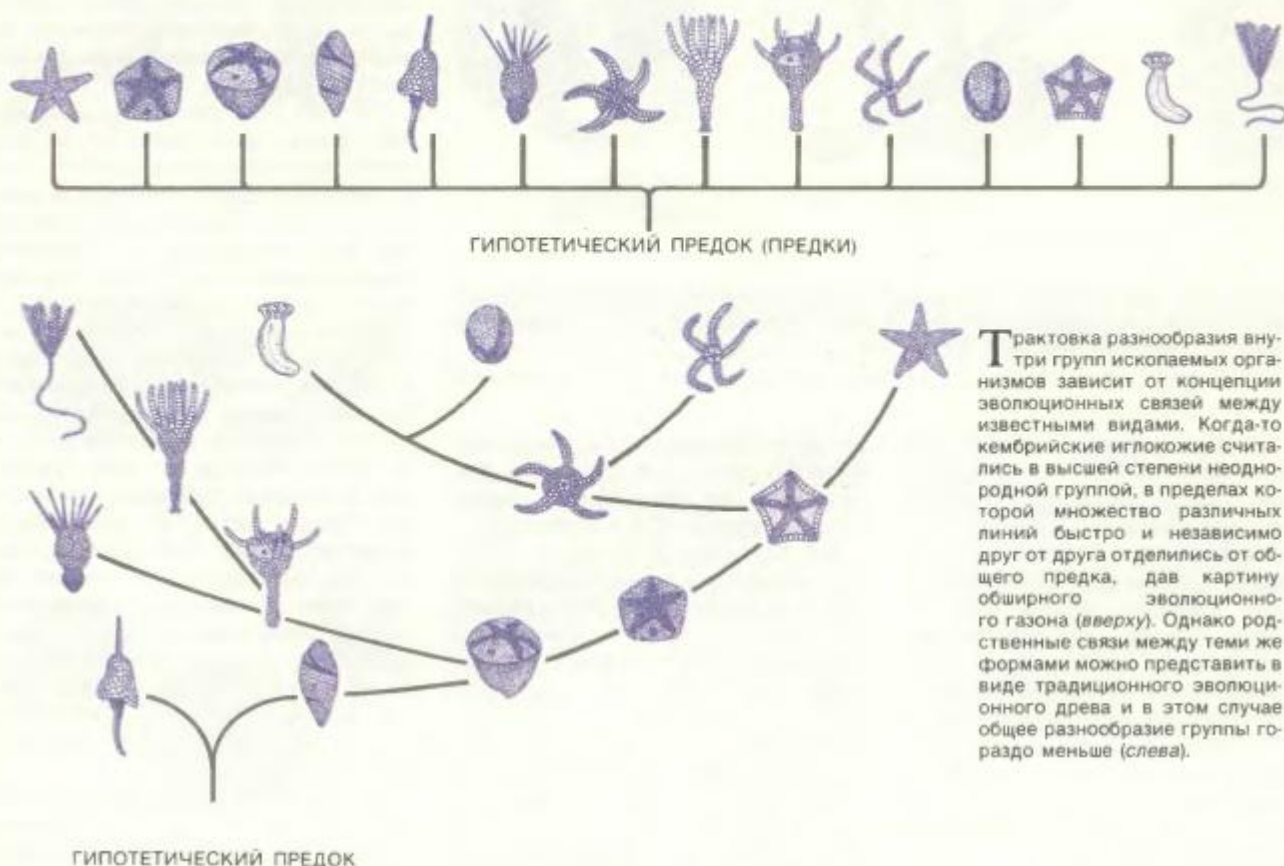
У этой бухты, простирающейся от горы Сторм-Кинг до Уэст-Пойнта, славная боевая история. Во время войны за независимость местная кузница ковала цепи, которыми перепоразивали реку Гудзон, чтобы по ней не прошли британские военные корабли. В годы гражданской войны здесь изготавливались боеприпасы, а около 40 лет назад началось производство электробатарей в военных целях. С 1953 г. промышленные предприятия сбросили в бухту и реку по соседству более 100 т отходов, содержащих никель и кадмий. Загрязнение продолжалось до конца 1970-х годов



**WIWAXIA (слева)** — шиповатая кембрийская форма — когда-то считалась представителем типа, неизвестного в современной фауне. Недавно доказано, что она на самом деле родственна морской мыши *Aphrodita*, относящейся к типу кольчатых червей (**справа**).



## Ход эволюции: «газон» или «дерево»



Трактовка разнообразия внутри групп ископаемых организмов зависит от концепции эволюционных связей между известными видами. Когда-то кембрийские иглокожие считались в высшей степени неоднородной группой, в пределах которой множество различных линий быстро и независимо друг от друга отделились от общего предка, дав картину обширного эволюционного газона (вверху). Однако родственные связи между теми же формами можно представить в виде традиционного эволюционного дерева и в этом случае общее разнообразие группы гораздо меньше (слева).

пока не было прекращено под влиянием жалоб населения

Когда в начале 1980-х годов мы приступили к своим исследованиям, обнаружилось, что 25% донных осадков бухты Фаундри содержат кадмий. Тем не менее многие виды бентосных беспозвоночных были здесь не менее обильны, чем в незагрязненном или других мест. Чтобы понять причину этого, мы изучили устойчивость к кадмию наиболее обычного водного обитателя бухты *Limnodrilus hoffmeisteri*, родственного земляному червю.

Как выяснилось, особи *L. hoffmeisteri* из соседней бухты, помещенные в ил бухты Фаундри, погибали или демонстрировали явные симптомы нарушений жизнедеятельности, тогда как местные экземпляры в нем прекрасно себя чувствовали и размножались. Мы стали разводить червей из Фаундри в чистом донном осадке и проверили их «внуков» на устойчивость к кадмию. У этих последних она также была высокой, т. е., по всей видимости, имела главным образом наследственную природу.

Эволюция невосприимчивости к кадмию могла занять не более 30 лет.

В самом деле, измеренные нами генетическая изменчивость в соседних популяциях и высокая смертность в них указывают, что для развития наблюдаемого уровня устойчивости к тяжелым металлам потребовалось бы всего два-четыре поколения червей, т. е. примерно два года. Для проверки этого вывода мы воздействовали на *L. hoffmeisteri* из незагрязненных местообитаний осадком, богатым кадмием, и размножали выживших особей. Уже к третьему поколению устойчивость составила 2/3 от наблюдаемой в популяции бухты Фаундри.

Такая способность к быстрым эволюционным изменениям при столкновении с новым фактором внешней среды удивительна. Ни одна популяция червей в девственной природе никогда не попадала в условия, подобные созданным человеком в бухте Фаундри. Тем не менее, хотя некоторые виды, обитающие в соседних водах, здесь отсутствуют, большинство форм адаптировалось к необычной среде.

Быстрое развитие устойчивости к высоким концентрациям токсинов является, по-видимому, широко распро-

страненным явлением. При применении нового пестицида обычно уже через несколько лет появляются устойчивые к нему линии вредителей. То же самое наблюдается у бактерий при внедрении в медицинскую практику новых антибиотиков. К счастью для человека, поддержание этой устойчивости обходится микробам, судя по всему, недорого, и при временном прекращении использования лекарства чувствительные к нему штаммы, как правило, снова начинают преобладать.

Чтобы продемонстрировать огромный потенциал естественного отбора, необязательно обращаться к ядам. Как показал Дж. Эндлер из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре на примере рыб гуппи, быстрые эволюционные изменения может вызывать хищничество. В верховьях ручьев на Тринидаде, где нет хищников, самки гуппи обычно предпочитают половых партнеров с особенно крупными ярко окрашенными хвостами — возможно, потому, что этот признак свидетельствует о хорошем здоровье его обладателя. Однако броская окраска опасна, если

вокруг много хищных рыб. Эндлер изучил эффект хищничества, разводя гуппи в аквариумах вместе с их врагами и в отсутствие таковых. При большом количестве хищников ярко окрашенные самцы уже через несколько лет стали редкими, а в безопасных условиях доля их увеличилась.

Д. Резник и Х. Брига из Калифорнийского университета в Риверсайте совместно с Эндлером показали, что под действием естественного отбора могут быстро изменяться даже сроки размножения организмов. Когда они помещали гуппи в ручей без хищников, рыбки начинали размножаться в более позднем возрасте и большую долю пищевых ресурсов использовали на рост тела, а не на воспроизведение. В присутствии хищников естественный отбор благоприятствовал особям, приступавшим к размножению раньше (пока не напал враг) и увеличивавшим тем самым потенциальное число репродуктивных сезонов.

Морфологические признаки также способны быстро эволюционировать, особенно когда появляются неосвоенные экологические ниши, готовые к заселению, например в результате образования новых островов или озер. Дарвиновы выюрки, как называют группу близкородственных друг другу видов птиц с Галапагосских островов, произошли, вероятно, от одного предка за последние 5 млн. лет или даже меньше. Новые виды с различными формами клювов возникли, чтобы заполнить существовавший экологический вакуум, специализировавшись на разных типах корма.

Недавно П. Гранту и его коллегам из Принстонского университета удалось наблюдать быстрое действие на этих птиц естественного отбора (см. статью: П. Грант. Естественный отбор и дарвиновы выюрки, «В мире науки», № 12, 1991). Сильная засуха погубила все растения, кроме имевших крупные засухоустойчивые семена. Поскольку дарвиновы выюрки питаются в основном семенами, смертность среди них также была высока. Эти обстоятельства способствовали увеличению средних размеров клюва: птицы с большим клювом способны поедать более крупные семена. По данным Гранта, колебания между сухими и влажными условиями приводят к непрерывным эволюционным сдвигам, завершающимся часто всего за несколько месяцев.

Эти исследования современных организмов свидетельствуют о мощи и скорости происходящих и в наши дни эволюционных изменений. Сравнительный анализ ископаемых остатков, проведенный Дж. Сепкоски-младшим из Чикагского университе-

та, дал дополнительные тому доказательства. Он проделал титаническую работу, обобщив палеонтологические данные и определив изменения биологического разнообразия с течением времени. Полученные им оценки для групп низкого таксономического ранга, в частности родов, дают хорошее представление о числе видов в различные геологические периоды и позволяют прийти к выводу, что в некоторые эпохи общее число видов оставалось, по-видимому, стабильным, а в другие (например, в конце палеозойской эры) — катастрофически падало. Однако в целом на протяжении последних 60 млн. лет оно, похоже, неуклонно возрастало. Разумеется, интенсивность видообразования не влияет на возникновение новых планов строения тела.

**И**ТАК, все данные о группах ныне живущих организмов позволяют предполагать, что эволюция идет сейчас не медленнее, чем когда-либо. Однако, если рассматривать ископаемые остатки, ее темпы могут показаться удивительно медленными.

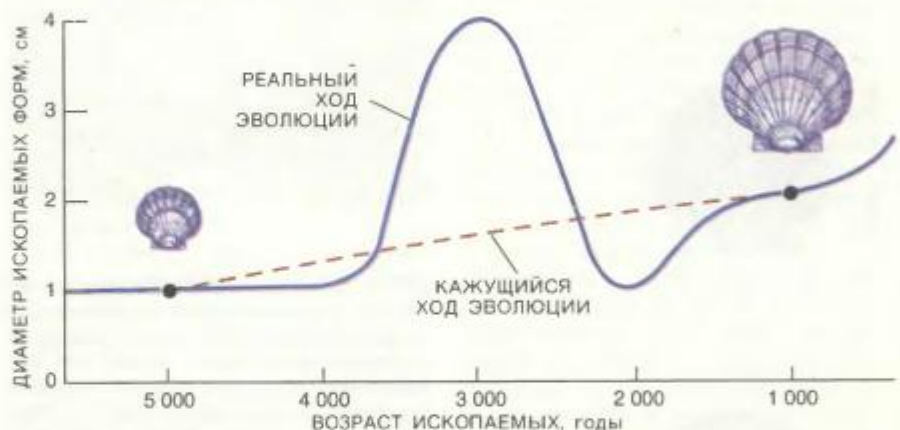
На пляже у скал Сайентистс-Клифс на побережье Чесапикского залива в шт. Мэриленд встречаются низкие бугры из сцементированного песка, содержащего тысячи ископаемых остатков организмов, населявших несколько миллионов лет назад мелкое море. Здесь очень легко собрать коллекцию окаменелостей (если, конечно, не бояться летнего зноя и крапивы).

Среди многих здешних сокровищ — раковины миоценовых моллюсков из группы гребешков, названных *Chesapecten*, потому что их обнаружили на

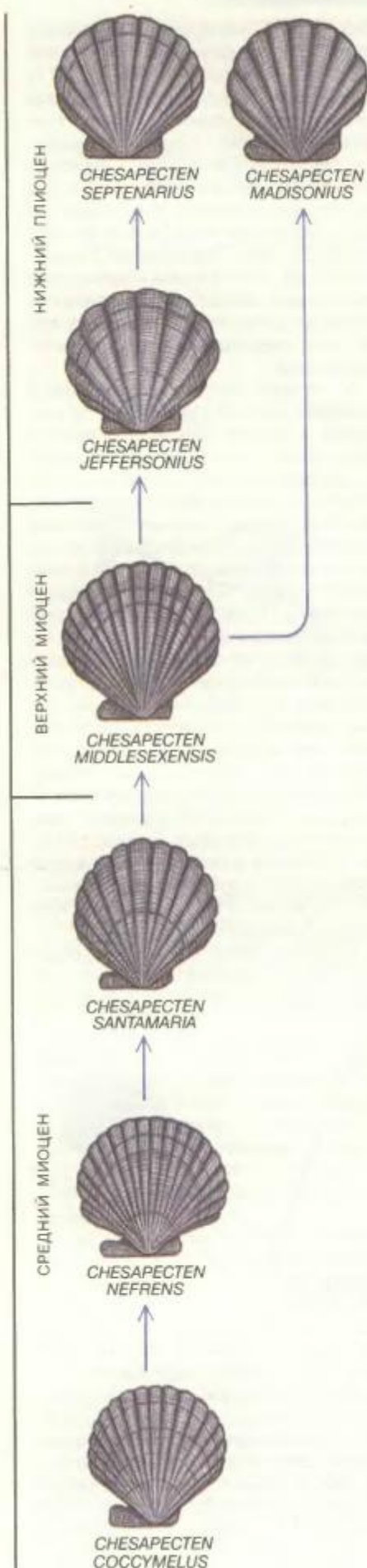
чесапикской литорали. Это первые известные северо-американские ископаемые; они были описаны в 1687 г. Древнейшие представители группы датируются серединой миоцена, т. е. их возраст около 14 млн. лет. Вымерли *Chesapecten* примерно 3 млн. лет назад. Последовательность, ведущая от предковых форм к их потомкам, в ряду осадочных слоев почти не прерывается. Дж. Миядзаки из Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Бруке проследила впечатляющее эволюционное развитие этих ископаемых животных, оказавшееся величаво неторопливым.

У молодил современных гребешков раковина обычно треугольная с глубокой вырезкой для выступающего образования из нитевидного материала, прикрепляющего моллюска к субстрату. По мере созревания животного его очертания становятся все более округлыми, а относительные размеры выступа уменьшаются. Большую часть истории *Chesapecten*, продолжавшейся 11 млн. лет, эволюция следовала одной и той же тенденции: от форм, взрослые особи которых напоминали нынешнюю молодь, к более похожим на современных половозрелых гребешков. Миядзаки предполагает, что древнее море, в котором обитали эти животные, постепенно становилось глубже, что создавало условия, благоприятствующие тем моллюскам, которые больше времени проводили в свободном, а не прикрепленном к субстрату состоянии. Как бы то ни было, эволюция группы шла на удивление медленно.

Сходные эволюционные преобразования у современных моллюсков могут происходить гораздо быстрее.



**ОЦЕНКА СКОРОСТИ ЭВОЛЮЦИИ** зависит от используемого временного масштаба; это, вероятно, объясняет, почему эволюционные изменения, прослеживаемые по ископаемым остаткам, кажутся такими медленными. Если анализировать различия форм, разделенных большими интервалами времени, истинные темпы эволюции могут искажаться, поскольку не будут учтены периоды, когда изменений вообще не происходило или когда они шли в противоположном наблюдаемому направлении.



Сравним, например, темпы изменений у *Chesapecten*, морского блюдечка *Nucella lapillus* и береговой улитки *Littorina obtusata*. Эти виды стали добычей европейского краба, случайно занесенного в бухты шт. Мэн, вероятно, в начале XX в. Всего за несколько десятилетий у обоих моллюсков развилась более толстая и прочная раковина, лучше защищающая от нападения хищника.

Покойный Дж. Симпсон из Американского музея естественной истории — безусловно, величайший палеонтолог XX в. — обнаружил медленную же скорость эволюции у ископаемых млекопитающих. Современные опоссумы лишь незначительно отличаются от своих предков, живших в меловой период 65 млн. лет назад. Экстраполируя скорость изменений опоссумов, Симпсон получил, что эволюция млекопитающих от их предков рептилий «вряд ли могла занять менее 600 млн. лет... а это, конечно, абсурд».

Блестящий эволюционист Дж. Холдейн сформулировал эту проблему, пожалуй, наиболее четко. Тщательно проанализировав данные Симпсона об ископаемых лошадях, он установил, что высота одного зубного элемента увеличивалась поразительно медленно: примерно на 3,6% за миллион лет. По мнению Холдейна, при таких темпах эволюции действие естественного отбора едва ли отличимо от случайного дрейфа генов. Я называл это парадоксом Холдейна: почему скорость эволюции современных популяций так высока, если эволюция ископаемых форм выглядит столь медленной?

ДО НЕКОТОРОЙ степени этот парадокс объясним: дело в том, что в большинстве случаев палеонтологи рассчитывают скорость эволюции для периодов в сотни тысяч или миллионы лет, а временной масштаб может существенно влиять на конечные результаты вычислений. Предположим, два года подряд 1 января мы

ИСКОПАЕМЫЕ ГРЕБЕШКИ *CHESAPECTEN* демонстрируют устойчивые тенденции эволюционных изменений на протяжении более 10 млн. лет. Раковина этих моллюсков постепенно округлялась, а вырезка, соответствующая месту прикрепления к субстрату, становилась все менее заметной. Эти изменения параллельны происходящим при созревании молоди у современных гребешков. В одной из линий эволюционного развития такие тенденции в итоге исчезли, но в другой сохранялись до тех пор, пока *Chesapecten* не вымерли.

определяем уровень моря у берега. Даже если в первый год сделать замеры в отлив, а на второй — в прилив, полученная скорость изменений будет невелика — скажем, 1 м в год. Если же мерить уровень воды каждые 6 ч, эта скорость окажется куда выше — 1 м за каждые 6 ч, т. е. 1460 м в год.

Если только темпы и направленность эволюционных изменений не постоянны, временной масштаб при определении скорости эволюции играет очень важную роль. Она может показаться неестественно низкой в случае «геологических», т. е. очень протяженных, интервалов времени, в течение которых были как периоды, когда организм не менялся, так и эпохи быстрых преобразований то в одном, то в прямо противоположном направлениях.

Например, когда геолог П. Садлер из Калифорнийского университета в Риверсайте измерял скорость накопления морских осадков в различные периоды геологической истории, он обнаружил, что она кажется тем ниже, чем длиннее выбранный интервал времени. Палеонтолог Ф. Джинджерич из Мичиганского университета столкнулся с такой же обратной корреляцией временного масштаба и расчетной скорости эволюции. Когда он анализировал изменения ископаемых и современных видов за короткие периоды, она казалась высокой, когда за более длинные — снижалась.

Я, как и многие другие палеонтологи и эволюционисты, считаю, что эпизоды быстрых, радикальных эволюционных изменений чередуются с эпохами «застоя» и даже с развитием в обратном направлении. Этапы бурных преобразований непродолжительны и обычно теряются в грубом масштабе палеонтологической шкалы времени. Как предположил недавно М. Линч из Орегонского университета, кажущиеся медленными темпы эволюции млекопитающих объясняются естественным отбором в пользу стабильных промежуточных форм, существовавших миллионы лет.

КОРОЧЕ говоря, нет никаких оснований говорить о происходящем в наше время ускорении или замедлении эволюции. Однако этот вывод оставляет без ответа парадокс кембрийского «взрыва» формообразования и загадочной неизменности возникших тогда же планов строения. На мой взгляд, ответ здесь по крайней мере частично связан с эволюцией жесткости программ индивидуального развития.

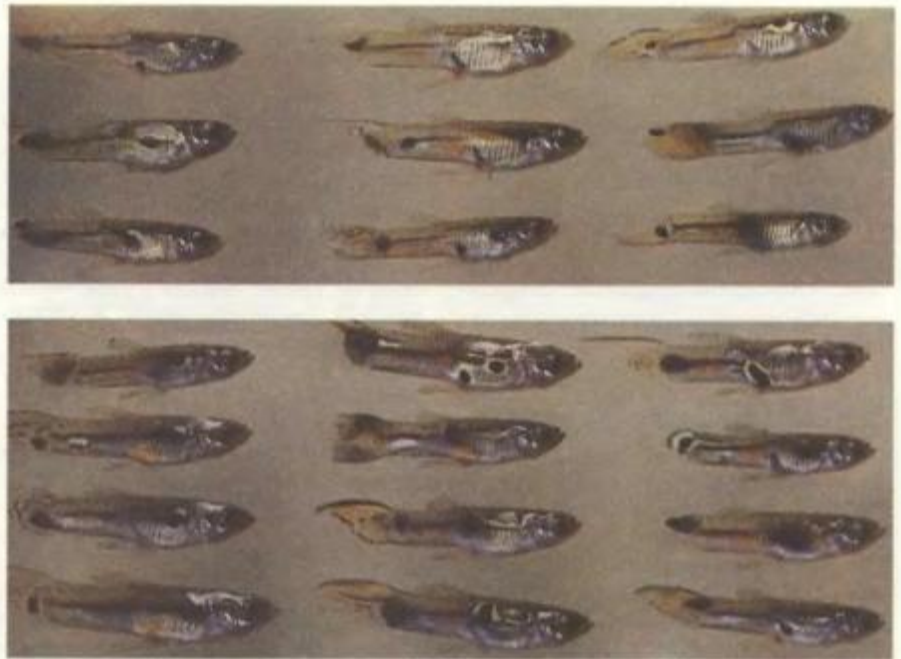
Признаки, которые можно было бы считать ключевыми для плана строения какой-либо группы организ-

мов, иногда не выражены или даже явно иные у ее предков. К. Пол из Ливерпульского университета и Э. Смит из Лондонского музея естественной истории показали, что морские звезды отнюдь не вышли, так сказать, из кембрийского тумана в своей окончательной форме, не подверженной дальнейшим изменениям. Напротив, их известная нам морфология складывалась на протяжении многих миллионов лет кембрийского периода. Даже пятилучевая симметрия, свойственная всем ныне живущим иглокожим, при возникновении этой группы еще не была устоявшейся: ей предшествовала трехлучевая, предковая. Естественный отбор медленно лепил общую форму различных классов типа иглокожих, преобразуя их скелет и мягкие ткани.

Итак, накопленные на сегодняшний день данные позволяют предполагать, что характерные для той или иной группы признаки постепенно «застывали» в относительно неизменном состоянии после долгого периода ранней эволюционной пластичности. Возможно, в ответ на давление естественного отбора программы развития эволюционировали в сторону ограничения изменчивости оказавшихся удачными планов строения. Можно только гадать о том, какие генетические механизмы непрерывно контролируют ход онтогенеза, однако обнаруживается все больше генов, осуществляющих сходное управление ранними этапами индивидуального развития, у далеких друг от друга видов. Возможно, именно в кембрийский период генетические программы, определяющие эмбриональные планы строения, отделились в свои современные формы.

Такой основанный на онтогенетических ограничениях аргумент достаточно весом. Многие биологи считают, что радикально изменить индивидуальное развитие, являющееся исключительно тонко отрегулированным процессом, чрезвычайно трудно: мутанты с явными онтогенетическими отклонениями обычно неполноценны и быстро гибнут. Эта теория объясняет как дифференциацию планов строения в кембрии, так и невозможность возникновения их новых вариантов после массового вымирания в конце перми. Из нее также следует, почему скорость видообразования, измеренная Сепкоски, остается высокой: изменения, соответствующие различиям между близкородственными видами, не связаны с онтогенетическими ограничениями.

Тем не менее у меня здесь остаются некоторые сомнения. Только ли онтогенетическими ограничениями обус-



ГУППИ способны к существенным эволюционным изменениям всего за несколько поколений в ответ на новые условия среды. Когда вокруг много хищников, естественный отбор благоприятствует особям с тусклым и прозрачным телом (вверху). Если хищников мало, у самцов развивается крупный, ярко окрашенный хвост, привлекающий самок (внизу).

ловлена стабильность планов строения в течение нескольких сот миллионов лет? Действительно ли иглокожие остались такими потому, что естественный отбор не смог изменить их онтогенеза?

Онтогенетические ограничения нельзя считать абсолютными, поскольку правила индивидуального развития иногда все же нарушаются. Хороший пример тому — квакши (см. статью: Э. дель Пино. Сумчатые лягушки, «В мире науки», № 7, 1989). У всех взрослых квакш примерно одинаковое строение. Однако у некоторых видов есть особые «карманы», в которые они откладывают необычно крупные, богатые желтком икринки. Ранний эмбриогенез у них отличается от свойственного другим квакшам, благодаря чему зародыш развивается за счет питательных веществ яйца на суше, а не в воде.

Это отличие касается гастрюляции — самого ответственного этапа онтогенеза, на котором определяются будущие ткани. Как сказал эмбриолог Л. Уолперт, «не рождение, не брак и не смерть, а именно гастрюляция — важнейшее событие нашей жизни». Данный факт резкого изменения эмбриогенеза свидетельствует, что и ранние стадии индивидуального развития могут значительно модифицироваться.

Такой же вывод можно сделать из исследования онтогенеза иглокожих,

недавно проведенного Г. Реем из Университета Вандербилта и Р. Раффом из Индианского университета. По их данным, эмбрионы морских ежей фантастически разнообразны. У близкородственных видов иногда совершенно разные личинки: некоторые приспособлены к продолжительной свободноплавающей жизни и питанию планктоном, тогда как другие — к короткому периоду расселения морскими течениями, во время которого не питаются. Экологическая специализация отражена резкими различиями в ходе развития личинок вплоть до того, из каких частей зародыша формируются структуры взрослого организма. Однако половозрелые особи этих видов практически неотличимы друг от друга: все они имеют яйцевидный панцирь с иглами, передвигаются с помощью амбулакральных ножек и обгладывают с камней водоросли особыми челюстями.

Такие наблюдения говорят о том, что в противоположность теории онтогенетических ограничений взрослая форма сохраняла постоянство плана строения скорее всего благодаря его эффективности, а не из-за неспособности к изменениям. Хотя индивидуальное развитие явно определяет морфологическую эволюцию, естественный отбор, вероятно, служит главным фактором, сохраняющим характерный для данного таксономического типа набор признаков.

ТАКИМ образом, кембрийский «взрыв» формообразования остается загадкой. Сохранение возникших в этот период планов строения, наверное, говорит о неких важных аспектах хода эволюции. Исходя из постулата о необычном разнообразии кембрийской биоты, Гулд предположил, что судьба линий эволюционного развития — их выживание или вымирание — определялась не столько естественным отбором, сколько случайными факторами. Однако кембрийская фауна, возможно, была менее разнообразной, чем считают он и его единомышленники. Д. Бриггс и М. Уиллз из Бристольского университета вместе с Р. Форти из Лондонского музея естественной истории обнаружили свидетельства в пользу именно такой точки зрения: например, они показали, что у современных членистоногих, по всей видимости, насчитывается не меньше различных планов строения, чем у кембрийских.

Кроме того, не менее существенным, чем само возникновение планов строения, было их послекембрийское преобразование. Нельзя с легкостью отбрасывать предположение о том, что современные животные все же прогрессивнее или совершеннее своих древних предшественников. Дарвин с самого начала критиковал концепцию эволюционного прогресса, ставящего человека на вершину лестницы живых существ. Тенденции к совершенствованию строения, прослеживающиеся внутри группы, не подразумевают превосходства потомков над кем-либо, кроме их собственных предков. Однако во многих эволюционных линиях совершенно очевидны адаптивные процессы, связанные с появлением хищников, изменениями климата, глубины водоемов и других факторов внешней среды.

Я считаю, что эти эволюционные тенденции соответствуют классическому дарвиновскому постепенному совершенствованию в ответ на воздействие внешних факторов. Например, весь процесс поэтапного развития млекопитающих из зверообразных рептилий, занявший более 100 млн. лет, сопровождался повышением приспособленности к сухопутной среде. Развитие вторичного неба увеличило эффективность пережевывания пищи. Зубы, которые у рептилий представляют собой простые конусы, неоднократно заменяющиеся в течение всей жизни, превратились в сложные структуры, сменяемые только один раз. Даже челюстной сустав переместился с одной пары костей на другую, причем у некоторых промежуточных ископаемых форм имеются одновременно оба типа суставов.

Если сравнить современных рептилий с млекопитающими, может сложиться впечатление, что такие перемены в сочленениях челюстных костей невозможны без крупных, резких (и в высшей степени невероятных) мутаций, однако ископаемый материал говорит о постепенной эволюции через промежуточные формы. Вместо опровержения роли естественного отбора — таково мнение Гулда — эти находки свидетельствуют в пользу его всепроникающего влияния.

Действительно ли планы строения, характерные для таксономических типов, являются при всей своей древности и устойчивости оптимальными решениями проблем выживания и

размножения, найденными в результате раннего краткосрочного раунда естественного отбора еще до установления жестких программ индивидуального развития? Или это просто случайные комбинации признаков, собранных вместе по капризу истории? По-моему, на сегодня лучший выход — усматривать долю истины и в том и в другом. Темпы эволюции на видовом уровне не снижаются, однако она, по-видимому, уже не затрагивает сложившихся планов строения. По каким-то непонятным причинам такое взрывоподобное увеличение разнообразия животного мира, какое произошло в начале кембрия, скорее всего никогда не повторится.

## Наука и общество

### Все надежды на Sematech

ВТОРОЙ постулат Мерфи гласит, что на все требуется времени больше, чем мы ожидаем. Это правило справедливо и в отношении полупроводниковой промышленности США, когда речь идет о ее спасении.

В 1987 г., когда американские производители не без раздражения увидели, как их японские конкуренты стали захватывать рынок динамических ЗУПВ, в США при участии правительства создали Sematech (SEmiconductor MANufacturing TECHnology). Научно-исследовательский консорциум по разработке новых технологий для производства полупроводниковой продукции. По замыслу создателей консорциума Sematech должен был специализироваться на разработке технологий для производителей кристаллов, чтобы улучшить положение американской полупроводниковой промышленности на международном рынке. Промышленные компании и правительство договорились, что в течение первых пяти лет они ежегодно будут выделять на этот проект по 100 млн. долл.

Этот срок истек. И хотя американские производители кристаллов памяти пока не обрели твердую почву под ногами, многие полагают, что Sematech тем не менее помог стабилизировать положение в другой половине этой отрасли, а именно в области технологического оборудования для производства полупроводниковой продукции. Теперь, как утверждают сторонники проекта, Sematech может вновь повернуться лицом к своей первоначальной задаче — удовлетворению потребностей непосредственно

производителей кристаллов. В результате руководители Sematech сейчас обивают пороги Капитолия, настаивая на том, чтобы конгресс разумно расходовал средства и чтобы правительство продолжало выделять деньги консорциуму. «Не думаю, что найдутся такие, кто сказал бы, что Sematech не сделал много хорошего для американской промышленности», — заявил Р. Орелли, исполнительный вице-президент компании Varian Associates в Пало-Альто (шт. Калифорния).

Представители администрации тоже полны энтузиазма. «Мы понимаем, что Sematech исключительно эффективен», — заявила Арати Прабхакар, директор Управления микрорэлектроники при Агентстве перспективных научно-исследовательских проектов в области обороны (DARPA). Однако теперь, по прошествии пяти лет со дня основания Sematech, как она сказала, DARPA уже не обязано заботиться о дальнейшей судьбе консорциума. «Мы не собираемся навечно брать на себя обязательства по финансированию консорциума», — добавила Прабхакар. Правительство предложило выделить на нужды Sematech 80 млн. долл. в 1993 г. финансовому году. (Обозреватели, однако, полагают, что правительство увеличит эту сумму до 100 млн. долл., как было условлено раньше.)

Не так легко, однако, точно определить, чем именно занимается Sematech. В начале 1992 г. исследователи, занимающиеся анализом рынка, отметили, что снижение доли американских фирм на рынке полупроводниковых кристаллов и технологического оборудования для этой отрасли прекратилось; в ряде отчетов указыва-

лось, что по крайней мере несколько ведущих компаний, производящих оборудование, увеличили свою долю на рынке в 1991 г.

Однако ведущие специалисты отрасли предупреждают, что эти завоевания временные и не будут долгими. По крайней мере для той части отрасли, которая производит технологическое оборудование, «утверждения, что мы вновь завоевываем рынок и увеличиваем свою долю в нем в конкурентной борьбе с японцами, не отражают истинного положения», сказал Орелио. Японские производители кристаллов, по его словам, в прошлом году закупили малую часть американского оборудования. «Стоит только японцам вновь начать инвестировать свою отрасль, и мы опять окажемся позади», — считает Орелио.

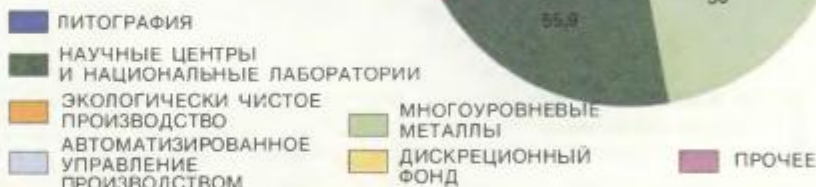
Но даже при этих обстоятельствах производители технологического оборудования говорят, что программа создания Sematech позволила им лучше понять потребности потребителей их продукции. Поскольку производители оборудования и кристаллов оказались под одной крышей Sematech, они стали говорить свободнее. Хотя отдельные фирмы работали над проблемами улучшения качества и повышения надежности своей продукции, единственной постоянно действующей общепромышленной программой была та, которой руководил Sematech и которая называлась «Сотрудничество ради общего качества», как говорит П. дер-Тороссян, председатель компании Silicon Valley Group в Сан-Хосе (шт. Калифорния).

По словам Н. Бонке, президента фирмы General Signal в Санта-Клара (шт. Калифорния), ответственного за эксплуатацию оборудования для производства полупроводниковой продукции, исследователи обеих отраслей также работали вместе над поиском стандартных методов аппроксимации среднего времени между отказами в работе и оценки стоимости нового оборудования. «До создания Sematech покупатели не поверили бы вашим расчетам, — говорит он, — а полагались бы на замороженные модели расчета вероятной стоимости и частоты отказов. Теперь, когда к нам обращаются, мы прибегаем к тем же методам, и нам верят».

Sematech также помог отрасли в разработке специального оборудования. Несмотря на то что Applied Materials является самой крупной американской компанией, производящей технологическое оборудование для полупроводниковой промышленности, «мы все же тратим много денег на исследования и разработки. Труд-

## Куда Sematech расходует свои деньги

За период с 1982 по 1992 гг. Sematech получил 990 млн долл. На оплату исследований сторонними организациями консорциум потратил 287 млн. долл. (29%). 214 млн. долл. были потрачены на приобретение основного оборудования, 135 млн. долл. — на содержание помещений и 84 млн. долл. — на оборудование для специальных проектов. Расходы на зарплату составили 185 млн. долл.



ИСТОЧНИК: Главное статистическое бюро

но идти в одиночку», говорит Д. Мейдан, исполнительный вице-президент компании Applied Materials в Санта-Клара (шт. Калифорния). Техническая и финансовая помощь со стороны Sematech ускорила разработку нового оборудования для процессов травления.

Поддержка, оказываемая консорциумом Sematech, позволила компаниям General Signal и Silicon Valley Group скупить неуредованные американские фирмы, производящие оборудование, и продвигаться в разработке технических более совершенных установок совмещения и последовательного шагового мультиплицирования, применяемых в литографии для проецирования рисунка интегральных схем на полупроводниковые пластины. Silicon Valley Group получила немалую помощь от компании IBM в виде обещания оплатить закупку 20 самых современных установок совмещения. И все же без помощи Sematech это мероприятие провалилось бы, как сказал дер-Тороссян.

На шестом году существования Sematech его руководители решили переместить центр внимания консорциума на проблемы, с которыми сталкиваются производители кристаллов и которые требуют срочного решения. К ним прежде всего относятся создание интегрированного производства с компьютерным управлением и борьба с загрязнением в рабочих комнатах, где производятся микросхемы. В то же время Sematech планирует оказать помощь производителям кристаллов в освоении микросхем более сложной конфигурации и с повышенной плотностью размещения схемных элементов.

Производители оборудования в

свою очередь опасаются, что им будут уделять меньше внимания. Как справедливо замечает Бонке, кристаллы с более сложной конфигурацией потребуют нового технологического оборудования. «Хотелось бы, чтобы средства вкладывались более целенаправленно в виде гарантированных ссуд компаниям, производящим оборудование, на разработку новых технологий», — сказал Орелио.

Другие считают, что сфера деятельности Sematech должна быть более широкой. Дер-Тороссян хотел бы, чтобы Sematech выступал в роли «торговой информационной палаты», которая располагала бы сведениями о всех финансируемых правительством научно-исследовательских программах в области микроэлектроники. Sematech «следовало бы использовать в роли катализатора в координации и интенсификации исследований и разработок в области полупроводниковой техники, выполняемых в американских лабораториях», сказал он.

Сейчас Sematech пытается обеспечить себе стабильное финансирование, которое необходимо консорциуму, чтобы наладить производство кристаллов для полупроводниковых приборов нового поколения. Главная задача, которую решал Sematech на протяжении первых пяти лет, заключалась в том, чтобы помочь американской полупроводниковой промышленности догнать своих японских конкурентов, как сказала сотрудница DARPA Прабхакар. «Теперь», — сказала она, — его задача в том, чтобы за этим последовали фундаментальные изменения в отрасли».

Элизабет Коркоран

# Лингвистические корни американских индейцев

*Согласно недавно проведенному исследованию, многочисленные языки коренных жителей Америки можно объединить в три языковые семьи, которые, вероятно, связаны с тремя волнами миграции из Азии*

ДЖОЗЕФ Г. ГРИНБЕРГ, МЕРРИТТ РУЛЕН

НЕМНОГИМ более двух столетий назад англичанин Уильям Джонс, служивший юристом в Индии, обратил внимание на удивительно схожие черты санскрита, древнегреческого и латинского языков. Он предположил, что эти языки, а также, возможно, готский и кельтские «имеют некий общий источник, которого, вероятно, больше не существует». В следующем столетии этот источник стал известен как протоиндоевропейский язык — изначальный язык, который с тех пор пытаются реконструировать лингвисты (см. статью: Колин Ренфрю. Происхождение индоевропейских языков, «В мире науки», 1989, № 12, а также статью: Тамаз Гамкрелидзе и В. В. Иванов. История происхождения индоевропейских языков, «В мире науки», 1990, № 3).

Джонс, собственно, не реконструировал ни одного слова. Он пришел к своим выводам путем наблюдения, как он сам писал, «сходства большего (как в корнях глаголов, так и в грамматических формах), чем могло бы быть порождено случайностью» (см. нижний рисунок на с. 54). Эта эволюционная гипотеза не осталась незамеченной учеными, изучавшими языки Нового Света. В 1789 г., спустя всего три года после публикации знаменитой работы Джонса, Томас Джефферсон писал: «Я пытаюсь, насколько это возможно, собрать весь лексикон американских индейцев, а также Азии, будучи убежденным, что если у них когда-либо был общий источник, то это обнаружится в самих языках».

Хотя в XIX в. учеными были идентифицированы и объединены в семьи сотни американских языков, никто из них не провел более полную систематизацию, чем это намеревался сделать Джефферсон. Традиционный метод подсчета множил число семей, пока их численность не достигла 60 в Северной Америке и примерно 100 — в Южной, что намного превысило

число языковых семей в Старом Свете, где, например в Африке, насчитывается всего четыре семьи.

Эти оценки кажутся странными, поскольку таксономическое разнообразие обычно растет со временем. Вместе с тем большинство археологов считают, что человек заселил Старый Свет намного раньше, чем Новый. Согласно общепринятому представлению, современный человек появился по крайней мере 100 тыс. лет назад, его прародиной, вероятно, была Африка, и он достиг обеих Америк всего 20—12 тыс. лет назад. Но тогда чем объясняется столь большое разнообразие американских языков?

Для решения этой проблемы требовалась более полная классификация. Однако когда в начале этого столетия Альфред Л. Кробер и Эдвард Сепир впервые попытались объединить множество американских языков в небольшую группу языковых семей, их попытка встретила резко отрицательное отношение со стороны таких антропологов, как Франц Боас, Плини Годдард и Труман Мичелсон. У последних не было серьезных сомнений в том, что между группами американских языков существует сходство. Их возражения были в основном по поводу происхождения этого сходства — проблема, являющаяся предметом дискуссий и по сей день. В отличие от Кробера и Сепира, объяснявших сходство языков их происхождением от общего источника, Боас и его последователи считали, что это сходство обусловлено «проникновением» слов из одной языковой семьи в другую.

Результаты нашего исследования подтверждают справедливость идеи об общем источнике. Сравнивая наиболее устойчивые элементы в словарных составах сотен языков Северной и Южной Америки, один из нас (Гринберг) обнаружил, что эти языки можно объединить в три семьи. Поскольку каждая семья обнаруживает более тесное сходство с азиатскими

языковыми семьями, чем с двумя другими семьями американских языков, такое разделение на три семьи предполагает существование в прошлом по крайней мере трех волн миграции из Азии. И эта гипотеза находит подтверждение в исследованиях антропологов.

Сторонники традиционной точки зрения (традиционалисты), отвергая нашу классификацию, взамен не предлагают более лучшую. Они уверены, что, сравнивая языки попарно и на глубоком уровне, им удастся построить истинную систему, на что уйдет еще 50—100 лет. Мы не считаем этот путь верным. Чтобы систематизировать казалось бы беспорядочное множество языков, необходимо сравнивать их группами. К тому же такой множественный подход уже оправдал себя. Когда примерно 40 лет назад Гринберг использовал его для классификации африканских языков, традиционалисты были не согласны с этим методом. Сегодня же все, даже традиционалисты, пользуются его результатами. Тот, кто сравнивает языки попарно, попросту игнорирует многие известные вещи. Исследователи установили родство между албанским и английским языками не путем систематического сравнения этих языков в изоляции, а исходя из того, что каждый из них принадлежит индоевропейской семье. На самом деле в индоевропеистике никогда не пользуются методом попарного сравнения.

Наш множественный анализ позволяет выявить как раз те языковые связи, которые обычно не удается обнаружить при использовании метода попарного сравнения. Всякий раз мы сравниваем сотни языков, анализируя список из нескольких сотен слов. Этот список состоит из слов, обозначающих наиболее общие понятия, такие, как личные местоимения, части туловища, распространенные в природе вещества и явления (например,



ПО КЛАССИФИКАЦИИ ГРИНБЕРГА многие языки народов Южной и Северной Америки образуют три семьи. Семьи эскимосско-алеутская (фиолетовый) и на-дене (оранжевый) относятся к языковым группам Старого Света, известным как евроазиатская и дене-кавказская соответственно. Семья америндских языков (желтый) связана с евроазиатской группой. Эта семья первой «проникла» в Новый Свет, а эскимосско-алеутская — последней.

вода и огонь). Поскольку сами эти понятия заимствуются редко, то обозначающие их слова также заимствуются редко. Это правило можно проиллюстрировать примером из английского языка. Хотя многие его слова заимствованы из различных языков, большая часть его словарного состава восходит к протогерманскому языку. В качестве примера можно сравнить английские слова «one, two, three, I, mine, father, water» с немецкими «ein, zwei, drei, ich, mein, Vater, Wasser».

Сравнивая основы сотен языков коренных жителей Южной и Северной

Америки, Гринберг сгруппировал многие языковые семьи в три семьи: эскимосско-алеутскую, на-дене и америндскую. Первые две семьи — эскимосско-алеутские языки в арктических районах и языки на-дене, на которых говорят коренные жители Канады и Юго-Запада США, — являются давно общепринятыми, поэтому новый шаг состоял в группировании всех других языков американских индейцев в америндскую семью. Эта семья состоит из 11 подсемей, распространенных в значительной части Северной Америки и во всей Южной Америке.

# Определение языковой семьи по одной лингвистической «инновации»: TANA

В протоамериканском языке существовал корень, по звучанию близкий к TANA. Этот корень, имевший значение «ребенок», не только связывает вместе 11 американских подсемей (перечислены в левой колонке), но и отличает их от других языковых семей. Подсемьи алмоссско-кересиуанская и чибчанско-паесская разделены и поэтому занимают по 2 ряда колонки. Все дочерние языки (вторая колонка), за исключением реконструированного прото-юто-астекского, являются современными.

| ЯЗЫКОВАЯ СЕМЬЯ          | ЯЗЫК                | ФОРМА    | ЗНАЧЕНИЕ                              |
|-------------------------|---------------------|----------|---------------------------------------|
| АМЕРИНДСКАЯ             | ПРОТО-АМЕРИНДСКИЙ   | T'A'NA   | «РЕБЕНОК, РОДНОЙ БРАТ, РОДНАЯ СЕСТРА» |
| алмосская               | нутка               | t'an'a   | «ребенок»                             |
| кересиуанская           | ючи                 | tane     | «брат»                                |
| пенутийская             | тотонак             | t'ána-t  | «внук»                                |
| хоканская               | ковуильтеко         | t'an-pam | «ребенок»                             |
| центрально-американская | прото-юто-астекский | *tana    | «дочь, сын»                           |
| чибчанская              | мискито             | tuk-tan  | «ребенок, мальчик»                    |
| паесская                | варрао              | dani-    | «сестра матери»                       |
| андская                 | аймара              | tayna    | «первый ребенок»                      |
| макро-туканоанская      | масака              | tani-mai | «младшая сестра»                      |
| экваториальная          | урубубу             | ta'in    | «ребенок»                             |
| макро-карибская         | павишана            | tane     | «мой сын»                             |
| макро-панаанская        | ленгуа              | tawin    | «внук»                                |
| макро-же                | тибаги              | log-tan  | «девочка»                             |

В поддержку американской семьи Гринберг предложил около 300 этимологий, или групп слов, которые, по его мнению, все произошли от одного слова — предка. Члены каждой такой группы называются родственными словами, происшедшими от одного корня. В исследовании, проведенном недавно одним из нас (Руленом), число этимологий было увеличено до 500.

Некоторые из этих корней распространены столь широко, что трудно понять, как на них до сих пор не обратили внимания. Несомненно, главной причиной является то, что специалисты по языкам коренных жителей Америки чаще всего концентрировались лишь на какой-то одной языковой семье. Поэтому, даже если бы в семьях присутствовали одинаковые

слова, никто бы не заметил их.

Хорошим примером может служить американский корень, сходный по звучанию с TANA, TINA или TUNA и означающий «ребенок», «сын» или «дочь». При любом достаточно тщательном сравнении словарного состава американских языков Северной и Южной Америки обнаруживается чрезвычайно широкая распространенность этих слов.

Чем можно объяснить это явление? Одним из возможных объяснений могло бы служить то, что подобные слова распространены во всем мире, точно так же как и слова, подобные «мама» и «папа». К сожалению, если следовать этой гипотезе, такие формы, как TANA и TUNA, означающие «сын» или «дочь», столь же редки вне

американской семьи, насколько часто они встречаются в ней самой. Этот корень не только связывает вместе американские языки, но и отличает их от других языковых семей. Именно это, как отмечают лингвисты, является отличительной чертой семьи американских языков.

Недавнее исследование Рулена объясняет, почему первая гласная корня меняется и почему сам корень часто встречается в словах, обозначающих как пол («сын/брат» и «дочь/сестра»), так и нейтральную форму («ребенок/родной брат» или «сестра»). Причина заключается в том, что протоамериканский язык — исходный язык, от которого произошли все современные американские языки, имел три формы, или градиации, указанного корня, в которых первая гласная была связана с полом следующим образом: TANA — «ребенок», «родной брат» или «сестра», TINA — «сын», «брат», «мальчик» и TUNA — «дочь», «сестра», «девочка». (Апостроф означает гортанную смычку после «Т» — звук, издаваемый, когда на кончике произносятся слово «bottle».)

Возможно, что 12 000 или более лет назад, с тех пор как семья американских языков начала делиться на подсемейства, связь между первой гласной и изначальным родом часто утрачивалась. В результате многие формы, которые определенно родственны другим формам, теперь обрели «неправильные» гласные. Примером этого может служить протоалгонкинское \*tana («дочь»), где первая гласная уже не \*u, а \*a. (Звездочка означает, что эта форма была реконструирована на основе со-

|             | САНСКРИТ  | ДРЕВНЕ-ГРЕЧЕСКИЙ | ЛАТИНСКИЙ | ДРЕВНЕ-ИРЛАНДСКИЙ | ГОТСКИЙ  |
|-------------|-----------|------------------|-----------|-------------------|----------|
| «Я несу»    | bhár-āmi  | phér-ō           | fer-ō     | bir-u             | bafr-a   |
| «ТЫ НЕСЕШЬ» | bhár-asi  | phér-eis         | fer-s     | bir-i             | bafr-is  |
| «ОН НЕСЕТ»  | bhár-ati  | phér-ei          | fer-t     | ber-id            | bafr-ith |
| «МЫ НЕСЕМ»  | bhár-āmas | phér-omen        | fer-imus  | ber-mi            | bafr-am  |
| «ВЫ НЕСЕТЕ» | bhár-atha | phér-ete         | fer-tis   | ber-the           | bafr-ith |
| «ОНИ НЕСУТ» | bhár-anti | phér-ousi        | fer-unt   | ber-it            | bafr-and |

ПРИЗНАКИ существования общего языкового предка привели Уильяма Джонса, английского юриста, жившего в XVIII в., к идее объединить эти пять древних языков в одну семью, ныне называемую индоевропейской.

| ЯЗЫК              | ФОРМА             | ЗНАЧЕНИЕ             | ЯЗЫК                        | ФОРМА                | ЗНАЧЕНИЕ                |
|-------------------|-------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|
| ПРОТО-АМЕРИНДСКИЙ | T'NA              | «СЫН, БРАТ, МАЛЬЧИК» | ПРОТО-АМЕРИНДСКИЙ           | T'U'NA               | «ДОЧЬ, СЕСТРА, ДЕВОЧКА» |
| юрок              | t <sup>s</sup> in | «молодой мужчина»    | кор-д-ален                  | tune                 | «племянница»            |
| мохаук            | -tsin             | «мужчина, мальчик»   | ючи                         | t <sup>s</sup> one   | «дочь, сын»             |
| молале            | pnē-t'in          | «мой старший брат»   | центральный<br>сьерра-мивок | tūne-                | «дочь»                  |
| яна               | t'ini-si          | «ребенок, сын, дочь» | салинский                   | a-t'on               | «младшая сестра»        |
| куикатек          | 'diinó            | «брат»               | таос                        | -t'út'ina            | «старшая сестра»        |
| чангуена          | sin               | «брат»               | ленка                       | tuntu-rusko          | «младшая сестра»        |
| миллкайк          | tzhceng           | «сын»                | квяпа                       | t <sup>s</sup> uh-ki | «сестра»                |
| теуэльче          | den               | «брат»               | теуэльче                    | thaun                | «сестра»                |
| тикие             | ten               | «сын»                | тикие                       | ton                  | «дочь»                  |
| мокочи            | tin-gwa           | «сын, мальчик»       | моротоко                    | a-tune-sas           | «девушка»               |
| ягуа              | dēnu              | «мальчик»            | нонуя                       | -tona                | «сестра»                |
| такана            | u-tse-kwa         | «внук»               | такана                      | -tóna                | «младшая сестра»        |
| гуато             | china             | «старший брат»       | пиокобие                    | a-ton-kā             | «младшая сестра»        |

временных дочерних языков.) Скорее всего это расхождение является результатом либо того, что первая гласная ассимилировалась по тембру второй гласной, либо а-форма корня была расширена по аналогии за счет i- и u-форм. Такое аналогическое расширение весьма распространено в языковой истории. Например, в английском языке форма -ed прошедшего времени правильных глаголов (например, «kick/kicked») в речи некоторых людей распространяется на прошедшее время неправильных глаголов (например, «see/see'd»).

Следует отметить, что гласные i и u, используемые в указанных словах, выражающих женский и мужской род, совпадают с системой родов в двух главных америндских подгруппах Южной Америки, а также в орегонском языке чинук. Эти связи слишком многочисленны, чтобы быть случайными, и слишком распространены, чтобы отражать языковое заимствование. На самом деле многие из них как бы соединяют географически обособленные территории.

Как Джонс был поражен связью корней и аффиксов, так и мы находим в америндских языках в той же степени удивительные связи указанного корня с различными грамматическими аффиксами. В число аффиксов, которые могут модифицировать корень T'ANA, входят местоименные префиксы па — «мой» и та — «твой», оба из которых отмечены во всех 11 америндских подгруппах. Первый присутствует в таких формах, как протоалгонкинское \*ne-tāna («моя дочь»), кайова pō-tōn («мой брат»), паес ne-tson («шурин») и манао по-

тану («мой сын»). Такие местоименные аффиксы относятся к наиболее устойчивым элементам языка: они почти никогда не заимствуются. Представить себе, что их системы в целом заимствовались из одного языка в другой, от Британской Колумбии до Огненной Земли, просто невозможно.

Америндские суффиксы включают уменьшительные формы, которые естественно сочетаются со словами, обозначающими детей. Протоамериндское уменьшительное \*-i'sa есть в протоалгонкинском \*ne-tān-ehsa («моя дочь»), миштек tá'nú i'sa («младшая сестра»), эмеральда tini-usa («дочь») и сухин tino-ice («молодая женщина»). Протоамериндское уменьшительное \*-mai встречается в луисеньо tu'mai («ребенок дочери матери»), масака taní-mai («младшая сестра») и чапакура tana-mu («дочь»).

В протоамериндском языке существует сложная система суффиксов. Один из таких суффиксов \*-ki обозначал взаимное родственное отношение между племянником и дядей по женской линии. Этот суффикс (вместе с различными корнями, к которым он присоединяется) был реконструирован для протосиоуанского как \*-thā-ti — «сестра мужчины» и встречается в таких современных языках, как пауни t'i-ti — «мальчик, сын», южный помо t'i-ki — «младший брат» или «младшая сестра», мазау t'i-ti — «мальчик», амагуае -tsen-ke — «сын» и апонегикран -thon-ghi — «сестра».

**К**ЛАССИФИКАЦИЯ языков по трем семьям предполагает, что в языках оставили свой след не более

чем три волны миграции из Азии. Меньшее число волн миграции возможно, если они привели к образованию языковых общностей, которые разделились на восточной стороне Берингова пролива. Чтобы точно определить, сколько было волн миграции, необходимо сравнить языковые семьи Америки и Азии.

Недавние исследования русских и американских лингвистов показывают, что вероятнее всего волн миграции было именно три. Эскимосско-алеутская семья является самым «восточным» членом обширной языковой семьи, которую мы называем евроазиатской, а русские ученые — ностратической. (Эти две классификации слегка различаются. Евроазиатская включает в себя индоевропейскую семью языков, урало-юкагирскую, тюркскую, монгольскую, тунгусскую, корейскую, японскую, айскую, нивхскую, чукотско-камчатскую и эскимосско-алеутскую. Ностратическая семья более широкая и включает также дравидскую семью языков Южной Индии, картвельскую семью Кавказа и афро-азиатскую семью Северной Африки и Ближнего Востока.)

Языки, родственные на-дене, были недавно обнаружены в Азии Сергеем Старостиным из Института востоковедения Российской АН, Сергеем Николаевым из Института славяноведения и балканистики Российской АН, а также Джоном Бенгтсоном, лингвистом из Миннеаполиса. Старостин начал с того, что связал три семьи Старого Света, которые прежде считались независимыми: кавказскую, сино-тибетскую и енисейскую (семья

Центральной Сибири, представленная лишь одним уцелевшим языком). Затем Николаев показал, что семья на-дене, безусловно, связана с кавказской (которую он и Старостин реконструировали совместно), а следовательно, и с сино-тибетской и енисейской семьями.

Делая более полное сравнение соответствующих семей, Бенгтсон добавил баскский язык (изолированный язык Северной Испании) и язык бурушаски (изолированный язык Северного Пакистана) к этой семье, которая получила название дене-кавказской. Поскольку эта семья отделена от евроазиатской, семья на-дене не могла отделиться от эскимосско-алеутской в Западном полушарии. Возможно, она «проникла» в Америку с отдельной волной миграции.

В течение нескольких лет мы сравнивали америндские языки с другими языковыми семьями мира и обнаружили, что эта семья наиболее тесно связана с евроазиатской. Таксономическое отношение в данном случае довольно отдаленное: в то время как эскимосско-алеутская семья входит в евроазиатскую семью, америндская семья связана с евроазиатской как целое. То есть ее генетические связи уходят гораздо дальше в глубь веков.

Первая волна миграции, которая, согласно археологическим данным, имела место около 12 тыс. лет назад, привела к появлению семьи америндских языков, которая уже распространилась в большей части Нового Света к моменту его открытия Колумбом в 1492 г. Вторая, более поздняя волна миграции привела к появлению семьи

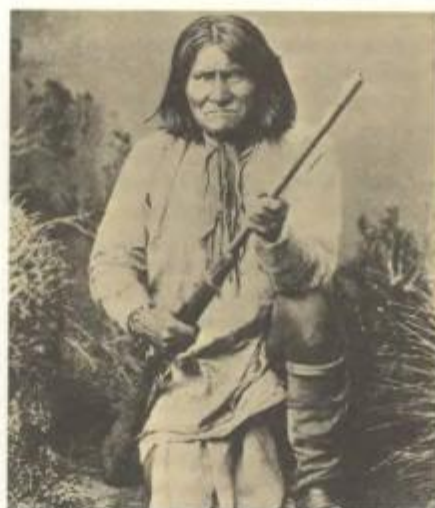
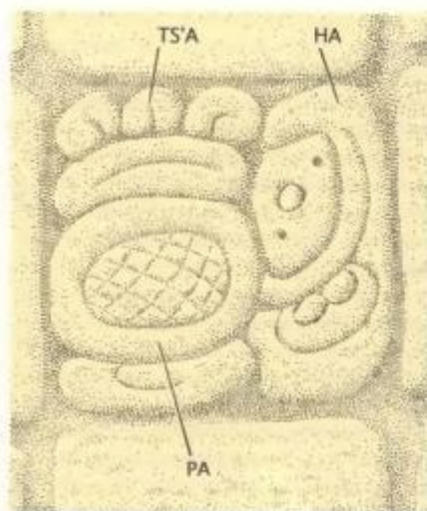
на-дене. Наконец, предположительно 4—5 тыс. лет назад была последняя волна миграции, в результате которой предки эскимосов и алеутов сначала оказались на юго-западе Аляски, а затем переселились из Северной Америки в Гренландию.

Для иллюстрации единства америндской семьи и ее связей с евроазиатской/ностратической семьей достаточно привести следующий пример. Протоамериндский корень MALIQ'A, означающий «глотать, горло», оставил след в не менее чем 8 из 11 америндских подсемей от Канады до южной оконечности Южной Америки (см. рисунок внизу). В Канадской подсемье салиш, в языке халкомелем, находим mēlqw («горло»). В вымершем языке тфалтик на побе-

| ЯЗЫКОВАЯ СЕМЬЯ       | ЯЗЫК                  | ФОРМА      | ЗНАЧЕНИЕ                    |              |
|----------------------|-----------------------|------------|-----------------------------|--------------|
| афро-азиатская       | прото-афро-азиатский  | *mīg       | «сосать, грудь, вымя»       |              |
|                      | арабский              | mlj        | «сосать грудь»              |              |
|                      | древнеегипетский      | mndʿ       | «женская грудь, вымя»       |              |
| индоевропейская      | прото-индоевропейский | *melg-     | «доить»                     |              |
|                      | английский            | milk       | «доить, молоко»             |              |
|                      | латинский             | mulg-ēre   | «доить»                     |              |
| уральская            | прото-финно-угорский  | *mäike     | «грудь»                     |              |
|                      | саамский              | mielga     | «грудь»                     |              |
|                      | венгерский            | mell       | «грудь»                     |              |
| дравидийская         | тамилский             | melku      | «жевать»                    |              |
|                      | малаялам              | melluka    | «жевать»                    |              |
|                      | курух                 | melkhā     | «горло»                     |              |
| эскимосско-алеутская | центральный юпик      | melug-     | «сосать»                    |              |
| америндская          | прото-америндский     | *malīq'a   | «глотать, горло»            |              |
|                      | алмосская             | халкомелем | məlqw                       | «горло»      |
|                      | кваквала              | m'IXw-'ld  | «разжевывать пищу младенцу» |              |
|                      | кутенай               | u'mqolh    | «глотать»                   |              |
|                      | пенутийская           | чинук      | mlqw-tan                    | «щека»       |
| такелма              |                       | mūlk'      | «глотать»                   |              |
| тфалтик              |                       | mīlq       | «глотать»                   |              |
|                      | мише                  | amu'ul     | «сосать»                    |              |
|                      | хоканская             | мохаве     | mal'yaqé                    | «горло»      |
|                      |                       | валапай    | malqi'                      | «горло, шея» |
| акваала              |                       | mīlqi      | «шея»                       |              |
| чибчанская           | куна                  | murki-     | «глотать»                   |              |
| андская              | кечуа                 | malq'a     | «горло»                     |              |
|                      | аймара                | mal'q'a    | «глотать, горло»            |              |
| макро-туканоанская   | иранше                | moke'i     | «шея»                       |              |
| экваториальная       | гуамо                 | mīrko      | «пить»                      |              |
| макро-карибская      | суринам               | e'mōkī     | «глотать»                   |              |
|                      | фааи                  | mekeli     | «зашеек»                    |              |
|                      | калиана               | imukulali  | «горло»                     |              |

СВЯЗЬ СО СТАРЫМ СВЕТОМ обнаруживается в этимологии чрезвычайно древнего корня MALIQ'A, чье значение было близко к словам «глотать» или «горло». Родственные слова присутствуют в восьми ответвлениях америндской

семьи и в более чем одном языке из каждой приведенной здесь языковой семьи Старого Света. Вероятность того, что это сходство случайно, является бесконечно малой.



АМЕРИКАНСКИЕ ЯЗЫКИ И НАРОДЫ образуют два соотносящихся между собой генеалогических древа: этимологическое и генетическое. К индейцам, говорящим на языках, входящих в америндскую семью, относятся майя. Слева изображен вырезанный более 1000 лет назад иероглиф

маяя ts'apah, что означает «был поставлен прямо». Апахи — один из тех народов, которые говорят на языках на-дене. Говорящие на эскимосско-алеутских языках, включая изображенных здесь инуитов из Северной Канады (справа), живут на территориях от Сибири до Гренландии.

режье шт. Орегон (подсемья пенути) употребляется *milq*, означающее «глотать». В юмаиских языках (подразделение хоканской подсемьи) этот корень приобретает общее значение «горло». В шт. Аризона на языке мохаве *ma'e'aqe* означает «горло», тогда как на языке акваала в Нижней Калифорнии *milqi* означает «шея». В Панаме на языке куна *mirki* означает «глотать», где первоначальное *l* изменилось на *r*, очень распространенное замещение. В андской подсемье, в языке кечуа, *malq'a* означает «горло», в языке же гуамо (экваториальная подсемья) *mirko* означает «пить».

Какова вероятность того, что подобные формы возникли независимо? Для ответа на этот вопрос можно сделать грубую оценку, «удерживая» значение в пределах узкой семантической области «глотать — горло» и делая ряд фонологических допущений. Начнем с оценки вероятности того, что формы халкомелем и тфалтик схожи чисто случайно. Не будем принимать во внимание то, что гласные менее устойчивы, чем согласные, и подсчитаем вероятность того, что три согласные случайно будут соответствовать друг другу. Затем ограничим оба языка лишь следующими согласными: *p, t, t', k, k', q, q', s, m, n, l, r, y, w*. Допустим, согласная *m* является первой, *l* — второй, а *r* — третьей.

При таких допущениях вероятность случайного сходства составит  $(1/13)(2/13)(4/13) = 0,0036413291$ . Если округлить эту величину до 0,004 и подсчитать вероятность случайного сходства среди шести семей, то получим  $(0,004)^6 = 0,0000000001024$ , или

примерно одну десятиллиардную. Эти грубые расчеты предполагают равную вероятность всех типов согласных. Поскольку на самом деле это не так, полученная величина должна быть несколько больше, однако в пределах того же порядка бесконечно малой величины, слишком малой, чтобы говорить о случайном сходстве.

Обратимся теперь к вопросу о том, можно ли найти этот корень в Старом Свете. Как мы уже видели на примере T'ANA — «ребенок», не существует гарантии того, что языковые элементы, широко распространенные в америндских языках, могут быть обнаружены вне этой семьи. Однако в данном случае родственные формы этого корня распространены в Старом Свете. Создатели ностратической теории из России, ныне покойный Владислав Иллич-Свитыч и Арон Долгопольский (в настоящее время работает в Университете Хайфы) реконструировали ностратический корень \**mälgi* («сосать грудь, кормить грудью»). Этот корень связывает протоафро-азиатское \**mlg* — «сосать грудь» (как и в арабском *mlj*), протоиндоевропейское \**melg* — «кормить молоком» и протофинно-угорское \**mälke* — «грудь» (как в саами *mielgä*). Мы обнаружили родственные формы в эскимосско-алеутской семье, такие, как *melug* («сосать»), в центральном юпике. Наконец, дравидская семья имеет очевидные родственные формы, такие, как *melkha* («горло») в курух и *melku* («жевать») в тамильском.

Диапазон значений в указанных семьях позволяет предположить, что самый дальний предок этого корня

имел значение «кормить грудью», «сосать грудь», — значение, сохранившееся в афро-азиатской семье. В индоевропейской семье наблюдается небольшое семантическое смещение от понятия «кормить грудью» к понятию «кормить молоком», тогда как в уральской семье наблюдается смещение к существительному «грудь». В дравидской семье значение сместилось к глаголу «жевать» (естественная семантическая связь для любого, кто когда-либо наблюдал, как кормят грудью ребенка), а также к существительному «горло». В эскимосско-алеутской семье корень стал иметь значение «сосать» в общем смысле, безотносительно к женской груди. Наконец, в америндской семье он стал обычным словом, означающим «глотать» и «горло».

Поддержка америндской гипотезы пришла с неожиданной стороны в 1988 г., спустя год с небольшим после того, как о ней впервые было заявлено. Группа генетиков, возглавляемая Л. Л. Кавалли-Сфорцей из Медицинской школы Станфордского университета, установила, что коренных жителей Америки можно точно разделить на три отчетливые группы, чьи границы по существу совпадают с границами соответствующих языковых семей (см. статью: Л. Л. Кавалли-Сфорца. Гены, народы и языки, «В мире науки», 1992, № 1). Эта независимая поддержка подтверждает обоснованность америндской семьи, поскольку вероятность случайного совпадения биологической и лингвистической классификаций очень мала.

ТРЕТЬИМ подтверждением обоснованности рассмотренной классификации языков народов Америки являются результаты исследований Кристи Г. Тернера II из Аризонского университета, специалиста по изучению строения зубов человека. Исходя из анализа строения зубов коренных жителей Америки, Тернер установил, что население Нового Света также распадается на три группы. Наконец, в 1990 г. Даглас К. Уоллес из Медицинской школы Университета Эмори представил предварительные результаты анализа митохондриальной ДНК среди коренного населения Америки, результаты которого также подтверждают гипотезу о существовании америндской семьи.

Здесь необходимо заметить, что тесное соответствие биологических и лингвистических классификаций вовсе не означает, что язык, на котором говорит тот или иной человек, определяется его генами. Это зависит исключительно от общества, в котором он вырос. Соответствие классификаций имеет место потому, что процес-

сы, приводящие к лингвистическому расхождению, также приводят к расхождению генетическому. Когда группа людей покидает свои родные места и переселяется на далекие земли, они «берут» с собой как свои языки, так и свои гены. С этого времени начинается расхождение их языка и генов с языком и генами людей, оставшихся жить на прежнем месте. Именно этим объясняется соответствие указанных классификаций.

Данные сравнительной лингвистики свидетельствуют о том, что первоначальное заселение Южной и Северной Америки связано с тремя волнами миграции из Азии. Конечно, нерешенными остаются многие вопросы, например, как первоначально распалась америндская семья при ее распространении из Северной Америки в Южную? Однако недавние открытия оправдывают, по крайней мере частично, надежду Джефферсона на то, что однажды языки индейцев обнаружат свою связь друг с другом, а также азиатские корни первых американцев.

ритель в воде, превратить в аэрозоль, а затем осушить посредством распыления, чтобы получить тонкодисперсные смеси солей вольфрама и кобальта заданного состава.

Затем Маккандлиш и Кир усовершенствовали метод так, чтобы вольфрам мог вступать в реакцию с углеродом с образованием карбида вольфрама. Ловкий прием, с помощью которого это удалось сделать, включал пропускание смеси монооксида углерода и водорода над солями металлов. Эта технологическая операция могла бы проводиться в промышленном реакторе с псевдожизненным слоем — устройстве, в котором мелкие частицы перемешиваются в потоке газа. В результате можно получить частицы карбида вольфрама диаметром менее 50 нм, вкрапленные в зерна кобальта большего размера.

В настоящее время с помощью грантов, полученных от местных и федеральных органов, Nanodyne производит сотни килограммов нанофазного карбида вольфрама-кобальта ежегодно и высылает образцы потенциальным заказчикам на испытания. Маккандлиш говорит, что нанофазный карбид вольфрама-кобальта намного тверже обычных материалов и что режущие инструменты, изготовленные из него, изнашиваются, по-видимому, вдвое медленнее. Хотя цена нанофазного продукта будет, вероятно, в несколько раз превышать цену обычного материала, который является его эквивалентом, его более совершенные свойства означают, что он может завоевать значительную долю мирового рынка, который оценивается примерно в 20 млн. кг.

Пользователи могут напылять на поверхность порошок плазменным методом, чтобы получить покрытия, или просто прессовать его и подвергать обжигу; этого достаточно, чтобы зерна прилипли друг к другу и образовали прочное покрытие. Кир и Маккандлиш предполагают, что таким образом можно будет изготавливать фильеры для волочения, уплотнительные кольца в наносах, зубья ковша бульдозера, промышленные резцы, буровые долота и сверла от очень больших (применяемых при бурении скважин) до самых миниатюрных (для сверления отверстий в печатных платах).

М. Гелл из Pratt and Whitney, фирмы-изготовителя двигателей, предположил на недавно прошедшей конференции, что материалы фирмы Nanodyne могли бы в ближайшее время найти применение в реактивных двигателях, и теперь эти две компании начали сотрудничать. Pratt and Whitney планирует создать консорци-

## Наука и общество

### «Нанофазные» материалы

НЕСКОЛЬКО лет назад Л. Маккандлиш, который в то время был исследователем на фирме Echon Research and Engineering в Аннадейле (шт. Нью-Джерси), со своим коллегой С. Полищотти начал работать с тонко измельченными карбидами металлов. Первоначально Маккандлиш заинтересовался этими материалами как возможными катализаторами. Но скоро он понял, что такие порошки могут иметь полезные физические и химические свойства.

Как и другие материаловеды, Маккандлиш был увлечен возможностью так называемых «нанофазных» материалов. Это — керамики, металлы и соединения металлов с керамиками, которые состоят из очень небольших частиц, имеющих диаметр менее 100 нм. Их свойства должны быть необычными, поскольку в этих материалах многие атомы расположены на гранях очень мелких «зерен». Итак, Маккандлиш перешел в Университет Ратгерса, где вместе с Б. Киrom, который возглавлял там лабораторию по исследованию нанофазных материалов, начал изучать новые методы создания сверхтонких порошков

карбида вольфрама-кобальта, материала, используемого при изготовлении режущих инструментов и других изделий, стойких к износу.

В результате был разработан процесс получения нанофазных частиц карбида вольфрама-кобальта и создана новая компания Nanodyne, которая является совместным предприятием Университета Ратгерса и фирмы Procedyne — местного изготовителя промышленных реакторов с псевдожизненным слоем. Фирма Nanodyne имеет исключительные права на интеллектуальную собственность, созданную в лаборатории Кира, а Маккандлиш является сейчас главным научным специалистом компании. Nanodyne — одна из двух компаний в США, которая начинает производить нанофазные материалы в большом количестве.

До последнего времени нанофазные материалы производились только в лабораторных количествах путем испарения составных частей в инертном газе и конденсации их на холодной поверхности. Исследователи из Университета Ратгерса решили изготавливать такие порошки из водных растворов. В конце концов они нашли соединения кобальта и вольфрама, которые можно было смешать, раство-

ум по использованию нанофазных материалов. Кир думает также, что, позаимствовав из электронной промышленности технологию изготовления материалов и изделий в чистых производственных помещениях, можно будет производить основные детали и узлы, такие, как безотказные приводы и редукторы для вертолетов.

В этом новом мире нанофазных материалов у фирмы Nanodyne есть конкурент. Компания Nanophase Technologies в Дарьене (шт. Иллинойс) сосредоточила свои усилия на керамиках, таких, как нитрид кремния, а также оксидах алюминия, циркония и иттрия. Хотя для многих применений обычные керамики слишком хрупкие, исследования, проведенные Р. Зиглем из Аргоинской национальной лаборатории, Х. Ганом из Университета Ратгерса и другими учеными, показали, что нанофазные керамики могут быть пластичными и даже сверхпластичными при высоких температурах, т. е. они могут быть подвергнуты значительной деформации без растрескивания. «Это как раз те области, где можно ожидать их коммерческое применение. Им можно придать любую конфигурацию, используя штамповку и ковку», — говорит Зигель.

Дж. Паркер, научный директор фирмы Nanophase Technologies, считает, что одной из проблем при изготовлении нанофазных керамик является контроль размеров частиц во время спекания, или отжига. Частицы имеют тенденцию образовывать агломераты и расти в своих размерах, что ухудшает их свойства. Паркер говорит, что его компания преодолела эту трудность. Все разрабатываемые фирмой Nanophase оксидные керамики являются прозрачными. Как утверждает Паркер, это доказывает, что размер частиц и пор между ними составляет менее 10 нм в поперечнике — значительно меньше длины волны видимого света.

Паркер предполагает, что некоторые из производимых компанией нанофазных керамик будут использоваться в электронных датчиках. Он продемонстрировал, что газы могут диффундировать через малые поры этих материалов и изменять их свойства так, что это изменение можно регистрировать электрически. Фирма Nanophase Technologies заключила договор с фирмой Caterpillar в Пеории (шт. Иллинойс) на испытание керамических деталей двигателей. Паркер говорит, что компания уже наметила несколько возможных областей применения нанофазных керамик в автомобилестроении.

Можно предвидеть и другие обла-

сти коммерческого применения нанофазных материалов. В Национальном институте стандартов и техники в Гейтерсбурге (шт. Мэриленд) Р. Шалл исследует возможности использования нанофазных композитных материалов (нанокомпозитов) в оборудовании для магнитного охлаждения. «Метод магнитного охлаждения используется сейчас лишь в интервале 20 градусов выше абсолютного нуля температур, но новые материалы могут расширить этот диапазон», — говорит Шалл, хотя он сомневается, что нанокомпозиты будут когда бы то ни было конкурентоспособны по критерию стоимость—эффективность для их применения в обычных холодильниках. А. Берковиц из Калифорнийского университета в Сан-Диего недавно продемонстрировал, что нанокомпозиты обладают магнитными свойствами, которые могли бы позволить применять их в головках воспроизведения магнитофонов, а Р. Циоло из фирмы Хегох в Рочестере (шт. Нью-Йорк) создал прозрачные нанофазные магниты, которые могли бы найти применение в копируемых и факсимильных устройствах.

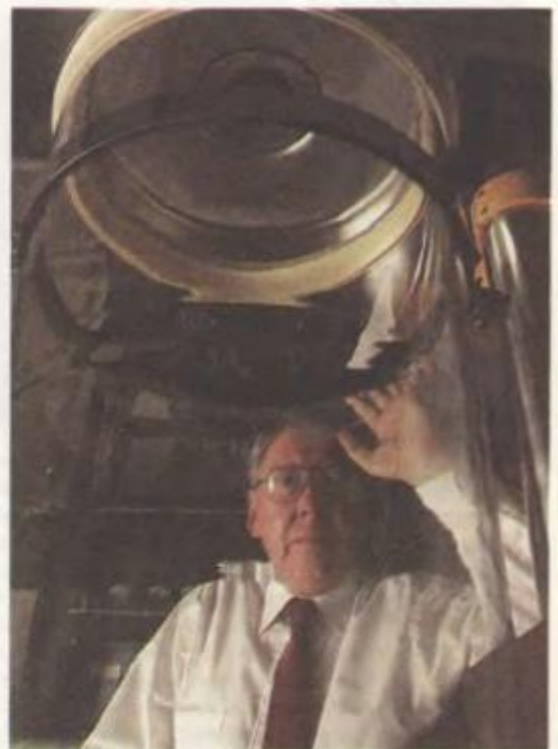
Паркер признает, что нанофазные керамики, которые производит его компания, дороги. Они, как правило, изготавливаются путем конденсации металла из паровой фазы на холодную поверхность и осуществления реакции образовавшегося порошка нанофазного материала с кислородом. Такая технология не может обеспечить получение продукта в объемах более нескольких сот граммов за один раз по цене в несколько сот долларов за фунт. Во всяком случае, в ближайшее время узлы двигателей из нанофазных керамик в обычных автомобилях не будут использоваться.

Однако разработчики считают, что им не придется долго ждать реальных применений. Кир, например, отстаивает ту точку зрения, что прямое участие его университета в совместном предприятии с фирмой Procede — впервые в истории университета — ускорило продвижение карбида вольфрама-кобальта на рынок, так что для получения коммерческой прибыли потребуется от 3 до 8 лет вместо обычных 10—15 лет.

Кир отрицает предположения о том, что тесная связь между лабораторией и фирмой Nanodyne может подавлять свободные научные изыскания. «Я не думаю, что наука от этого пострадает, она обогатится», — считает он. В доказательство этого он упоминает о нескольких других своих идеях в этой области: молибден-кремниевые композиты, которые хорошо работают при высоких температурах, и другие материалы на основе вольфрама. Кир подчеркивает, что при пропускании различных газов через необычные кристаллические формы нанофазного вольфрама можно получать совершенно новые соединения. «Мы производим атомное легирование», — хвастается он.

Кроме того, говорит Кир, поскольку компания уже отгружает образцы потенциальным потребителям, отклики от исследователей, которые заняты в промышленности, возвращаются прямо в его лабораторию. Тесная связь между лабораторией и рынком может быть преимуществом фирмы Nanodyne в конкурентной борьбе сегодня и нормой для промышленности завтра.

Тим Бердсли



Б. КИР у стеклянной распылительной сушилки, которая используется для получения «нанофазных» смесей солей металлов в Университете Ратгерса. Эта первая стадия разработанного им метода получения материалов с исключительно высокой твердостью. (Фотография: Роберт Прокноу.)

# Астрономия во времена Колумба

*Руководствуясь абсолютно ошибочной оценкой размера Земли, Колумб «перекроил» карту земного шара, что, возможно, подвигло других перерисовать карту небес*

ОУЭН ГИНГЕРИЧ

**Д**ВА замечательных с точки зрения астрономии события произошли в 1492 г. Одним событием было появление над Центральной Европой ослепительного огненного шара, «обронившего» каменный метеорит вблизи города Энзисгейма в Эльзасе. Другим — открытие Нового Света Колумбом.

Молодой впечатлительный Альбрехт Дюрер был свидетелем падения метеорита на своем пути в Италию и запечатлел великолепное зрелище на небольшой деревянной доске. На другой стороне доски он написал маслом Св. Иеронима, поэтому зарисовка падения метеорита оставалась скрытой от людских глаз на протяжении нескольких веков. Ее вновь обнаружили примерно два десятка лет назад, когда изображение Св. Иеронима было передано на время в Музей Фицуильяма в Кэмбридже в Великобритании. Сам Энзисгеймский метеорит также пребывал практически в неизвестности, находясь вначале в приходской церкви, а затем в ратуше города Энзисгейма. И лишь несколько десятилетий назад Энзисгеймский камень — старейший из точно датированных метеоритов Европы — привлек к себе внимание исследователей.

Любопытно, что другое событие 1492 г., которое на первый взгляд не имеет отношения к астрономии, а именно путешествие Колумба через Атлантический океан к берегам Америки и обратно, возможно, оказало действительно значительное влияние на развитие астрономии. Хотя Колумб заблуждался, думая, что может доплыть до Китая и Японии, двигаясь на запад, его отважное первое путешествие и последующие плавания ясно показали, что старые знания, особенно в области географии, были удручающе неполны. Географическая революция — открытие Нового Света — проторила дорогу неортодоксальным астрономическим идеям, включая радикально новую, гелиоцентрическую космологию.

**В** КАКОМ состоянии пребывала астрономия, когда Колумб отправился в свое плавание? Чтобы представить это, обратимся для начала к картине Ханса Гольбейна «Послы», написанной в 1533 г. и являющейся ныне одной из самых больших ценностей Лондонской национальной галереи. Между послом французского двора и его ученым другом, епископом лавурским стоит стол, заставленный книгами и инструментами. На первый взгляд эти предметы наилучшим образом представляют небеса, землю и море: это лимбы, измерительные приборы и глобус наверху, «земные» книги и лютия на нижней полке и нечто весьма напоминающее рыбу вблизи пола.

Более пристальный взгляд обнаружит, что эти предметы изображают в аллегорической форме четыре дисциплины университетского курса того времени: астрономию, арифметику, музыку и геометрию. Инструменты относятся к астрономии, а лежащая на полке открытая книга Петра Апиана «Eyn neue underweysung aller Kauffmans Rechnung» издания 1527 г. символизирует арифметику. Лютия и книга песен, открытая на лютеранском гимне «Kom Heiliger Geyst», соответствуют музыке. Геометрия представлена не только превосходной перспективой мозаичного пола (это единственная в Англии итальянская мозаика, находящаяся в гробнице Эдуарда-исповедника в Вестминстерском аббатстве) и лютей — любимой моделью, служившей для упражнений художникам эпохи Возрождения, — но и напоминающим рыбу предметом, висящим над полом. Более внимательное рассмотрение с удобной точки, сокращающей изображение, обнаруживает в этом предмете вытянутый, искаженный рисунок человеческого черепа, возможно содержащего намек на фамилию художника (Holbein — «hollow bone», т.е. «полая кость»).

Череп, символ тленности бытия,

выводит на другой уровень метафоры, характерной для эпохи Возрождения, напоминая о том, что поиск земных знаний носит преходящий и эфемерный характер. Тема усиливается лопнувшей струной люти, что также является традиционным символом смерти и распада. Этим дисциплинам средневекового университетского курса наук — квадриуму — противопоставляется тема вечного, символизируемая крестом, полускрытым за занавесом в верхнем левом углу картины. Научные устремления могут занимать центральное место, находиться в фокусе внимания человека, но позади этих бранных инструментов могущества скрывается высшая истина.

В ту эпоху, к которой относится и создание картины «Послы», многие верили в давно ушедший «золотой век», где остались ключи к познанию Вселенной, и считали, что новизна — это не обязательно достоинство. Тем не менее астрономия занимала почетное место среди тех дисциплин, которыми должен был владеть образованный человек, поскольку она описывала сцену, на которой разыгрывалась человеческая драма.

Земля — совокупная сфера почвы, воды, воздуха и огня — надежно покоилась в середине мироздания. Вокруг нее располагались сферы семи планет (включая Луну и Солнце) и восьмая сфера, содержащая неподвижные звезды, — неподвижные относительно друг друга, но совершающие круговое движение с головокружительной скоростью — один оборот за 24 часа. А за пределами всей этой конструкции были Бог-отец со своими ангелами и избранныками, пребывающими в состоянии вечного блаженства. Гравюра на дереве, помещенная в «Нюрнбергской хронике», удивительной монументальной книге, напечатанной в 1493 г., воспроизводит эту классическую космологию во всем ее великолепии.

«Нюрнбергская хроника» была со-



НА КАРТИНЕ ХАНСА ГОЛЬБЕЙНА «Послы» в аллегорическом виде изображены университетские дисциплины, какими они представлялись в 1533 г.: арифметика, астроно-

мия, геометрия и музыка. Среди астрономических инструментов — глобус, на котором изображен Новый Свет.

здана до того, как Европа услышала о Колумбе, и беглый взгляд на эту книгу развенчивает один из наиболее распространенных мифов об итальянском мореплавателе. Со времен древних греков люди знали, что Земля имеет форму шара. Аристотель учил, что Земля шарообразна, поскольку тяжелое вещество Земли, попавшее в центр Вселенной, должно было естественным образом собраться в шар. В качестве дополнительного аргумента он добавлял, что тень, отбрасываемая Землей на поверхность

Луны во время лунного затмения, подтверждает правильность его первоначального доказательства.

И все же каждый год в День Колумба нам вновь и вновь рассказывают в красках, как Колумбу пришлось убеждать Изабеллу и Фердинанда в том, что мир кругл. Неужели христианский мир забыл к тому времени о шарообразности Земли? В действительности все дело было в «забывчивости» американцев: в XIX в. они старались вытеснить из сознания утверждение англичан о том, что

первым берегов Северной Америки достиг их соотечественник Себастьян Кабот, тогда как Колумб нашел лишь несколько небольших островов в Вест-Индии.

После революции американцы отчаянно нуждались в собственных, «небританских», героях. Колумб попал в их число, хотя о нем было мало что известно, пока писатель Вашингтон Ирвинг, побывав в Испании, не обнаружил там много материалов и не написал получившую широкую известность биографию. К сожалению,

Ирвинг смешал вымысел с действительностью, и один из наиболее ярких эпизодов, действие которого происходит в Саламанке, выглядит совершенно неправдоподобным.

В этом эпизоде мы видим Колумба, стоящего перед комиссией церковников — «внушительным собранием ученых мужей, монахов и отцов церкви», — которые «явились, будучи настроены против него, как того и следует ожидать от высокопоставленных благородных лиц по отношению к бедным соискателям». Они высмеивают идею шарообразности Земли и цитируют Священное писание, выводя из него доказательство того, что Земля плоская. Колумб, человек глубоко религиозный, чувствует опасность быть обвиненным не только в

ошибочности своих взглядов, но и в ереси.

На самом деле знание о шарообразности Земли всегда входило в духовное наследие Запада. Когда минули средние века и люди заново стали открывать для себя труды Аристотеля, учение о сферичности Земли вошло в учебные программы нарождающихся университетов. «Sphaera» Сакробоско, написанная в XIII в. и до сих пор упоминаемая как учебник астрономии, дает простой аргумент в пользу идеи сферичности Земли в направлении север — юг: путешественники убеждаются, что чем дальше они перемещаются на север, тем выше встают созвездия Большой Медведицы и Полярная звезда. Что касается направления запад—восток, то Сакро-

боско приводит другой, правда, более слабый аргумент: затмение Луны происходит в один и тот же определенный момент времени независимо от положения наблюдателя, но на разных меридианах высота Луны на небе изменяется по такому закону, который соответствует географии на сфере.

ТАКИМ образом, проблема, с которой Колумб столкнулся в Саламанке, заключалась не в том, чтобы убедить Изабеллу и Фердинанда в шарообразности Земли. Колумбу требовалось убедить их, что размеры Евразийского континента принципиально не препятствуют плаванию в «Катай» и «Индию». Диаметр Земли был с достаточной степенью точности определен уже Эратосфеном из Александрии. Полученное им округленное значение составило 252 000 стадий, что немногим меньше 40 000 км, если в соответствии с выводами известного историка астрономии Дж. Дрейера принять стадию равной 157,5 м. Исламские геодезисты уточнили результаты Эратосфена: ал-Фархани, работавший в Багдаде при калифе аль-Мамуне в начале IX в., получил значение 20 400 арабских миль (40 253 км при правильном значении 40 075 км). Колумб неверно посчитал, что арабская миля равна римской, и получил в результате для длины окружности Земли значение 30 044 км — всего три четверти действительного расстояния.

Кроме того, Колумб значительно преувеличил долготу Китая и, следовательно, расстояние до него от Европы. Он посчитал, что расстояние до Японии на восток равно 283 градусам, положив расстояние на запад от Канарских островов менее 5000 км. Эти две ошибочные оценки были на руку Колумбу, поскольку из них выходило, что задуманное им смелое плавание к Индии в западном направлении вполне осуществимо.

Когда во время святок в 1486 г. двор собрался в Саламанке, ученые мужи подвергли сомнению принятую Колумбом длину земной окружности. Величина, на которой настаивали оппоненты, была близка к принятой сегодня. Не сделай он ошибок в расчетах, Колумб не смог бы убедить других в выполнимости своих отважных замыслов. Миф об ученых сторонниках гипотезы плоской Земли — чистый вымысел. Выдающийся биограф Сэмюэль Элиот Морисон пишет: «Вашингтон Ирвинг, почувствовав возможность включить в роман яркую динамичную сцену, воспользовался фиктивным отчетом о несуществовавшем заседании университетских ученых, опубликованном



СХЕМА ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОЙ ВСЕЛЕННОЙ, взятая из книги «Нюрнбергская хроника» — истории мира, опубликованной в 1493 г. Круглая Земля находится неподвижно в центре, ее окружают планеты, в том числе Луна и Солнце, а также сфера неподвижных звезд. На внешнем круге изображены Бог, ангелы и избранные. Углы страницы украшены изображениями четырех ветров.

## Размер Земли и континенты

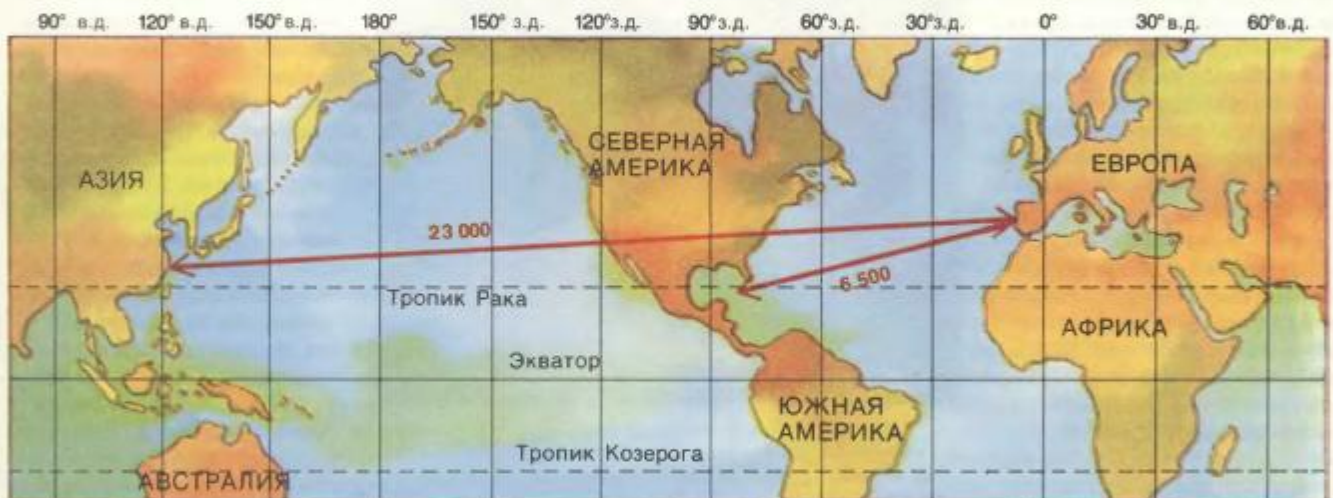
Расхождение между представлениями Колумба о размере Земли и расположении материков (вверху), с одной стороны, и птоломеевой географией (в середине) — с другой, ясно видны на этих картах. Но обоих отсутствуют Северная Америка и Южная Америка (внизу). Лишь недооценив размер земного шара и переоценив протяженность Азии, Колумб мог оправдать свое плавание на запад, к берегам «Индии». Расположение материков на верхней карте взято с глобуса, созданного Мартином Бейхаймом в Нюрнберге в 1492 г.



В представлении Колумба



В представлении Птолемея



Современная карта

через 130 лет после описываемых событий, переработал его и дал полную волю своему воображению». Изложение Ирвинга — это захватывающая драма, «поскольку все мы любим истории о профессорах и экспертах, вынужденных пассивно перед здравым смыслом. Однако все эта история — не более чем нелепый, сбивающий с толку вымысел».

**НА САМОМ** деле, если не считать ошибочных догадок в области геодезии, Христофору Колумбу пришлось не так уж много иметь дела с астрономией. Иногда его изображают на фоне звезд вместе с примитивными навигационными приспособлениями вроде ноктурнала — прибора для определения времени ночи по положению Большой Медведицы, — однако те немногие свидетельства использования Колумбом звезд для навигационных целей позволяют предположить, что в равной степени полезные ответы он мог бы получать простым угадыванием.

Сбитый с толку тропическим небом и отсутствием знакомых созвездий, он дважды принимает бету Цефея за Полярную звезду, и в результате 21 параллель оказывается по его вычислениям слишком далеко к северу. Как подчеркивал адмирал Морисон, Колумба никак не назовешь настоящим навигатором, поскольку то, что он делал, было простым угадыванием.

Одно из легендарных и вызывающих большое сомнение исключений — использование Колумбом книги «Ephemerides» Иоганна Региомонтана для предсказания лунного затмения. Во время своего четвертого путешествия Колумб оказался вынужденным высадиться на берег Ямайки: его корабли были настолько источены червями, что не годились для плавания. Небольшая группа моряков направилась на восток в открытом каноэ, чтобы найти помощь на Эспаньоле и в ее столице Санто-Доминго (ныне территория Доминиканской Республики). Однако губернатор Эспаньолы не имел никакого желания выручать Колумба. Он боялся лишиться своего доходного места и поэтому медлил с просьбой помощи.

Шли месяцы, примерно половина людей Колумба взбунтовалась и предприняла по-

пытку добраться на каноэ до Эспаньолы. Индейцы Ямайки, которым уже надоело стеклянные бусы и другие безделушки, полученные от европейцев, все более неохотно предоставляли еду поредевшей и изголодавшейся команде.

Из «Ephemerides» Колумб знал, что 29 февраля 1504 г., в «лишний» день високосного года, случится лунное затмение. Кроме того, он убедил индейцев в том, что темная, кровавая Луна является знаком Божьего гнева. Мореплаватель скрылся с глаз на время, пока затмение не кончилось, а затем появился, чтобы объявить индейцам, что Бог ответил на его молитвы, которые он вознес от их имени. Это событие настолько поразило индейцев, что они дали Колумбу и его товарищам достаточно еды, позволившей им избежать голодной смерти. (Отгоскок этого эпизода сохранился в американской литературе в романе Марка Твена «Янки из Коннектикута при дворе короля Артура».)

**ПОЧЕМУ** ЖЕ, если учитывать «провалы» Колумба в астрономии, его плавание были столь важны для

этой науки? Хотя современному ученому может польстить, что в ту пору астрономия входила в число обязательных университетских дисциплин, действительный уровень книги Сакробоско был весьма элементарным. «Sphaera» описывает суточные и месячные движения небесной сферы, но почти ничего не говорит о движениях планет.

Средневековые астрономы полагали, однако, что в аристотелевы сферы вписываются сложные серии вторичных эпициклов и эквантов, которые создают прямые и возвратные движения планет. Эти механизмы были описаны примерно в 150 г. н.э. астрономом из Александрии Клавдием Птолемеом в его «Альмагесте» столь сложном, что практически никто в латинском мире не смог осилить его. Птолемей был также непревзойденным географом своего времени, и его карты принимались на веру.

В XV в. «Альмагест» был «перекрит»: впервые в Европе появились два астронома, достаточно образованные, чтобы понять это фундаментальное исследование и выступить с

критикой его ранних комментаторов. Региомонтан и Георг фон Пурбах вместе взялись за сокращенный перевод птолемея шедевра. После смерти Пурбаха в 1461 г. Региомонтан продолжал работать над этим «проектом», а чтобы обеспечить широкое распространение книги, он стал первым научным издателем. По иронии судьбы Региомонтан, величайший математик и астроном своего века, умер в 1474 г., до того как успел опубликовать продолжение работы Пурбаха и не менее интересное собственное исследование по тригонометрии.

Пурбах и Региомонтан поняли детали птолемеевой астрономии, но остались неудовлетворены тем, что им открылось. В 1464 г. Региомонтан написал своему знакомому математику и астроному короткое, но глубокое по мысли письмо с критикой теории. Он писал, что таблицы не дают точных предсказаний, что он наблюдал Венеру смещенной от должного положения на три четверти градуса, а Марс на целых два градуса. Лунное же затмение в 1461 г. закончилось на час раньше, чем указывали таблицы. Кроме того, никогда не наблюдалось и явление, которое следовало из тео-



**ОГНЕННЫЙ ШАР**, зарисованный Альбрехтом Дюрером в 1492 г., был рожден каменным метеоритом, упавшим вблизи города Энзисгейма в Эльзасе. Хотя метеорит был, несомненно, наиболее замечательным астрономическим событием того года, автор статьи утверждает, что открытие Нового Света имело для развития астрономических идей гораздо более глубокие последствия.

рии Птолемея, а именно увеличение время от времени в два раза кажущегося диаметра Луны.

**НИКОЛАЙ** Коперник, родившийся за два года до смерти Региомонтана, был также осведомлен о недостатках предсказаний положений планет в геоцентрической теории. В одном месте в своей записной книжке он отмечает, что Марс был на два градуса впереди относительно положения, предсказанного таблицами, а Сатурн на полтора градуса позади (см. статью: Owen Gingerich. Copernicus and Tycho, «Scientific American», December 1973). Однако он никогда не упоминал об этой ошибке в своих печатных трудах, а его основанные на гелиоцентрической теории таблицы мало что давали для исправления этих ошибок.

Тот факт, что Коперник был явно безразличен к этим недостаткам, — обстоятельство важное и интересное. В противоположность тому, что говорится в популярной литературе, ошибки в таблицах положений планет практически никак не повлияли на выбор между гео- и гелиоцентрической концепциями. Эти две космологические схемы представляли собой в действительности геометрические преобразования, которые давали практически идентичные предсказания: простой переход к системе, в которой Солнце было помещено в центр, был недостаточным для того, чтобы улучшить таблицы. Кроме того, ошибки предсказаний могли быть, по крайней мере для начала, исправлены в геоцентрической схеме так же легко, как в гелиоцентрической. На самом деле Коперник не имел никаких доказательств своей схемы, вытекающих из наблюдений. Как пришлось сказать столетие спустя Галилею: «Я не могу по-настоящему восхищаться теми, кто принял гелиоцентрическую доктрину, не смотря на свидетельства, которые дают органы чувств». Польский астроном руководствовался эстетическим чувством, создав «теорию, приятную для ума».

Гелиоцентрическая концепция объяснила, почему Марс, Юпитер и Сатурн меняют направление своего движения по небу, только когда они находятся в противостоянии по отношению к Солнцу. На картине Птолемея это попятное движение было природной случайностью, «вещью в себе». Коперник сделал это «аргументированным фактом», и отсутствие объяснения в теории стало аномалией. Когда связи были обнаружены, стало очевидным, почему попятное движение Юпитера меньше, чем Марса, а Сатурна — меньше, чем Юпитера.

В конечном итоге Коперник объяснил загадочное медленное перемещение восьмой сферы — так называемое предвращение равнодействий, или прецессию. Это явление не давало покоя ученым-космологам. Однако если считать, что Земля свободно «висит» в пространстве, обращаясь вокруг Солнца и вращаясь вокруг собственной оси, то нетрудно было предсказать это третье движение — медленное движение оси, описывающее конус.

**ТАКИЕ** радикальные предложения заложили фундамент, на котором Галилей, Кеплер и Ньютон построили новую модель небес. Пурбах, однако, мог произвести эти геометрические преобразования вском раньше. Исламские космологи могли сделать это в девятом веке. Почему же новая астрономия ждала XVI в., эпохи географических открытий?

Коперник жил в период быстро происходящих изменений. Возможно, наиболее зримым из этих изменений было изобретение Гутенбергом книгопечатания с помощью печатного станка. Если не считать одного известного исключения, все документальные источники Коперника представляли собой печатные книги. А когда его гелиоцентрическая концепция была изложена на бумаге, она была напечатана в количестве не менее 400 копий, что обеспечивало широкое распространение книги и обсуждение идей ее автора.

Затем следует иметь в виду и Реформацию. Коперник был каноником в католическом соборе, тогда как юный ученик, который упростил его дать разрешение на печатание своего труда «De revolutionibus orbium coelestium», был протестантом из Виттенберга, центра лютеранской активности. Это было время религиозного переворота, когда многие традиционные идеи подвергались пересмотру.

Более того, Коперник жил в эпоху, когда отважные мореплаватели переписывали устоявшуюся географию Птолемея. Коперник был студентом в Кракове, когда Колумб предпринял свое первое плавание. Новости о географических открытиях быстро достигли Кракова. Сегодня Ягеллонский университет обладает самым старым глобусом, на котором изображен Новый Свет. Даже если Коперник и покинул университет до того, как туда пришли новости, он наверняка вскоре услышал о них, когда завершал свое обучение в Италии.

Астроном из Александрии был, вероятно, гораздо более известен своей географией, нежели геоцентрической доктриной, которая носит его имя. Его «География», написанная во II в.

н.э., служила картографам важнейшим основанием при составлении карт. Перерабатывая информацию, извлекаемую из отчетов путешественников и из трудов своего предшественника Марина Тирского, Птолемей составил наилучшие оценки широт и долгот для известных к тому времени земель. Они в свою очередь стали основой для красочных атласов, выпущенных в 1480-х годах. Однако в начале 1500-х годов репутация Птолемея пошатнулась. Хотя Колумб верил, что в своих плаваниях следует старой географии, его путешествие в «Индию» бросало вызов принятым картам. А когда впоследствии стало ясно, что на самом деле он открыл новый континент, классический глобус окончательно вышел из употребления. Если география Птолемея была отброшена в сторону, не коснулось ли сомнение и его космологии?

Недостатки, которые Региомонтан видел в классической астрономии, были в основном оставлены Коперником без исправлений. Однако гелиоцентрическая схема стала наиболее важным шагом к окончательной реформе астрономии. Она начала перестройку человеческого сознания и открыла дорогу великодушным техническим достижениям Кеплера и Галилея.

**ТРУД** Коперника «De revolutionibus», опубликованный в Нюрнберге в 1543 г., появился в мире, который уже созрел для перемен. В 1566 г. базельский издатель Хенрикпетри выпустил второе издание этой книги. Среди тех, кто получил копию, был Томас Диггес, ставший первым английским астрономом, примкнувшим к новой космологии. Над заглавием на своей копии он написал следующие слова: «Vulgi opinio error», т.е. «Принятая точка зрения неправильна». Это означало, что он более не принимает устоявшуюся точку зрения о Земле, помещенной в центр мироздания.

Предлагая английский перевод основных космологических идей, Диггес писал: «Я полагал уместным опубликовать это с той целью, чтобы благородные английские умы (в уловительности возвыситься над людьми более низкими) не могли бы быть обмануты столь благородной частью философии». К представляемому труду он добавил превосходную гелиоцентрическую схему, которая содержала одну новую особенность: звезды не были больше прикреплены к последней оболочке, а были рассыпаны всюду вплоть до бесконечности. «А потому, — заключал он, — они являются неподвижными». Представлен-

ная в 1576 г., эта модель, вызвавшая настоящее смещение умов, стала позорительным шагом от замкнутого мира древних к современной открытой Вселенной.

Диггес и несколько его современников, в том числе наставник Кеплера Михаил Местлин, пытались найти эмпирические свидетельства в пользу предположения о распределении планет с Солнцем в центре, но все их усилия были напрасными. Тем, кто полагал единство такого устройства, требовалось усилие веры, но их привлекала неотразимая эстетическая красота этой картины. Правоверный последователь новой теории должен был также отказаться от аристотелевой физики, согласно которой, если бы Земля вращалась вокруг своей оси, птицы и облака были отброшены далеко в сторону. Другой астроном того времени, Тихо Браге, утверждал: «Коперник нигде не нарушает принципов математики, но он ввергает Землю — это медлительное, вялое те-

ло, непригодное для того, чтобы перемещаться, — в стремительное движение, подобное движению эфирных факелов [звезд]».

В отсутствие эмпирических свидетельств для утверждения идей Коперника требовалась особая духовная атмосфера, благоприятная для восприятия новых идей и не скованная зашкварными традициями, подпирющими незыблемо стоявшее на постаменте древнее знание. Колумб способствовал становлению этого нового интеллектуального климата. Его эмпирические свидетельства ясно показали неполноту птолемеевой географии и таким образом расчистили путь для нового понимания места Земли в космосе. Старые воззрения рушились. Около 1611 г. Джон Донн напишет: «Новая Философия ставит все под сомнение, / Элемент Огонь почти загашен; / Солнце потеряно, равно как и Земля, и никакой ум человека / Не может указать ему, где искать их».

## Наука и общество

(Продолжение. Начало статьи на с. 25) сильно возросло, тогда как другие, низкорослые травы стали редкими.

Птицы также кормятся семенами, поэтому удаление грызунов должно, казалось бы, делать участок более привлекательным для пернатых. Однако Браун наблюдал как раз обратное. На участках, лишенных грызунов, птицы кормятся менее охотно, чем на контрольных. Более того, они также избегают участков, с которых удалены все муравьи, хотя те тоже питаются семенами. Браун и его сотрудники полагают, что грызуны и муравьи повышают привлекательность участка для птиц, прокладывая среди растительности тропы и обнажая местами почву. По-видимому, пернатые избегают густых зарослей, поскольку там на поиски того же количества пищи им пришлось бы потратить больше усилий.

Однако, несмотря на всю видимую сложность изучавшегося сообщества, остроумный статистический анализ показал, что конкурентные взаимодействия в нем все же играют важную роль. Браун, М. Тейпер и Э. Хеск проанализировали общее долгосрочное воздействие кенгуровых крыс на прочих семейных грызунов и обнаружили, что кенгуровые крысы и более мелкие виды кормятся, как правило, в разных местах, причем такое пространственное разделение поразительно длительно и постоянно.

Однако сам Браун демонстрирует

похвальную научную осмотрительность, не спеша с обобщением своих результатов. Например, вполне возможно, что аризонская пустыня является нетипичной экосистемой. Тем не менее он отмечает: «Наш эксперимент практически уникален по своей длительности, позволяющей оценить временную изменчивость конкуренции за долгий срок». В статье, направленной в журнал «Ecology» и озаглавленной «Непрерывная конкуренция в изменчивой среде», вывод, сделанный Брауном, звучит уклончиво: «Межвидовая конкуренция постоянно и сильно влияет на структуру и динамику данного сообщества пустынных грызунов».

### Звездные колокола

В НАЧАЛЕ 60-х годов ученые из Калифорнийского технологического института сделали открытие, что Солнце звенит словно колокол. Это открытие ознаменовало рождение новой науки — гелиосейсмологии. Подобно сейсмологам, изучающим земные недра с помощью сейсмических волн, порождаемых землетрясениями, астрономы, наблюдая колебания солнечной поверхности, могут изучать глубины солнечных недр. В последние годы исследователи, используя это замечательное достижение, сделали еще один шаг. С помощью метода, называемого астро-

сейсмологией, они определяют внутреннее строение далеких звезд по едва уловимым колебаниям их поверхности.

Наибольшие успехи были достигнуты при наблюдениях белых карликов — компактных остатков проэволюционировавших звезд типа нашего Солнца. Неустойчивости во внешних слоях некоторых белых карликов порождают волны, распространяющиеся вдоль звездной поверхности, так что, по выражению С. Кавалера из Университета шт. Айова, «вся звезда дрожит и мерцает». Распространяясь, эти волны сжимают внешние слои звезды, вызывая разогрев некоторых областей и более интенсивное их свечение. Поэтому колебания проявляются как сложные, упорядоченные изменения блеска белых карликов. В отдельных случаях светимость звезды может изменяться на 30%.

Одним из наиболее важных элементов наблюдений звездных колебаний является непрерывность регистрации. В 1988 г. Э. Натер из Техасского университета с сотрудниками организовали Глобальную сеть наземных телескопов (Whole Earth Telescope) — свободную ассоциацию астрономов, обеспечивающих круглосуточные наблюдения осциллирующих звезд. 21 сентября прошлого года сеть охватывала уже 13 пунктов наблюдений — больше, чем когда-либо до этого.

Некоторые наиболее впечатляющие результаты этой программы связаны с наблюдениями чрезвычайно горячего белого карлика, обозначаемого PG1159-035. Группа, возглавляемая Д. Уингетом из Техасского университета, сообщила, что PG1159-035 осциллирует на 125 частотах, которым соответствуют периоды от 385 до 1000 с. В этих частотах содержится богатая информация о физических условиях звезды.

Например, вращение звезды вызывает колебания, распространяющиеся с запада на восток вдоль звездной поверхности с частотой, слегка отличающейся от частоты колебаний, распространяющихся с востока на запад. Разность частот показывает, что период обращения звезды составляет 1,38 сут. Полученная информация дает ключ к изучению эволюции красных гигантов в белые карлики. «Это первый массив данных о том, что происходит в ядрах красных гигантов», — говорит Кавалер.

Астросейсмология проясняет и другие важные аспекты теории звездной эволюции, выявляя внутреннее строение белых карликов. Области звезды, в которых происходят внешние изменения температуры, плотности или структуры, должны отражать либо поглощать внутрен-

ние волны. В свое время, опираясь на такое явление, сейсмологи установили, что Земля состоит из ядра, мантии и коры. Уингету с сотрудниками удалось измерить поглощение волн и определить внутреннее строение PG1159-035. Он, по-видимому, состоит из трех слоев: внешняя водородная оболочка вокруг гелиевой и углеродной оболочек.

Более тщательные наблюдения позволяют исследователям определить не только плотность, но и толщину различных слоев. Применение этого метода ко всем белым карликам позволит разработать более точную теорию изменений внутреннего строения звезды в ходе ее эволюции.

Другое ценное приложение астро-сейсмологии состоит в том, что с ее помощью можно определить темпы охлаждения белого карлика. Исходя из этого, «можно оценить возраст старейших белых карликов, что и является нашей конечной целью», — говорит Натер. По возрасту старейших белых карликов можно судить о минимальном возрасте нашей Галактики — Млечного Пути, а быть может, и установить, образовалась ли вся Галактика одновременно или различные ее части сконцентрировались в разное время.

Согласно теоретическим моделям, возраст самых холодных белых карликов, по-видимому, составляет около 10 млрд. лет. Это еще одно свидетельство того, что возраст Вселенной не может быть всего 8 млрд. лет, как это следует из некоторых космологических наблюдений. Как сообщает Кавалер, наблюдаемая скорость изменения периода осцилляций вследствие охлаждения «следует правильной временной шкале», ожидаемой для горячих белых карликов. Он также изучает признаки изменения периодов осцилляций на более холодных звездах. Это довольно трудная задача, поскольку приходится искать эффект, составляющий «всего несколько секунд в данных за 15 лет». Пока из данных астросейсмологии следует, что «теория верна с точностью 50%».

Белые карлики — наиболее подходящие объекты для изучения методами астросейсмологии, но астрономы ищут осцилляции и у звезд других типов. Идеально было бы исследовать осцилляции устойчивых звезд среднего возраста и сравнить их с солнечными осцилляциями. Однако блеск таких звезд вследствие осцилляций изменяется всего на несколько миллионов. Группа, возглавляемая Т. Брауном из Высокоточной обсерватории, выявила осцилляции Проциона, но он признает, что «имеется немало факторов, способных ввести в заблуждение». Этой зимой его группа собира-

ется выполнить новые наблюдения, с тем чтобы попытаться повысить уровень их надежности.

Между тем не забыта и наша ближайшая звезда. Группа Глобальной сети наблюдений осцилляций (Global Oscillation Network Group) — международная группа наблюдателей, имеющая в своем распоряжении шесть телескопов, в течение нескольких лет начиная с 1993 г. будет вести непрерывные наблюдения солнечных осцилляций. Гелиосейсмология уже начинает давать ответы на следующие, казалось бы, неразрешимые вопросы, например: какова температура солнечного ядра и чем обусловлен 22-летний цикл солнечной активности? В этой связи Натер философски замечает: «Примечательно, что сама природа предоставляет нам такую возможность».

Кори Пауэлл

### Дрейфующие кроссовки

НА ПОМОЩЬ науке часто приходят случайные открытия. Астроном-любитель обнаруживает «новую», в сеть рыбака попадает латимерия, а двое океанографов наносят на карту океанические течения, следя за случайно упавшим в море грузом обуви.

27 мая 1990 г. одно грузовое судно попало в сильный шторм на северо-востоке Тихого океана, во время которого пять контейнеров со спортивной обувью фирмы Nike упали за борт. Словно целая флотилия бутылок, содержащих какие-то сообщения, 80 тыс. кроссовок стали прибывать к берегам Британской Колумбии (Канада), штатов Орегон и Вашингтон в начале 1991 г.

Когда Куртис Эббесмайер из компании Evans-Hamilton в Сиэтле, выпускающей морские приборы, и Джеймс Инграхем-младший из Национальной службы морского рыболовства услышали сообщение в новостях о потере контейнеров с обувью, они мгновенно поняли, что наткнулись на потенциально полезный «эксперимент» по изучению океанических течений. «Я пытался найти ученых, которые бы следили за дрейфом кроссовок, но таковых не оказалось, — вспоминает Эббесмайер. — Это меня удивило».

Эббесмайер позвонил своему другу Инграхему, который следит за поверхностными течениями с целью определения их влияния на миграцию лососей. С помощью целой армии пляжных бродяг исследователю удалось найти около 1300 кроссовок. Поскольку место потери контейнеров

было известно точно, дрейфующие кроссовки могли дать опорную точку для построения компьютерных моделей поверхностных течений в океане.

Инграхем использовал созданную им модель, чтобы получить траекторию движения кроссовок. Модель показала, что в 1990 г. дрейфующее течение проходило намного южнее обычного. В другие годы, например в 1982 г., океанские течения, связываемые с теплыми водами тропической части Тихого океана, должны были бы пригнать большую часть кроссовок к берегам Аляски.

Изучение учеными дрейфа крупной партии спортивной обуви еще не закончено. Некоторые кроссовки недавно достигли Гавайских островов, другие, по словам Эббесмайера, вскоре приплывут в Японию. Все кроссовки, которые еще будут выброшены на берег, помогут исследователям расширить знания о поверхностных дрейфующих течениях на западной части Тихого океана.

Потеря контейнеров со спортивной обувью в 1990 г. имела также некоторые практические последствия. Художник Стив Маклауд из Орегона заработал 568 долл., собирая и продавая кроссовки, совершившие морское плавание. А Эббесмайер и Инграхем занимаются спортом в найденных ими «найках». Эббесмайер рекомендует вымыть кроссовки в теплой воде перед тем, как надевать их: длительный дрейф, может быть, и оказал пользу науке, но с точки зрения комфорта оказался нежелательным. «Кроссовки становятся жесткими после двух лет вымачивания в океане», — сообщает он.

Кори Пауэлл

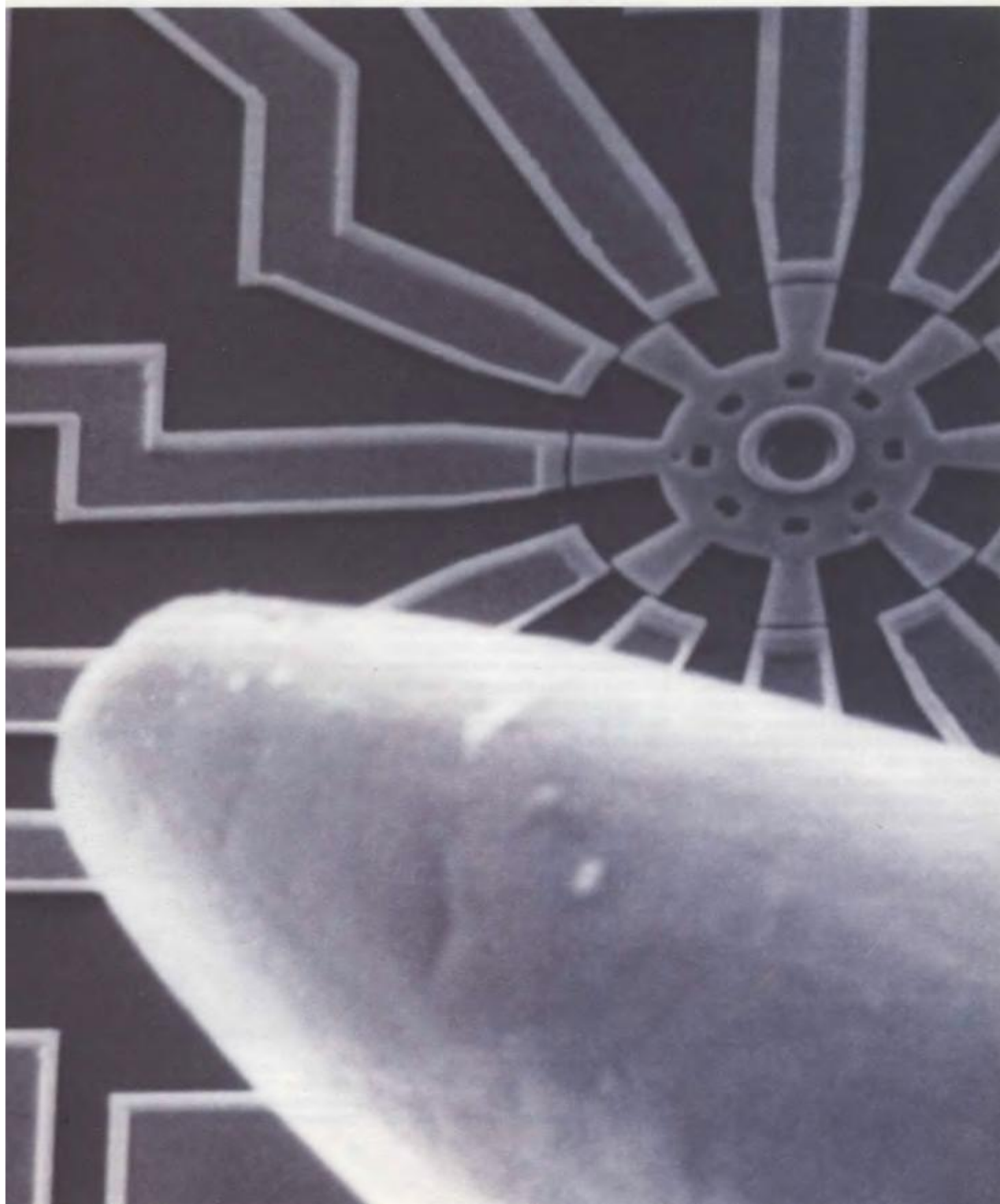


Один из морских «скитальцев» недавно был выброшен океаном на калифорнийский берег. (Фото: Джекки Каннингем.)

Тенденции развития микромеханики

# МИКРОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Гэри Стикс



**Кремний становится и «кирпичом»,  
и «строительным раствором» для  
изготовления зубчатых колес, клапанов,  
насосов и датчиков. С их помощью  
на поверхности полупроводниковых  
микроструктур можно создавать  
миниатюрные заводы и лаборатории**

**Т**ехнические эксперты Центрального разведывательного управления, к сожалению, забыли захватить с собой микроскоп. Они обступили профессора Мехрана Мехрегани из Университета Кейз-Вестерн-Резерв, который держал в руке микроструктуру. Но маленькая глазная лупа профессора не позволяла рассмотреть того, что происходило на поверхности этого кристалла.

В ЦРУ Мехрегани не объяснили, почему его попросили приехать в Вашингтон и рассказать о своей работе. Тем не менее он хотел доказать собравшейся вокруг него аудитории, что его исследования не сводятся к одним словам, а позволяют изготавливать механизмы столь миниатюрные, что внутри напечатанной здесь аббревиатуры «ЦРУ» их может поместиться более тысячи. Однако без помощи микроскопа нельзя было сказать, является ли маленькая темная точка на гладкой поверхности кристалла пылинкой или вращающимся электродвигателем.

Если бы сотрудники ЦРУ смогли рассмотреть микроструктуру с большим увеличением, то они бы увидели ротор, который выглядит как миниатюрная копия колес, приводивших в движение мельницу XIX в. И если Мехрегани и несколько сотен других исследователей правы, то микроскопические двигатели являются предвестниками новой промышленной революции, которая в конечном счете приведет к созданию механизмов и насосов размером с простейшие одноклеточные организмы и поставит их в один ряд с наиболее знаменитым «клапаном» всех эпох — транзистором.

В зарождающейся области микромеханики могут появиться «умные таблетки», которые будут производить инъекции нужных доз лекарств с точностью до долей секунды. Плечи рычагов диаметром менее микрона смогут перемещаться над диском-накопителем информации, что позволит разместить на участке в один квадратный дюйм все ранее выпущенные издания Британской энциклопедии, причем там останется еще много неиспользованного места. Двадцатикилограммовый масс-спектрометр, который может быть использован в качестве газового датчика общего назначения, можно будет уменьшить вместе со всеми его вакуумными насосами, чувствительными элементами и т. п. до размеров карманного калькулятора.

Этот список начинает становиться чем-то более реальным, чем просто мечты писателей-фантастов о технологии будущего. В 1991 г. в трудах международной конференции по разработкам в этой области, которая созывается дважды в год, на 1089 страницах перечислены различные рекордные достижения: устройство, управляющееся давлением пузырька газа, микроскопический пинцет, зонд, вживляемый в мозг для записи нервных сигналов, и датчик, который, как и человеческая рука, может различать материалы по степени их твердости. Один из вариантов микродвигателей Мехрегани, описание которого также имеется в

**ОДИН ИЗ ПЕРВЫХ МИКРОДВИГАТЕЛЕЙ с ротором диаметром 130 мкм показан рядом с острием булавки. Мехран Мехрегани изготовил этот двигатель, будучи студентом-старшекурсником Массачусетского технологического института. В настоящее время он продолжает работать в этой области в качестве профессора в Университете Кейз-Вестерн-Резерв.**

трудах конференции, может когда-нибудь использоваться в качестве «мускула», или привода, для некоторой комбинации датчиков, клапанов и электроники, размещенной на одном кремниевом кристалле, т. е. как основной элемент для создания микрохимического завода или набора научных приборов размером в несколько микрон.

Сегодня эти микроскопические двигатели являются еще весьма слабыми устройствами. На семинарах (наподобие того, что проходил в ЦРУ) Мехрегани постоянно отвечает на вопросы о степени полезности двигателя, крутящий момент которого хотя и превышает момент, создаваемый ресничкой бактерии сальмонеллы, но все же гораздо меньше, чем необходимо для работы механизма наручных часов. Кстати, для подключения проводов от микродвигателя к огромной, в сравнении с его размерами, батарее и управляющей электронной схеме студенты Мехрегани Виджей Дулер и Керен Денг потратили две бессонные ночи.

Решение этой проблемы, возможно, уже лежит под объективом микроскопа. При нужном увеличении со-

трудники ЦРУ увидели бы несколько проводков, подключенных к одному двигателю. Кроме работающего микродвигателя они увидели бы 99 других, остающихся неподвижными, поскольку к их электродам не были подведены провода. Мехрегани рассчитал, что на большой кремниевой подложке, которая затем разрезается на отдельные кристаллы, можно разместить до миллиона таких двигателей. «Ансамбль» из нескольких сотен тысяч микродвигателей может перекачивать примерно литр жидкости за одну минуту. Это уже вполне заметное количество, хотя Мехрегани все еще размышляет, какую пользу можно извлечь из такого множества микронасосов.

Для создания микродвигателей потребуется нечто большее, чем ночная сверхурочная работа двух уставших студентов. Существенную помощь в этом может оказать микроэлектроника. В конце XX в. фотолитография в соединении с химическим травлением и травлением в газовой фазе заменила штамповку и литье как преобладающие технологии массового производства. Методы, используемые для изготовления тысяч проводников и



**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛАСТИНКИ НА КРИСТАЛЛЕ** было дипломным проектом Роджера Хау. Ультрафиолетовое излучение проходило через

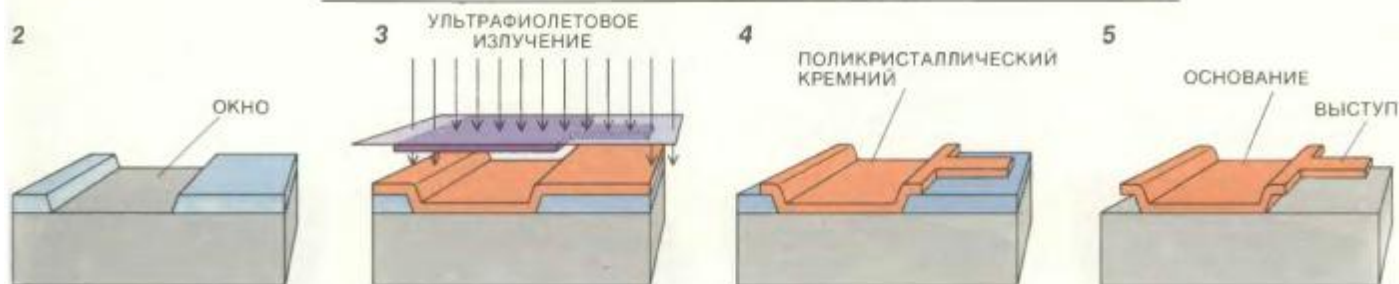
транзисторов на площадке меньше правой ноздри Линкольна на почтовой марке, могут также применяться для создания вращающихся и вибрирующих конструкций субмиллиметровых размеров — машин, уникальность которых оценил бы даже сам Генри Форд.

Для кого-то кремний может казаться неудачным конструкционным материалом, поскольку из него строят в основном песчаные замки, а не крошечные двигатели или миниатюрные консоли, по вибрациям которых мож-



**РОДЖЕР ХАУ** со своими студентами Кларком Нгуйеном (в центре) и Вейджи Юном (справа) в Калифорнийском университете в Беркли. Хау разработал процесс поверхностной микрообработки и продолжает развивать методы

сборки микроструктур: небольшой ток пережигает плавиковую перемычку толщиной в две десятых микрона (вверху в центре), освобождая фальцованную пластину (внизу в центре). С помощью такого процесса можно изготовить



фотолитографическую маску (1). Затем плавиковая кислота вытравливала «окно» в слое диоксида кремния (2). Перед формированием основания и пластинки (3) на кристалле наращивался слой поликристаллического кремния из га-

зовой фазы. Затем химическая плазма вытравляла экспонированные области поликристаллического кремния (4). Наконец, плавиковая кислота удаляла слой диоксида кремния (5).

но измерять ускорение. В 1981 г. Курт Петерсен, работавший тогда исследователем в фирме IBM (сейчас он занимает пост вице-президента по технологии фирмы Lucas NovaSensor во Фремонте, шт. Калифорния), опубликовал статью под названием «Кремний как конструкционный материал». В ней он отмечал, что «твердость кремния близка к твердости кварца и лишь немного уступает хрому, почти в два раза превосходя твердость никеля, железа и большинства обычных стекол». Кроме того, предел прочности кремния на разрыв превосходит таковой у стали, хотя его высокая хрупкость не позволяет считать его во всех отношениях идеальным материалом.

Создаваемые Мехрегани и другими исследователями микромашины — результат более чем 20-летних иссле-

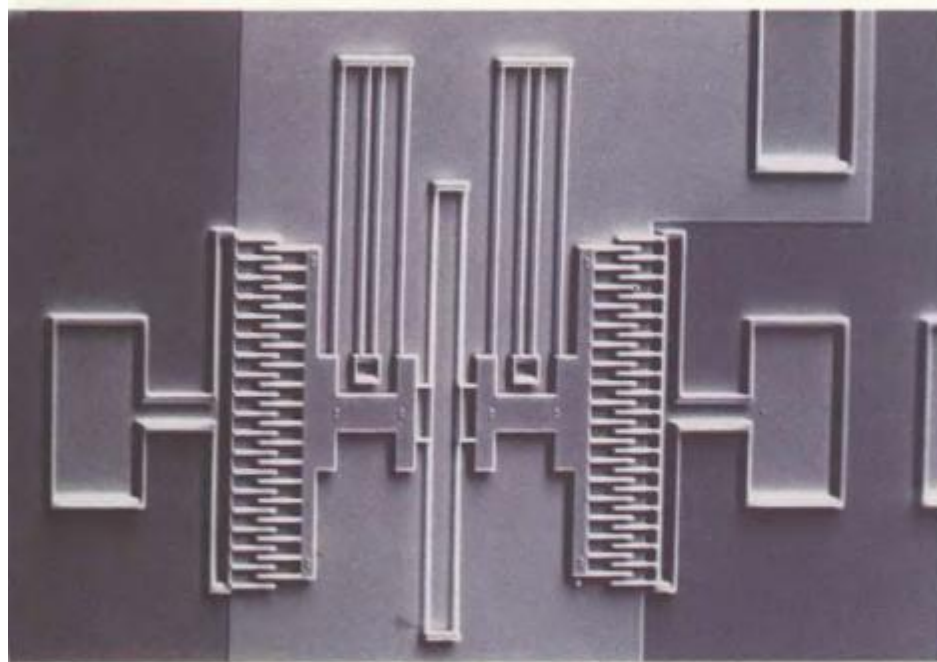
дований, разработок и промышленных внедрений датчиков, сделанных в основном из кремния. В старом технологическом процессе изготовления таких датчиков участки монокристалла кремния, экспонированные через фотолитографическую массу, удалялись травлением в щелочных химикатах. Такое травление формирует в кристалле кремния вогнутые, пирамидальные или другие многогранные углубления и отверстия (в зависимости от того, какая сторона кристалла подвергается воздействию химикатов). Такие «выеденные» полости затем могут стать строительными блоками для создания кронштейнов, диафрагм или других структурных элементов, необходимых для изготовления таких приборов, как датчики давления или акселерометры.

Эта технология, возникшая в 1960-е

годы, известна как «объемная микрообработка», поскольку химикаты глубоко проникают в кремний и создают структуры, в которых используется вся масса кристалла. Примерно в то время, когда Петерсен написал свою статью, один студент-старшекурсник Калифорнийского университета в Беркли ломал голову над проблемой преодоления некоторых ограничений объемной микрообработки. В результате появился метод, позволяющий изготавливать датчики и приводы, гораздо более близкие к обычной технологии производства интегральных схем.

Для своего проекта на степень магистра Роджер Хау планировал изготовить под руководством профессора Ричарда Мюллера газовый датчик — маленькую вибрационную пластинку, резонансная частота которой должна была меняться по мере того, как газ конденсируется на ее поверхности. Вначале Хау хотел изготовить этот прибор методами объемной микрообработки, но после обсуждения своих планов с Петерсеном и другими исследователями он разочаровался в возможностях этой технологии. Размещение конденсаторов под крошечной пластинкой для возбуждения ее колебаний и слежение за смещением резонансной частоты оказалось чрезвычайно сложной задачей.

Размышляя над этой проблемой, Хау вспомнил, что существуют стандартные технологии нанесения на кремниевую подложку поликристаллического кремния (в котором грани кристаллов ориентированы случайным образом) из газовой фазы. Эти методы используются для изготовления затворов полевых транзисторов, т. е. тех управляющих элементов, которые включают и выключают транзистор при подаче напряжения. Поэтому Хау решил сделать свою крошечную консоль из «поли» (так на жаргоне микронщиков называется поликристаллический кремний).



механический акустический фильтр (справа) шириной несколько сотен микрон. Этот фильтр передает колебания от одного набора фальцованных стержней другому набору посредством пружины — прямоугольной структуры (в середине).



**ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ** микроскопических структур можно выполнить с помощью процесса, разработанного в Центре ядерных исследований в Карлсруэ (Германия). Эта технология известна под названием LIGA — аббревиатура немецких слов *Litographie* (литография), *Galvanoformung*

(гальванообработка), *Abformung* (прессование). Рентгеновское излучение от синхротрона проходит сквозь прозрачные участки литографической маски (1). Экспонированные участки полимерного слоя толщиной до нескольких сотен микрон удаляются химикатами (2). На получив-

### Трамплин на кристалле

Хау напылил на поверхность кремниевой подложки поликристаллический кремний из газовой фазы. С помощью фотолитографии на напыленный слой он нанес рисунок и вытравил необходимую форму, после чего плавиковой кислотой удалил диоксид кремния, освободив консольную пластинку. В результате поликристаллический кремний в форме консоли оказался в подвешенном состоянии. Эту работу по созданию газового датчика Хау представил как свою диссертацию на степень доктора.

Самым замечательным во всей этой истории было не то, что Хау сделал газовый датчик в виде крошечной вибрирующей пластинки, подобной трамплину для прыжков в воду, а то, что метод изготовления этого датчика основывался на технологии осаждения из газовой фазы и последующего травления, которая применяется для изготовления наиболее распространенного МОП-транзистора со структурой металл-оксид-полупроводник. Хау вообще не использовал щелочных химикатов, традиционных для объемной микрообработки, но обычно не применяемых в производстве интегральных схем.

Метод получил название «поверхностной микрообработки», поскольку он предусматривает выращивание пленки кремния толщиной в несколько микрон, из которой формируются пластинки и другие элементы датчиков. Чрезвычайно малая толщина этих структур — серьезная проблема для конструктора, который должен ухитриться полезно использовать свойства элементов, являющихся по существу двумерными. После того как Хау изготовил свой газовый датчик, другие исследователи использовали этот метод для создания клапанов, моторов и других необычных

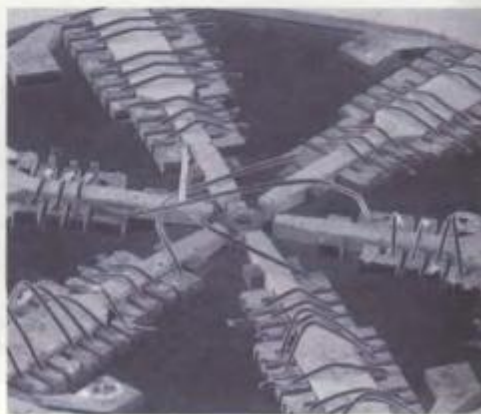
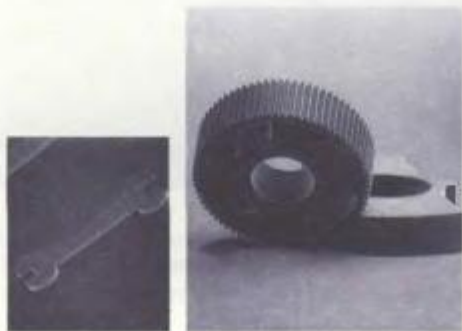
конструкций, которые скорее напоминают рисунки из медицинских учебников, а не из руководств по технологии машиностроения. Полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа черно-белые изображения позволяют рассмотреть похожие на червячков цепочки параллелограммов, которые могут удлиняться и укорачиваться, решетки жгутиковых элементов, вырастающих прямо из поверхности, и тягово-толкающие устройства, конструкция которых во многом повторяет строение клеток мышечного волокна.

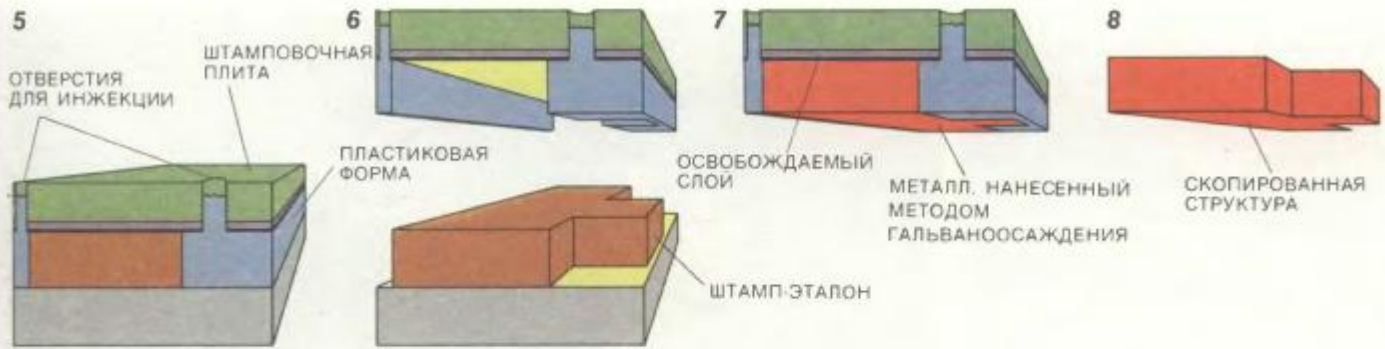
Хау, профессор из Беркли, которому сейчас 35 лет, разработал и другие технологические методы, позволяющие работать с поверхностью кремния так же, как если бы она была просто металлическим листом. На последней технической конференции он со своими студентами представил доклады с описанием технологии автоматизированной сборки микромеханических структур. Сотни крошечных кремниевых плавких перемычек толщиной 0,2 микрона одновременно перегорают при пропускании через них тока, освобождая подвешенную кремниевую пластинку. При подаче тока алюминиевые контакты плавятся по всему кристаллу; эта точечная сварка закрепляет пластинку.

Эти процессы, возможно, помогут

в конце концов собрать в одно целое все механические структуры Хау, многие из которых являются миниатюрными копиями давно известных электрических приборов. Например, первоначально для фильтрации акустических сигналов использовались резонирующие пластинки из железоникелевых сплавов размером около дюйма. Затем они были вытеснены конденсаторными элементами интегральных схем, поскольку последние были меньше по размерам и дешевле, хотя и не обеспечивали столь же высокой фильтрации сигнала. К настоящему времени Хау и его студенты изготовили микромеханические фильтры, которые эффективно фильтруют сигналы, мало шумят и могут перестраиваться в гораздо большем диапазоне частот, чем интегральные схемы. Сотни таких фильтров можно разместить на квадратном сантиметре поверхности микрокристалла.

Работа таких фильтров основана на том, что напряжение звукового сигнала (а когда-нибудь и видеосигнала) возбуждает колебания набора стержней, подвешенных между стационарными пластинами — электродами. Вся структура элементов такого фильтра часто сравнивается с двумя





шееся основание наносится гальваническое покрытие из никеля или другого металла (3). После удаления оставшегося полимера (4) над металлом размещается штамповочная плита и через отверстия в ней вводится пластик (5). Металлический штамп удаляется и затем используется для

получения других пресс-форм (6). В пластиковую форму наносится гальваническое покрытие (7), и затем пластик и поддерживающий слой вытравляются, освобождая металлическую структуру (8). На одной подложке можно изготовить тысячи штампов и форм.

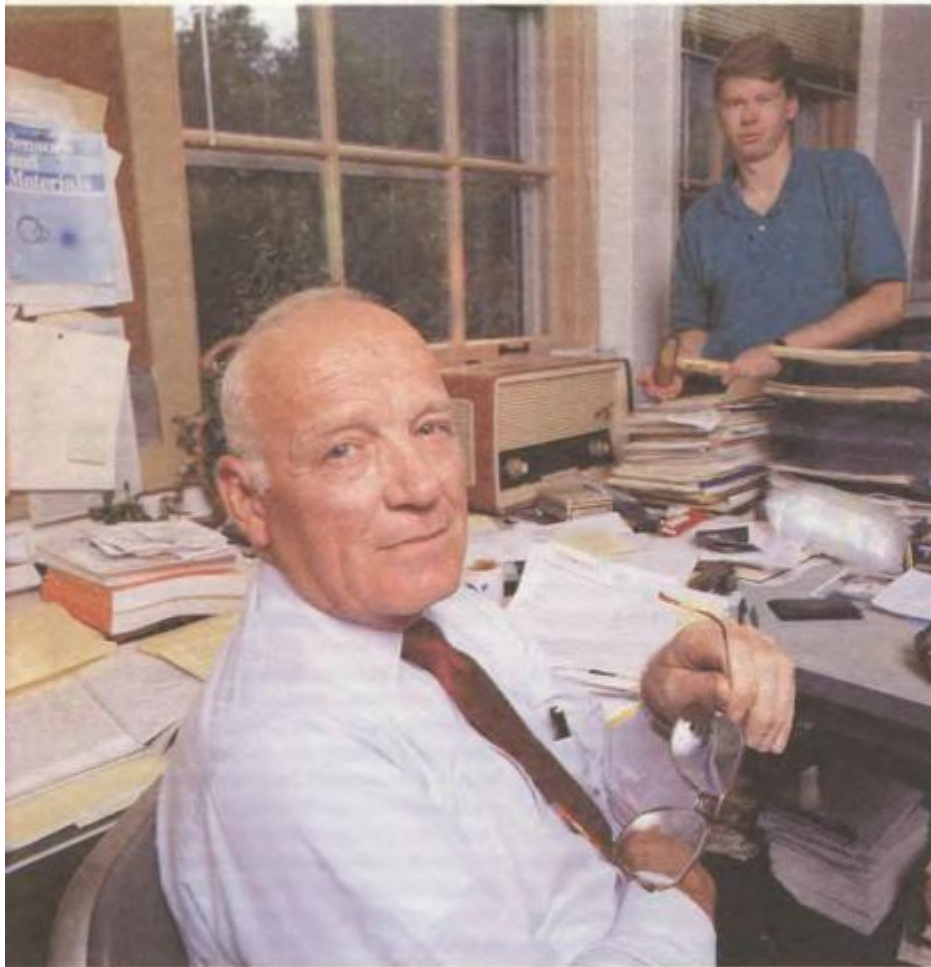
вставленными друг в друга расческами. Колебания, передаваемые микроскопической пружинкой, возбуждают колебания в расположенных вблизи них встречных стационарных электродах. В результате объединения всех резонансных колебаний двух таких гребешковых структур образуется отфильтрованный сигнал, который затем преобразуется обратно в электрический. «Интегральная схема ста-

новится неэффективной в сравнении с несколькими связанными резонаторами», — говорит Хау.

Воображение Хау помогло также изобрести гораздо более известное, хотя, возможно, менее функциональное микромеханическое изделие — один из первых вращающихся микродвигателей. Хау одним из первых выдвинул идею создания такого микродвигателя в середине 1980-х годов,

когда он преподавал в Массачусетском технологическом институте (МТИ). Работа по созданию микродвигателя вскоре превратилась в соревнование между группами ученых из МТИ и Беркли. (Возвращение Хау в Беркли перед тем, как какая-либо из сторон объявила о своем успехе, произвело много шума, хотя сам он утверждал, что вернулся в Калифорнию только затем, чтобы жить со своей семьей, и никогда не принимал участия в работах над микродвигателем в Беркли.) Соревнование было выиграно учеными из Беркли, которые летом 1988 г. объявили, что они успешно привели во вращение ротор микродвигателя, создав необходимое электрическое поле с помощью нескольких конденсаторов.

Микродвигатель немедленно превратился в символ успеха молодой области науки. Микрофотографии пластинок, консолей и гребешковых приводов выглядят очень интересно, как и все, что можно увидеть в окуляр микроскопа. Но когда эти фотографии на первых полосах газет разошлись по всему миру, то оказалось, что вращающийся ротор микродвигателя имеет до странного привычный вид. Это был уменьшенный вариант



ГЕНРИ ГУКЕЛЬ вместе со своим студентом Тоддом Кристенсоном (на снимке он держит в руках деревянный молоток) в Висконсинском университете в Мадисоне методом LIGA изготовили вращающийся электромагнитный микродвигатель. Кристенсон с помощью синхротрона за несколько часов изготовил зубчатые колеса и разные «безделушки», например гаечный ключ длиной 200 мкм (см. фотографии слева).

архаичного механизма, наподобие того, который доставлял столько мучений Чарли Чаплину в фильме «Новые времена».

Первые микродвигатели были чрезвычайно хрупкими созданиями. Они были идеальными кандидатами для изображения в фильме Чаплина вышедшей из-под контроля техники. Заставить их вращаться было очень непростой проблемой. После того как ротор освобождался плавиковой кислотой от удерживавшей его кремниевой подложки, он часто оставался неподвижным из-за трения с поверхностью кремния. Кроме того, двигатели имели раздражающую «привычку» намертво заклиниваться после нескольких тысяч оборотов. Остаточные напряжения между слоями, нанесенными методами поверхностной микрообработки, могли привести к короблению ротора — эффекту «ломтика жареного картофеля».

Эти первые варианты микродвигателей оказались источником многочисленных трудностей для специалистов, которые были вынуждены объяснять заказчикам и спонсорам, что их микроклапан или датчик не является просто игрушкой. Однако в одном смысле появление микродвигателей было большим успехом. Добиться вращения ротора в подшипнике — вероятно, наиболее сложная задача для нарождающейся микромеханики. Ученый из фирмы Bell Laboratories, продемонстрировавший впоследствии микродвигатель собственного изготовления, однажды сказал группе исследователей, что для приведения ротора во вращение необходимо столь сильное электрическое поле, что создающие его высокие напряжения приведут устройства в негодность. Существовало также мнение, что микродвигатели окажутся миниатюрными «очистителями воздуха» и что они будут погребены в куче пылинок, притянутых их электрическим полем.

Ни одно из этих предсказаний не сбылось. Оказались преувеличенными и опасения по поводу влияния трения, которое по некоторым прогнозам могло вообще не позволить вращаться микродвигателям. Конечно, теоретическое понимание механизма трения в микронных масштабах отсутствует. Однако Мехрегани, работавший в группе пионеров микромеханики в МТИ еще студентом-старшекурсником, продолжает исследования по микродвигателям и в Университете Кейз-Вестерн-Резерв.

Его подход носит эмпирический характер. Мехрегани перепробовал различные конструкции подшипников и втулок и в результате ему удалось уменьшить трение примерно до 10% от полного крутящего момента дви-



**КАЙГЕМ ГЕЙБРИЕЛ**, руководитель программы по микромеханике в Агентстве перспективных исследовательских проектов министерства обороны (DARPA), держит в руках изготовленный в фирме Texas Instruments кремниевый кристалл, на котором расположены два миллиона подвижных металлических зеркал, способных модулировать яркость освещения экрана дисплея. Как исследователь, Гейбриел отдает предпочтение использованию матриц микроэлементов, например таких, как жгутикоподобная микроскопическая структура, созданная Хироюки Фуджита из Токийского университета (в *середине*). DARPA финансирует работы в Корнеллском университете по разработке датчика ускорения, в котором будут использованы противоположно размещенные «иглы» сканирующего туннельного микроскопа. Верхняя игла будет подвешена на пластинках с поперечным сечением 200 нанометров (справа).

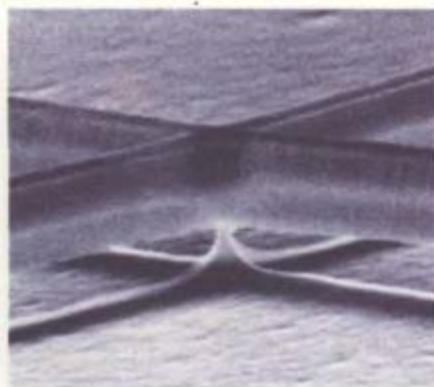
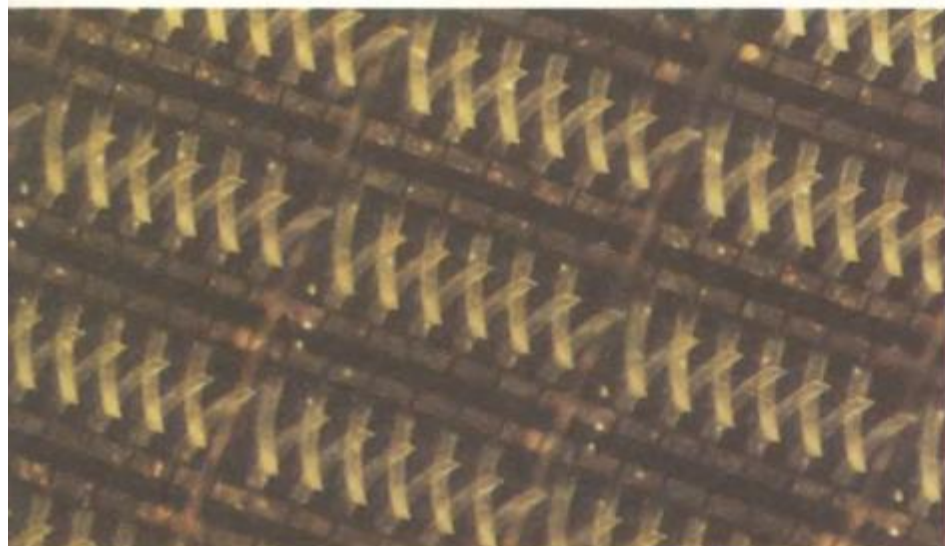
гателя, что в 10-100 раз превышает уровень трения в обычных электродвигателях, например, в электродвигателе стиральной машины. Двигатель Мехрегани развивает скорость до 15 000 оборотов в минуту. При низких скоростях вращения он непрерывно работал в течение нескольких суток, пока одному из студентов не надоело быть «сиделкой» возле вращающейся пылинки. Использование высококачественных материалов и более совершенной управляющей электроники позволит удвоить максимальную скорость вращения и снизить уровень трения. «Трение уже не является проблемой», — заявляет Мехрегани самоуверенно.

Задача увеличения крутящего момента микродвигателя (он развивает момент в миллиардные доли ньютонметра) была бы намного легче, если бы устройство не было плоским, как блин. Величина крутящего момента возрастает при увеличении высоты структуры; изготовленный методами поверхностной микрообработки двигатель имеет высоту всего лишь два-

три микрона. Для увеличения толщины микродвигателя некоторые исследователи обращаются к другим конструкционным материалам.

В начале 1980-х годов группа ученых под руководством Вольфганга Эрфельда в Ядерном исследовательском центре в Карлсруэ (Германия) разработала технологию изготовления микроструктур, толщина которых превышает их ширину. Можно, например, изготовить никелевый прибор шириной 5 микрон и высотой 300 микрон. Разработанная Эрфельдом технология основана на процессе, известном ранее в Карлсруэ для изготовления сопел с криволинейной формой, которые работают как микроцентрифуга и позволяют разделить изотопы урана. Этот метод известен под названием LIGA (аббревиатура немецких слов Litographie, Galvanoformung, Abformung).

Как и в объемной и поверхностной микрообработке, в методе LIGA используется фотолитография. Но вместо обычного ультрафиолетового излучения, освещающего маску, в этом



процессе используется рентгеновское излучение большой энергии, которое проникает на глубину в несколько сот микрон в толстый слой полимера. Экспонированные области удаляются химическим способом и в результате получается шаблон, который затем методом электролитического осаждения (Galvanofarming) можно наполнить никелем или другим материалом. Таким образом можно получить либо структурный элемент, либо штамп-эталон для последующего прессования (Abformung).

Как и в технологии поверхностной микрообработки, полученные методом LIGA структуры можно подвергать химическому травлению для удаления нижнего «жертвенного» слоя, что позволяет получать подвешенные или подвижные структуры на подложке. Весь этот технологический процесс можно выполнить на поверхности кремниевого кристалла, что делает метод LIGA совместимым с технологиями микроэлектроники. До настоящего времени в Карлсруэ изготавливаются пластиковые оптические приборы, металлические датчики ускорения, турбины и двигатели — трехмерные варианты некоторых конструкций, выполняемых методами поверхностной микрообработки.

#### «Большая LIGA»

Технология LIGA находится среди передовых поддерживаемых правительством программ, которые должны обеспечить Германии лидирующие позиции в микромеханике и тем самым компенсировать ее отсутствие в числе мировых лидеров в области электроники. По мере свертывания исследований по новым технологиям ядерных реакторов в Карлсруэ планируют занять более 200 специалистов в области LIGA и микромеханики. Тем

временем Эрфельд, один из первых разработчиков технологии LIGA, оставил Карлсруэ примерно два года назад, когда ему не было предложено достойной должности. Сейчас он занимается разворачиванием работ по конкурирующей программе в финансируемом правительством институте в Майнце.

Исследовательский центр в Карлсруэ также помогал передавать эту технологию частным промышленным фирмам. Лицензия на использование соответствующих патентов была выдана фирме MicroParts — единственному коммерческому источнику микромеханизмов в мире, — которая является частным концерном, совместно образованным сталелитейными, химическими и другими компаниями, которые продают компоненты LIGA.

Развитие микромеханики в Германии не ограничивается только технологией LIGA. Правительство также выделяет в год 70 млн. долл. на развитие того, что оно называет «микросистемами» — это своеобразная «смесь» разработок в области микромеханики и электроники. Общее руководство этой программой осуществляет Технологический центр VDI/VDE — немецкий институт, координирующий выделение фондов для микромеханики. Программа по технологии микросистем является своеобразным «зонтиком» для сотен малых и средних фирм и научно-исследовательских групп по всей стране. Карлсруэ и Технологический центр VDI/VDE также подготавливают предложения по формированию фонда в один миллиард долларов для развития этих технологий в рамках Европейского сообщества.

Определенным раздражителем для ученых из Карлсруэ является Генри Гукель, шестидесятилетний профес-

сор электротехники из Висконсинского университета в Мадисоне, который утверждает, что им выполнены такие работы, которые группе из Карлсруэ еще предстоит повторить. В начале 1980-х годов Гукель начал исследовать поликристаллический кремний в качестве материала для изготовления подвешенных или подвижных структур для датчиков. Он начал внимательно изучать — как он выражается, «читать между строк» — все публикуемые в Германии работы по технологии LIGA, замечая все достойное внимания и не забывая об университетском синхротроне, использовавшемся для анализа возможности применения рентгеновской литографии в микроэлектронике. В последние три года Гукель экспериментировал в области технологии LIGA.

Уроженец Гамбурга, приехавший в США в 1950 г. в возрасте 18 лет, Гукель часто пытается принизить то, что он называет «серьезностью» немецких ученых, и считает, что успех Висконсинского университета связан с длительными отпусками европейских специалистов. «Я поощряю их на то, чтобы они брали дополнительно 10 дней к своему отпуску», — усмехается он. На его заваленном рабочем столе всегда лежит деревянный молоток, и он постоянно (как судья) спрашивает студентов, опаздывающих с окончанием дипломных проектов хотя бы на неделю: «Так вы, наконец, закончили?».

Группа Гукеля первой изготовила наборы зубчатых колес из никеля диаметром от 50 до 200 микрон и высотой от 200 до 300 микрон и собрала из них системы зубчатых передач. В отличие от других исследователей, считающих, что для микромеханических систем требуются специальные конструкции, адаптированные к малым масштабам изделий, Гукель недавно изготовил микродвигатель, приводимый во вращение не статическим

электричеством, а теми же магнитными полями, которые вращают обычные электродвигатели, например в кухонном холодильнике.

Другие исследователи избегают использовать электромагнитные силы для приведения в движение маленьких механизмов, поскольку они считают, что при размерах около 100 микрон обычно слабые электростатические силы становятся равными или даже превышают магнитные. Гукель убежден, что такая точка зрения ошибочна: использование электростатики при столь же низких напряжениях, что и для питания полупроводниковых кристаллов, требует очень точных допусков, а зазоры между ротором электростатического двигателя и создающими электрическое поле электродами должны быть меньше одного микрона. Как утверждает Гукель, электромагнитный двигатель, который приводится в движение не напряжением, а током, будет работоспособен при гораздо большей величине зазоров и разумных уровнях мощности.

Однако электромагнитные двигатели нельзя использовать совместно с некоторыми типами полупроводниковых схем. И до сих пор крошечные зубчатые механизмы, приводимые в движение такими двигателями, должны собираться вручную, что очень сложно. «Изготовление методами технологии микросистем четырехступенчатого зубчатого механизма — это просто нелепица, — заявляет Вольфганг Менц, возглавляющий работы по технологии LIGA в Карлсруэ и считающий, что попытки копировать в микромасштабе обычные механизмы методически неверны. — Муха имеет совсем иное строение, чем слон. Существуют серьезные причины, по которым вы не можете уменьшить слона до миллиметровых размеров и не можете увеличить муху до пятиметровой величины».

Однако сделанные из металла электромагнитные двигатели смогут использовать все преимущества малой массы микромашин. Гукель полагает, что они могут достичь больших скоростей вращения, чем электростатические — до миллионов оборотов в минуту. «Я надеюсь, что от меня не потребуется сделать это к моменту защиты диплома», — шутит Тодд Кристенсон, студент Гукеля. Кристенсон разрабатывает многоэлементный динамометр, который мог бы обнаруживать изменение скорости вращения всего на несколько оборотов при скоростях сотни тысяч оборотов в минуту. Такой прибор обеспечит возможность исследовать небольшое влияние трения и других слабых эффектов.

Основная цель Гукеля — создать прибор, который кто-то будет покупать. Военное ведомство США проявило интерес к крошечным турбине и генератору, который будет вырабатывать достаточно энергии для питания микросхемы, если им просто размахивать в воздухе. Еще большая конкуренция ожидается на рынке накопителей на магнитных дисках. В Альмаденском исследовательском центре фирмы IBM в Сан-Хосе (шт. Калифорния) работает группа ученых, которая занимается приводами для управления положением головок дискового и миниатюрными двигателями для вращения дисков. Эти работы ведутся совместно с группой Гукеля из Висконсинского университета. Гукель «окоплован» цифрой в 50 млрд. долл. — таков ежегодный доход промышленности накопителей на магнитных дисках. «Я говорю своим студентам, что ожидаю получения примерно 10% от этой суммы для моей пенсии», — шутит он.

Поведение Гукеля как бы опровергает сам факт наличия проблем финансирования в США технологии LIGA и других исследований по микромеханике. Синхротроны высокой энергии для рентгеновской литографии — это очень дорогостоящие установки, и для подсчета всех таких синхротронов в США хватит пальцев одной руки. Студенты-старшекурсники в Висконсине застегивают свои спецодежды примерно в полночь и снимают их в восемь часов утра, когда они вынуждены предоставлять синхротронный пучок другим группам исследователей.

Гукель указывает, что с помощью технологии LIGA можно выпускать тысячи недорогих деталей благодаря применению разработанного в Карлсруэ процесса литья под давлением. Но для этого случае необходимо как-то возместить огромные расходы на использование дорогостоящих установок. Гукель пытается создать организацию вместе с фирмой Ford и другими компаниями, заинтересованными в развитии технологии LIGA. Но, по словам одного федерального чиновника, пока эта группа занимается только бесконечными дебатами.

Сегодня Висконсинский университет — единственный американский университет, вовлеченный в работы по технологии LIGA. Однако Луизианский технологический университет начал формировать большую исследовательскую программу по микромеханике, в которую включена и LIGA. Финансовая помощь в размере 10 млн. долл., которую обещал выделить из федерального бюджета сенатор от штата Луизиана Беннетт Джонстон, предназначена для того,

чтобы позволить штату подняться выше его экономической зависимости от нефти и газа. Но этот уровень финансирования, превышающий те средства, которые молодая отрасль получает ежегодно от Национального научного фонда и других правительственных источников, возбудил негодование среди более известных исследовательских групп, которые каждый год борются за возобновление субсидий размером в 50 тыс. долл.

Сомнительно, что США сохранят лидирующее положение в фундаментальных исследованиях в области микромеханики. Университеты, занимающиеся программами по этим технологиям, уже направили своих выпускников в такие известные корпорации, как Ford, IBM и Hewlett-Packard. Однако стране не хватает общенационального межотраслевого соглашения.

Тем временем японские фирмы становятся источником новых изобретений в этой области. Их исследователи представили на прошлой год конференции 21 техническую работу по этой тематике, в то время как от американских компаний было только 12 работ. Миниатюрные датчики и приводы принесут несомненные выгоды японской промышленности, особенно с учетом ее лидирующего положения в области бытовой электроники, робототехники, микроэлектроники и автомобилестроения.

Японское правительство придает технологиям создания микромашин статус национального приоритета. Министерство внешней торговли и промышленности (МВТП) в 1991 г. объявило о развертывании десятилетней программы по микромеханике общей стоимостью около 200 млн. долл. Будут финансироваться разработки миниатюрных датчиков и приводов для изготовления роботов, следящих за состоянием трубопроводов, и «умных» катетеров со скальпелеобразными резцами для микрохирургии. Известно, что проект развития технологий микромеханики является одним из первых больших проектов МВТП, в котором разрешается участвовать американским компаниям. Например, фирме SRI International в Менло-Парке (шт. Калифорния) был предоставлен заказ на изготовление искусственных мышечных волокон из электростатических приводов и эластомерного материала типа полиуретана.

МВТП также вовлечено в пока что малоуспешные переговоры о предоставлении контракта на изготовление систем управления для миниатюрных машин компании Texas Instruments. Эта базирующаяся в Далласе компания изготовила, по-видимому, наиболее

известный опытный образец микро-механической системы: матрицу из двух миллионов металлических зер-кал на кремниевом кристалле. Каждое зеркало площадью в 16 кв. мкм может отклоняться в положения «включе-но» и «выключено», управляя тем са-мым величиной светового потока, от-ражаемого на экран дисплея.

Программа MBTP охватывает не только массовое литографическое производство изделий из кремния, но и большой набор методов изготовле-ния крошечных деталей из металла и пластика путем обработки резанием и шлифования каждого отдельного эле-мента. Так, компания Sumitomo Electric Industries, первая в Японии за-нявшаяся технологией LIGA, будет применять ее для изготовления ма-леньких керамических микрофонов для роботов, ведущих за состоянием трубопроводов.

С предложениями принять участие в программе MBTP обратилось око-ло сотни компаний, однако из этого количества была отобрана примерно четверть. Хотя некоторые известные японские корпорации с определенным интересом следят за развитием этого проекта, они продолжают фокусиро-вать свои усилия на технологиях меха-нической обработки кремния. Неко-торые японские ученые считают, что MBTP решило не финансировать ра-боты по кремниевой микромеханике для того, чтобы разрушить впечатле-ние, будто японцы копируют и вне-дряют результаты исследований, вы-полненных в США; это мнение всегда создавало напряжение в торговых от-ношениях двух стран.

В этой программе участвует и мно-гопрофильный электронный гигант Hitachi, хотя в своих исследованиях он делает упор на работу с кремнием. Эта фирма увеличила штат своих ис-следователей в области микромехани-ки с четырех до десяти человек и вы-делила этой группе новую «чистую комнату» и технологическую линию по производству полупроводников. Hitachi уже добилась первых резуль-татов в этой области, изготовив опытные образцы датчиков ускоре-ния, которые она предоставляет автомо-бильным компаниям.

Возглавляющий лабораторию мик-ромеханики Кадзуо Сато постоянно обучает своих сотрудников всем сложным нюансам этой технологии. Каждые две недели он организует се-минар, на котором назначенный со-трудник группы докладывает о новой работе в этой области по материалам последней технической конференции. В отличие от «университетской» на-уки разрабатываемые здесь проекты тесно связаны с используемыми в фирме технологиями. Ранее в этом го-

ду Сато выступил на международной конференции с докладом, в котором был представлен новый тип микро-клапана для точного управления ко-личеством нагнетаемого в вакуумную камеру газа. Такой контроль необхо-дим для процесса осаждения на под-ложку слоев толщиной в один или не-сколько атомов, применяемого при производстве полупроводников, в ко-торых используются квантовые эффекты.

В то время как Hitachi создает для развития микромеханики чистую комнату, пионер микромеханики США сворачивает свои работы в этой области. AT&T Bell Laboratories была одной из первых крупных компаний, занявшихся работами по микроме-ханике, и теперь одной из первых выхо-дит из игры. Ученые из Холмделской лаборатории AT&T (шт. Нью-Джерси) изготовили один из первых вращающихся микродвигателей, про-вели фундаментальные исследования по поликристаллическому кремнию и сконструировали «качающийся» дви-гатель, в котором для уменьшения трения ротор нерегулярным образом вращается в своем подшипнике.

Программа по микромеханике ста-ла жертвой широко разрекламиро-ванного решения руководства фирмы AT&T сузить слишком широкий фронт своих научных исследований. В 1991 г. последний специалист по мик-ромеханике Кайгем Гейбриел перешел на другую работу после того, как пять его коллег были переведены в другие отделы или вообще ушли из фирмы. Гейбриел в середине 1980-х годов за-нимался общей координацией работ по микромеханике в AT&T.

Через год после того, как Гейбриел покинул AT&T, ему были переданы бразды управления правительствен-ной программой, что дало ему воз-можность сформировать дальнейший курс развития микромеханики в США. Новая работа Гейбриела в Агентстве перспективных исследова-тельских проектов министерства обо-роны (DARPA) заключается в прида-нии практической направленности академическим исследованиям. «В определенном смысле «медовый ме-сяц» микромеханики уже закончился. Люди не будут больше платить де-неги только за то, чтобы получить в свое распоряжение очередную забав-ную игрушку», — говорит Гейбриел.

Программа DARPA — это круп-нейшая по объему ежегодного финан-сирования правительственная про-грамма по развитию микромеханики в США. Однако выделенный на три года двадцатимиллионный бюджет этой программы явно незначителен в сравнении с теми средствами, кото-рые выделяются в Германии и Япо-

нии для развития этой области. Не-смотря на это, назначение Гейбриела является удачным, поскольку он мо-жет выполнить то, что никогда не до-ступно простому чиновнику. Во время своей работы в AT&T он провел мно-жество семинаров, на которых объяс-нял особенности работ в области мик-ромеханики другим ученым. Хотя бо-лее важным является то время, что он провел в лаборатории.

При создании микродвигателя в Bell Labs Гейбриел столкнулся с про-блемами, связанными с «двумерно-стью» микропривода и с трудностью развития заметных сил в механизме, диаметр круглых деталей которого не превышает размера острия булавки. Поэтому вместо изготовления миниатюрных копий больших промышлен-ных механизмов, чем занимается Ген-ри Гукель, Гейбриел пытается создать микроприводы, в которых использу-ются преимущества «плоского ми-ра», создаваемого технологией по-верхностной микрообработки.

#### В эпоху постмодернизма

Многие из этих идей были реализо-ваны в течение года, когда только что оставивший Bell Labs Гейбриел нахо-дился в творческом отпуске в Инсти-туте промышленной науки Токийско-го университета. «Мозговой штурм» совместно с Хироюки Фуджита, веду-щим японским специалистом по мик-роприводам, и с другими исследова-телями привел к созданию ряда при-боров, которые Чарли Чаплин едва ли принял бы за механизмы: мембра-ны диаметром в несколько сотен мик-рон, поднимающиеся и опускающиеся к поверхности кристалла, как крошеч-ные жабры, как бы составленные из спичек параллелограммы, которые могут расширяться и сжиматься в своих вершинах. (Кроме того, Фуджи-та самостоятельно изготовил приво-ды, которые закручиваются и раскру-чиваются примерно так же, как рес-нички простейших микроорганиз-мов.) Множество расположенных на поверхности кристалла параллело-граммов может развивать достаточ-ные усилия, чтобы управлять движе-нием гораздо больших по размерам структур. «Отдельный привод слиш-ком примитивен, но вместе они ведут себя как достаточно сложный при-бор», — говорит Гейбриел.

Именно параллелограммы, по мне-нию Гейбриела, являются тем типом привода, который можно использо-вать в Bell Labs для механического пе-рекращения оптических сигналов, из-бегая необходимости преобразовы-вать оптический сигнал в электриче-ский импульс, а затем вновь в оптиче-ский, как это делается сейчас. Гейбри-

ел верит, что в Bell Labs будут вынуждены вернуться к развитию микромеханики. И действительно, в конце лета прошлого года Гейбриел посетил Bell Labs для того, чтобы организовать презентацию программ DARPA.

Гейбриел объяснил своим бывшим хозяевам сущность программы DARPA, которая должна заставить исследователей перевести опыт, накопленный годами совершенствования технологий микроизготовления, в практические механизмы и датчики. В рамках программы уже заключены следующие контракты:

- Создание самого чувствительного датчика ускорения. Ученые Корнеллского университета потратили более 6 лет на отработку и улучшение печально известного своей трудоемкостью процесса изготовления элементов датчиков и приводов для сканирующих зондовых микроскопов, позволяющих записать название компании отдельными атомами. Если не возникнет никаких непредвиденных затруднений, группа исследователей будет использовать матрицы чувствительных «иголок» для регистрации перемещений вдоль любой из осей, вызванных силами величиной от миллионных до десятых долей ускорения силы тяжести. Такой прибор может стать основой для создания «карманного» варианта инерциальной навигационной системы с такими же параметрами по точности, как и у систем, используемых сейчас в авиации для точного определения местоположения самолета в любом районе Земли.

- Прибор размером с наручные часы, состоящий из нескольких кристаллов, измеряющих большой набор параметров (барометрическое давление, температуру, влажность, географическое местоположение и наличие определенных газов, например диоксида углерода). Такой прибор может найти широкое применение в здравоохранении, промышленности и при дистанционном слежении за параметрами окружающей среды в экологии. Кроме того, этот разрабатываемый в Мичиганском университете проект может стать прелюдией к появлению нового направления в проектировании с использованием компьютеров. Газовый датчик или насос станут еще одним стандартным конструктивным элементом в библиотеке программ компьютерного проектирования, такими же как транзистор и конденсатор.

- Разрабатываемый в Станфордском университете привод, движение которого будет происходить в направлении, перпендикулярном поверхности кристалла. Такие верти-

кальные «штыри» можно будет использовать для захвата и манипулирования биологическими тканями или для перемещения небольших объектов таким образом, как если бы они двигались вдоль некоей «сборочной линии».

Как часть другой программы, DARPA финансирует эксперимент, в котором структуры, полученные методом поверхностной микрообработки где-либо в США, обрабатывались бы совместно на полупроводниковой установке в Северной Каролине. Этот эксперимент, аналогичный программе DARPA для микроэлектронной промышленности, покажет, достаточно ли созрела новая технология для того, чтобы имелась возможность самостоятельной работы установки, где предприниматели и ученые смогли бы заказывать небольшие образцы микромеханических систем за умеренную плату. Так как микроме-

ника вырастает на основе микроэлектроники, прогресс в этой области может быть весьма стремительным. «Нам не нужно заниматься построением никакой инфраструктуры», — говорит Гейбриел.

Однако эти доводы не успокаивают всех скептиков. Во время последней поездки по Германии, Генри Гукель, активный сторонник технологии LIGA, опять отвечал на неизбежный вопрос о том, для чего могут пригодиться его двигатели-пылинки. Гукель призывал к терпению, объясняя собравшимся промышленникам и ученым, что они могут заняться поставкой микродвигателей сейчас или позднее. В любом случае они будут приносить пользу. Однако лучше подождать немного. «Все зависит от того, — заявил он, — на чем вы предпочитаете ездить — на старом «Юго» или на «Мерседесе».

## Наука и общество

### Потерянный рай?

УЖЕ ЧЕРЕЗ НЕСКОЛЬКО лет после повсеместного распространения пенициллина в 1940-х годах появились первые сообщения о том, что некоторые колонии бактерий оказываются резистентными (устойчивыми) к нему. И, по мере того как входили в практику более мощные антибиотики — стрептомицин, тетрациклин и хлорамфеникол, у бактерий развивалась резистентность и к этим препаратам. В настоящее время бактерии и грибы, ставшие устойчивыми к ранее эффективным лекарствам, выступают причиной смерти людей и увеличения медицинских расходов во всем мире.

Как говорит С. Леви из Университета Тафтса, до последнего времени лекарственная резистентность большей частью игнорировалась в США, поскольку врачи были уверены, что могут получить любые антибиотики, в каких возникнет необходимость. Они оказались неправы. Устойчивость к лекарствам обнаружилась практически у всех микроорганизмов, которые испытали на себе воздействие антибиотиков, — от содержащихся в пище патогенов, таких, как *Salmonella*, до передающихся половым путем микробов, таких, как *Neisseria gonorrhoeae*. В больницах США сейчас бывают случаи смерти хирургических пациентов от раневых инфекций, вызываемых энтерококками, резистентными к нескольким различным лекарствам. «У этих людей нет объективных причин умирать», — подчеркивает Д. Шлес из Медицин-

ского центра Управления по делам ветеранов в Кливленде.

И хотя инфекцию, оказавшуюся устойчивой к какому-либо лекарству, часто можно подавить с помощью другого — как правило, более дорогого — препарата, число патогенов, резистентных к целому ряду лекарств, все увеличивается. В течение 1980-х годов по всей планете наблюдались вспышки дизентерии, холеры и пневмонии, отличавшиеся множественной лекарственной резистентностью. А в последние два года медицинская общественность США была потрясена возникновением множественной лекарственной резистентности у *Mycobacterium tuberculosis*. Считалось, что этот возбудитель туберкулеза уже не представляет опасности для жителей развитых стран. Однако в 1991 г. случаи туберкулеза, устойчивого к одному или нескольким лекарствам, были зарегистрированы в 36 штатах.

Резистентность туберкулезных бактерий к лекарственным средствам весьма тревожна, поскольку в отличие от многих других серьезных заболеваний главный путь заражения туберкулезом — это через дыхательные пути, как констатировали Б. Блум из Медицинского колледжа им. Альберта Эйнштейна в Бронксе и К. Мюррей из Гарвардской школы общественного здоровья на страницах журнала «Science». Они отметили, что туберкулез является ведущей причиной смерти среди инфекционных болезней во всем мире: каждый год заболевает 8 млн. человек и умирает 2,9 млн.

В США заболеваемость туберкуле-

зом увеличивалась начиная с 1985 г. и в 1991 г. достигла 26 тыс. случаев. И по крайней мере у одной трети больных, зарегистрированных в Нью-Йорке за 1991 г., оказалась резистентность к одному или более лекарствам. Неосложненный туберкулез может быть излечен в результате 6-месячного курса введения антибиотиков, но при множественной лекарственной резистентности прогноз нерадостный. В случае устойчивости к двум или более антибиотикам вероятность смерти близка к 50%; а те, кто заражен вирусом иммунодефицита (HIV), вызывающим СПИД, погибают всего за несколько недель. По данным Блума и Мюррея, попытки лечения больных туберкулезом на фоне инфекции HIV приводят к появлению штаммов *M. tuberculosis*, резистентных практически ко всем лекарствам против туберкулеза. Эти штаммы быстро распространяются и среди людей, не зараженных HIV.

У многих резистентных к лекарствам бактерий обнаруживаются гены, позволяющие им производить ферменты, разрушающие те или иные антибиотики либо обеспечивающие их выведение из бактериальной клетки. Поскольку перенос генов у бактерий может происходить между особями не только одного и того же вида, но и разных видов, то гены, определяющие резистентность к широко используемым антибиотикам, распространяются очень быстро.

До лета прошлого года механизм лекарственной резистентности у возбудителя туберкулеза оставался невыясненным. И. Зханг из Хаммерсмитской больницы в Лондоне и его коллеги выяснили основы устойчивости к часто используемому для лечения туберкулеза препарату — изониазиду. Как ни странно, она оказалась обусловлена утратой гена, локализованного в плазмиде (небольшой кольцевой молекуле ДНК). Благодаря этому гену у туберкулезных бактерий изониазид превращается в активную форму. Полученные результаты позволили наметить несколько многообещающих путей исследований. Но, как отметил Шлес, на разработку нового лекарства понадобится не менее семи лет.

Однако фармацевтические фирмы сократили исследования в области антибиотиков и других антимикробных препаратов и обратились к разработке противораковых и противовирусных лекарств. В результате, когда проблема лекарственной резистентности туберкулеза в США достигла в 1991 г. общенационального масштаба, в стране не оказалось производителей двух лекарств, прежде использовавшихся против туберкулеза, —



стрептомицина и *п*-аминосалицилата натрия.

Т. Копманн, возглавляющий отдел биотехнологии в Ассоциации производителей фармацевтических средств, возложил вину за эту ситуацию на Национальные институты здоровья, недостаточно финансировавшие работы по проблемам лекарственной резистентности. По свидетельству Дж. Ла Монтаня из Национального института аллергии и инфекционных заболеваний, в этом учреждении средства, выделяемые на такие исследования, увеличились с 6,7 млн. долл. в 1988 г. до 9,7 млн. долл. в 1991 г. Но Шлес утверждает, что большая их часть была затрачена на проблемы, лишь косвенно затрагивающие практику. И хотя после 1989 г. Национальные институты здоровья были спонсором двух рабочих совещаний по проблемам лекарственной резистентности, они снизили финансовую поддержку большинства главных новых попыток исследований.

«Если общество отнесется к этому серьезно, то Национальным институтам здоровья и Центрам контроля заболеваний следует пересмотреть свои бюджеты», — заявил Блум. Он обвинил Центры контроля заболеваний в том, что им были известны случаи лекарственной резистентности туберкулеза еще более двух лет назад, но программы борьбы с этим явлением по рассмотрению отвергли. «Если бы такие программы были приняты, то сейчас уже имелась бы та инфраструктура, в которой сегодня столь острая нужда», — сказал Блум. — Трагедия в том, что людей можно убедить что-либо предпринять только после того, как они увидят скелеты на первых страницах газет».

Среди врачей образуются неофициальные сети для слежения за резистентностью к антибиотикам. Леви

добывается от Национальных институтов здоровья финансирования на создание добровольного международного банка данных. Т. О'Брайен и Дж. Стеллинг из Медицинской школы Гарвардского университета разработали программу получения данных, которая облегчает микробиологическим лабораториям выявление организмов с лекарственной резистентностью. Эти попытки, включая обмен информацией в международном масштабе, поддерживаются Всемирной организацией здравоохранения, которая помогает ряду стран развивать программы контроля туберкулеза.

В США Центры контроля заболеваний начали мониторинг лекарственной резистентности различных организмов, включая *M. tuberculosis*. Сотрудник этой организации Д. Снайдер сказал, что планируется сбор данных о реакции на медикаментозную терапию в каждом случае туберкулеза в США, но система мониторинга пока не заработала в полную силу.

Тем временем врачи могут снизить распространение лекарственной резистентности, отказавшись от использования антибиотиков, мощность которых превышает необходимую, как считает специалист по инфекционным заболеваниям Дж. Якоби из Массачусеттской больницы общего типа. Глава комитета по антибиотикам в Американском обществе инфекционных болезней К. Кунин утверждает, что более чем на 50% антибиотики в США используются неадекватно. Многие назначаемые антибиотики, по его мнению, либо сильнее, чем требуется, либо принимаются слишком долго, либо в них вообще нет необходимости. «Здесь прямо-таки какофония», — заявил Кунин. — Предстоит еще долгий путь».

Тим Бердсли

## Наблюдение цефеид



ДЖОРДЖ А. КАРЛСОН

**Н**Е ВСЕ звезды светят так же стабильно, как наше Солнце. Некоторые звезды заметно меняют свой блеск. Но переменность — это не просто любопытное свойство. Переменные звезды предоставляют большой объем информации о себе и Вселенной в целом. Одним из наиболее полезных для астрономов классов переменных звезд являются цефеиды типа I, поскольку они служат индикаторами расстояний — своего рода «маяками» Вселенной. Это их свойство обусловлено тем, что существует определенная зависимость между периодом колебаний блеска цефеид и их светимостью: чем больше период колебаний блеска,

тем выше светимость. Таким образом, измерив период колебаний блеска и видимую звездную величину звезды, можно определить расстояние до нее (см. статью В. Фридман «Скорость расширения и размеры Вселенной» на с. 18).

Однако получить точное значение расстояния не так-то просто. Вычисленное расстояние может быть ошибочным в два, а то и в три раза, поскольку зависимость период-светимость охватывает некоторый ограниченный диапазон звездных величин. Чтобы исключить эту неопределенность, астрономы обычно используют наблюдения нескольких цефеид, находящихся по соседству друг с дру-

гом. Например, мною были открыты 29 цефеид в галактике NGC 3109. Нанеся их видимые звездные величины в максимуме блеска на график зависимости период-светимость (см. рисунок внизу на с. 81), я путем аппроксимации определил, что расстояние равно 1,9 Мпк (мегапарсек). Но и эта цифра лишь приближенная, так как она не исправлена на поглощение, вызываемое межзвездным веществом между объектом и наблюдателем. Для точного измерения расстояний обычно требуются большие телескопы, фильтры и сложные методы экстраполяции измерений от одного небесного тела к другому. Поэтому определение расстояний — задача профессионалов.

Однако это не значит, что астроному-любителю нечего делать. Вы можете измерять блеск цефеиды и построить по полученным данным кривые блеска. Одно из наиболее полезных пособий для наблюдателя переменных звезд — «Астрономический альманах» («Astronomical Almanac»). В нем публикуется список переменных звезд, видимых невооруженным глазом. Приводится название звезды, ее тип, положение на небе и период колебаний блеска. В «Астрономическом альманахе» приводится также последний максимум блеска, который можно использовать для предсказания последующего максимума блеска.

Блеск звезды определяется по шкале звездных величин. Каждое последующее деление шкалы соответствует блеску, в 2,5 раза отличающемуся от предыдущего. Чем слабее звезда, тем больше ее звездная величина; самые яркие небесные светила имеют отрицательную звездную величину. Например, звездная величина Солнца равна  $-26^m$ . Невооруженным глазом можно видеть светила примерно до шестой звездной величины.

Даты в «Астрономическом альманахе» приведены в юлианских днях, которые представляют собой десятичные числа дней, прошедших от некоторой выбранной эпохи до данной даты или события. Юлианские даты гораздо удобнее для пользования, чем обычные календарные даты. Чтобы найти интервал между двумя датами, достаточно просто вычесть одну юлианскую дату из другой. В разделе В «Астрономического альманаха» приводятся соответствующие календарные даты.

Общий метод наблюдения цефеид состоит и многократном измерении их блеска в течение многих циклов. Данные о вариациях блеска можно получить двумя способами. Первый способ — наблюдать невооруженным глазом и делать надежные оцен-



*ДЕЛЬТА ЦЕФЕЯ находится в созвездии Цепей, недалеко от Малой Медведицы. Изменение ее блеска со временем сравнивается с бета и эпсилон Цепей. Для обозначения звезд в созвездии в порядке убывания их блеска астрономы используют греческий алфавит.*

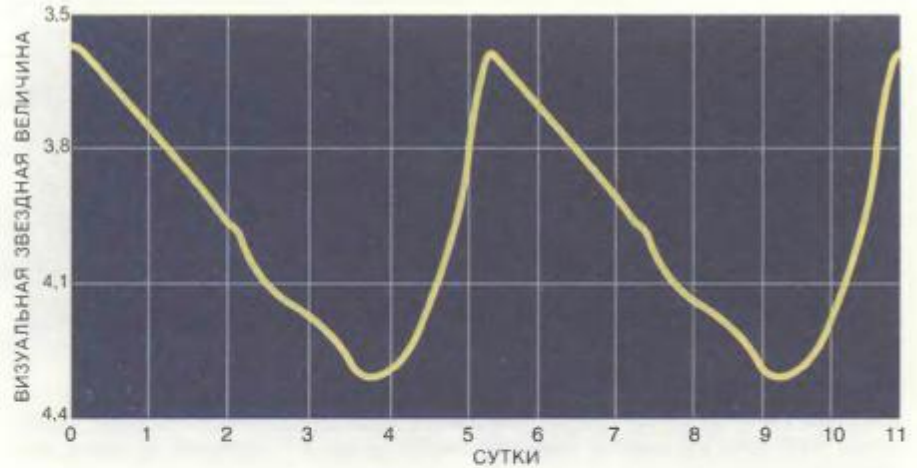
ки. Второй способ — фотографировать звезду и определять ее блеск по размеру ее изображения.

Какой бы метод вы ни использовали, начните с того, что выполните первый ряд наблюдений, близких по времени и охватывающих один-два цикла, чтобы получить приближенное представление о периоде. Затем пропустите несколько циклов и выполните второй ряд наблюдений. Но не откладывайте эти наблюдения на слишком долгое время: если произведение числа циклов на неопределенность периода равно одному периоду, вы ошибетесь при подсчете периодов на целый цикл. Сделайте еще один перерыв, равный нескольким периодам, прежде чем приступить к третьему ряду измерений. Этот процесс можно повторять многократно. Зная число циклов между последовательными рядами наблюдений, можно «сфазировать» различные ряды наблюдений, чтобы уточнить значение периода. Для этой цели я пользуюсь компьютерной программой; ее алгоритм приводится в рамке на с. 82.

Метод наблюдения цефеид невооруженным глазом по своему принципу прост и принадлежит немецкому астроному Фридриху Аргеландеру. Выберите обычные (непеременные) звезды сравнения. Видимые величины звезд сравнения должны охватывать весь диапазон вариаций блеска цефеиды. Звезды сравнения должны находиться как можно ближе к цефеиде на небесной сфере, чтобы каждая звезда сравнения и цефеида были одновременно видны в поле зрения. В идеальном случае звездные величины звезд сравнения должны отличаться на 0,3—0,5<sup>m</sup>. Я обозначаю звезды сравнения в алфавитном порядке по их блеску, причем буквой «а» обозначается самая яркая звезда.

При наблюдениях определите, между какими двумя звездами сравнения заключен блеск цефеиды. Затем попытайтесь оценить с точностью до десятой доли блеск цефеиды в выбранном интервале. Таким образом, если, согласно вашей оценке, звездная величина цефеиды составляет 0,4 в интервале между звездами сравнения b и c, запишите b4c (это стенографическая запись наблюдателей цефеид). Путем интерполяции между известными звездными величинами звезд сравнения b и c можно вычислить звездную величину цефеиды.

Конечно, достаточно близко к переменной звезде может не оказаться подходящих звезд сравнения. В таком случае вам придется для оценки относительного блеска переводить взгляд с одной звезды на другую. Зрительная память очень кратковременна; когда



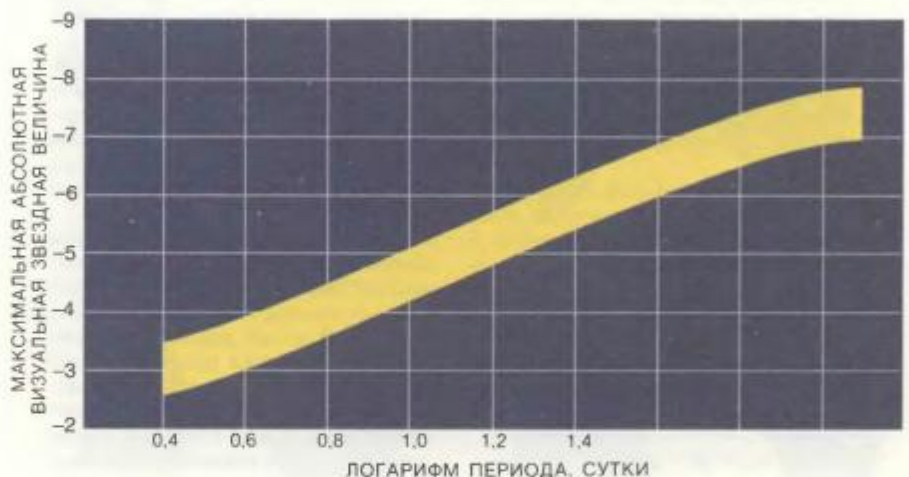
**КРИВАЯ БЛЕСКА** дельты Цефея показывает, что звезда изменяет свой блеск примерно на одну звездную величину за период около пяти дней.

вы перевели взгляд на вторую звезду, глаз уже «забыл», каким был блеск первой звезды. Кроме того, определение блеска затрудняется мерцанием звезд. Но, несмотря на это, потренировавшись, можно усовершенствовать свои способности определения блеска. Располагая всего тремя уровнями блеска, можно определить период переменной с приемлемой точностью.

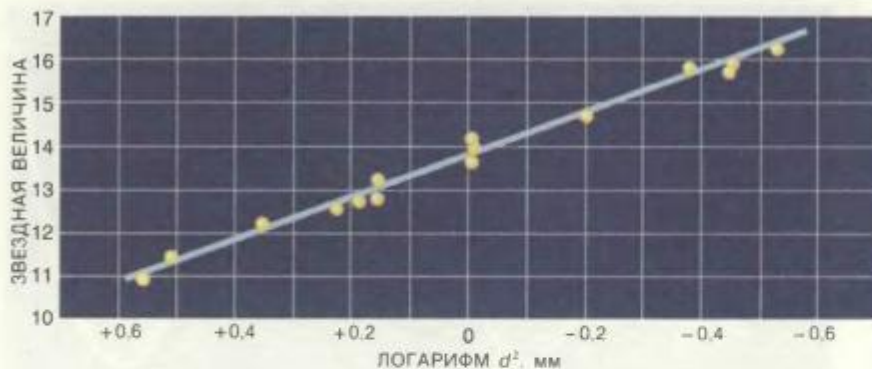
Потренируйтесь на  $\delta$  (дельта) Цефея, звездная величина которой в максимуме блеска 3,48<sup>m</sup>, а в минимуме — 4,37<sup>m</sup>. Найдите с помощью карты звездного неба звезду  $\beta$  (бета) Цефея (звездная величина 3,23<sup>m</sup>) и используйте ее в качестве звезды сравнения а. А в качестве звезды сравнения b выберите  $\epsilon$  (эпсилон) Цефея со звездной величиной 4,19<sup>m</sup>. Наблюдайте  $\delta$  Цефея каждую ночь в течение недели или двух, регистрируя момен-

ты наблюдений и блеск относительно звезд сравнения а и b. Если блеск  $\delta$  Цефея приходится точно на середину интервала между а и b, просто запишите а5b. По этим трем значениям можно приблизительно оценить период. Немного практики и, если повезет с погодой, вы сможете уточнить свои оценки. Если в вашей местности трудно наблюдать  $\delta$  Цефея, в «Астрономическом альманахе» можно найти другие цефеиды и звезды сравнения.

Более точный метод регистрации блеска цефеид — фотографический. Поскольку фотопленка регистрирует объекты, недоступные невооруженному глазу, можно выполнить фотографические измерения цефеид, не приведенных в «Астрономическом альманахе». Для этого понадобится фотокамера, установленная на телескопе, и часовой механизм, позволяющий телескопу следовать за видимым



**ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРИОД-СВЕТИМОСТЬ** для цефеид типа I, показанная здесь для оптического диапазона спектра, помогает астрономам измерить расстояние до цефеид. Каждому периоду соответствует свой определенный диапазон абсолютных звездных величин, что обусловлено различием физических параметров цефеид.



**КАЛИБРОВОЧНАЯ ПРЯМАЯ** для снимка звезд рассеянного звездного скопления NGC 6940 связывает диаметр изображения  $d$  с видимой звездной величиной.

движением звезд по небесной сфере.

Типичное время экспозиции  $\delta$  Цефея с небольшим телескопом составляет около 10 с. Следует, однако, сделать несколько снимков с различными экспозициями и выбрать наиболее подходящую. Рекомендую самим проявлять пленку, чтобы соблюдался один и тот

же процесс при каждом проявлении.

На пленке интенсивность излучения звезд определяется размерами изображения: чем ярче звезда, тем больше ее изображение. Таким образом, нужно установить соответствие между диаметром изображения и звездой, звездная величина которой известна (звезд-

ные величины опубликованы в «Астрономическом альманахе» и других справочниках). В курсе астрономии, который я читаю, я учу своих студентов этой задаче на примере рассеянного звездного скопления NGC 6940. Для измерения изображений 15 звезд скопления на увеличенном отпечатке я пользуюсь компаратором с 12-кратным увеличением (по сути лупой). Компаратор снабжен сеткой нитей с линейной шкалой и ценой деления 0,1 мм. Размеры изображений можно измерить с точностью до нескольких сотых миллиметра.

График зависимости звездных величин этих звезд от логарифма квадрата диаметра представляет собой прямую линию (см. рисунок сверху). Построив такой график, можно найти звездную величину любой звезды, в том числе и цефеиды, в поле зрения. Нужно просто измерить диаметр изображения и по калибровочному графику определить звездную величину. Таким способом следует калибровать каждый снимок.

Не исключено, что звездные величины нужных вам звезд не приведены ни в одном справочнике. Тогда нужно откалибровать эти звезды по звездам с известными звездными величинами. Причем вторичную калибровку достаточно выполнить только один раз. По таким вторичным стандартам можно измерять блеск цефеиды.

Чтобы обеспечить высокую точность вторичных стандартов, необходимо принять меру предосторожности. Во-первых, экспозиция всегда должна быть одна и та же. Во-вторых, снимайте на один и тот же рулон пленки, чтобы использовать один и тот же проявитель и время проявления. В-третьих, работайте с негативными отпечатками, так как легче измерять темное изображение на светлом фоне, а не наоборот. Наконец, необходимо исправить измерения с учетом различного оптического пути в атмосфере.

Нужно привести звездные величины к значениям в зените. Для длин волн видимого спектра численная поправка равна примерно  $0,14 (\sec z - 1)$ , где  $z$  — зенитный угол (угол между точкой зенита и сфотографированным полем). Откалибровав снимки подобным образом, можно найти период цефеиды с помощью алгоритма, приведенного в рамке.

Можно построить кривую блеска, нанося звездную величину против фазы. Не забудьте, что меньшие звездные величины, соответствующие более ярким звездам, следует откладывать в верхней части оси ординат. Предпочтительно, чтобы кривые блеска охватывали два полных цикла.

## Определение периода

Я пользуюсь программой, основанной на программе Х. Маррако и Х. Муччо из Национального университета Ла-Платы в Аргентине. Главные особенности алгоритма следующие.

Первый шаг — просто принять некоторый период, исходя из того, что большинство цефеид типа I имеют период несколько суток. Затем вычислите фазу каждого измерения, т. е. определите, в какой точке цикла наблюдалась цефеида в тот момент времени. В противном случае легко ошибиться со значением периода, особенно если сделано всего несколько измерений.

Для определения фазы подсчитайте число полных циклов, начиная от самого первого вашего наблюдения. В математическом виде имеем:  $N$  — целая часть величины  $(t - t_0)/p$ , где  $t_0$  — момент первого наблюдения в юлианских днях,  $t$  — момент следующего наблюдения,  $p$  — принятое вами значение периода. Дробь, оставшаяся после вычитания  $N$ , и есть фаза, т. е.

$$\varphi = [(t - t_0)/p] - N,$$

где  $\varphi$  — фаза в момент  $t$ .

Теперь, когда известна фаза для каждой точки данных, определите разброс или, иными словами, стандартное отклонение данных. Разбейте весь диа-

пазон фаз, скажем на 10 интервалов, и посмотрите, сколько точек попадает в такой интервал. Допустим, в интервал от 0,1 до 0,2 попало три точки. Вычислите их стандартное отклонение. Повторите эту процедуру для каждого интервала, а потом найдите среднее стандартное отклонение для всех 10 интервалов.

Затем следует взять другое значение периода с приращением и повторить вычисления фазы и разброса точек. Будьте осмотрительны: если приращение слишком велико, то можно не заметить правильное значение. С другой стороны, если это приращение слишком мало, потребуется много времени, чтобы найти правильное значение.

После того как будет охвачен весь диапазон значений периода, проанализируйте разброс и определите минимальное стандартное отклонение. Выберите небольшой диапазон значений периода около этой точки и поищите более точное значение периода, немного варьируя его. В качестве первого приращения я беру 0,01 сут и уменьшаю в 10 раз при каждой последующей итерации. Легко определить, когда следует остановиться, так как разброс будет один и тот же для нескольких последовательных значений. В качестве наилучшего возьмите центральное значение периода.

## Загадочные фигурки из глины; динамика химических связей



ФИЛИП MORRISON

Дениз Шмандт-Бессерат. До появления письменности. Т. I: От счета к клинописи

BEFORE WRITING, Volume I: FROM COUNTING TO CUNEIFORM. By Denise Schmandt-Besserat. University of Texas Press, 1992 (\$60).

СОТНИ глиняных табличек с клинообразными знаками были обнаружены в 30-х годах во время раскопок слоя III «первого и самого главного шумерского города» Урука (библейск. Эрех, на территории современного Ирака). Самые древние из них были написаны за несколько десятилетий до начала 3 тысячелетия до н.э. Система знаков, которыми написаны эти архаические тексты, поражает своей продуманностью. Эта система включала небольшое количество пиктограмм и множество абстрактных символов, не намного отличающихся от тех, которыми написаны шумерские тексты, датируемые 2 тысячелетием до н.э. Например, «овца» обозначалась перечеркнутыми крест-накрест кружками, а «металл» — полумесяцем с пятью черточками.

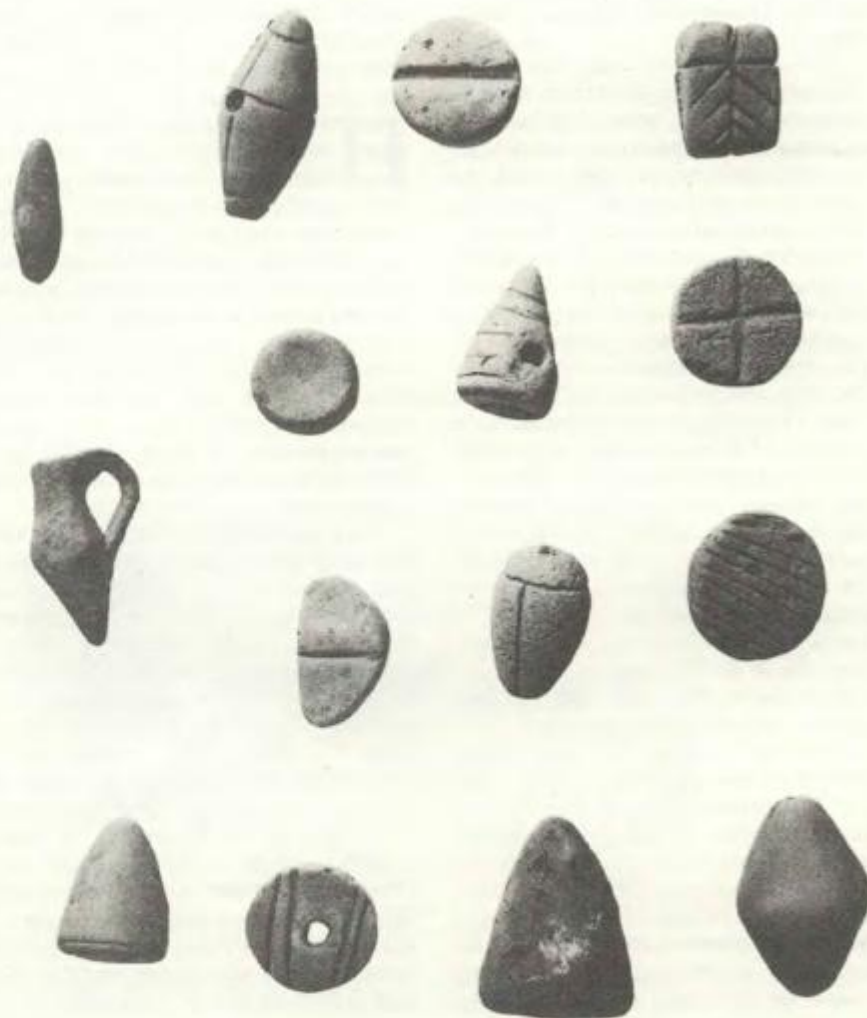
Авторы шумерских эпических поэм по-своему объясняют появление клинописи. Согласно одному из сказаний, богиня Инанна, сестра Гильгамеша — легендарного основателя Урука, получила от отца Энки, бога мудрости, щедрый дар. Захмелевший на пиру Энки подарил ей бесценное *ме* — таблицы судеб, своеобразный каталог культуры всей древней цивилизации, состоящий из 100 элементов. Среди ремесел и искусств, содержащихся в таблицах судеб, было искусство письма. Инанна погрузила *ме* в ладью, на которой она доплыла вверх по реке до Урука. Там были изготовлены чистые глиняные таблички, которые «заговорили» под умелыми руками писцов.

Профессор Шмандт-Бессерат предлагает вниманию читателей скрупулезный и вместе с тем увлекательный археологический «отчет» о том, как на самом деле появилась

письменность. Ею собраны данные по результатам раскопок за последнее столетие в более чем 100 исторических мест, главным образом вдоль реки Иордан, а также по берегам трех рек в южной части Ирака. Интересно, что важнейшим материалом для автора послужили примерно 8000 небольших глиняных фигурок, которые археологи зачастую игнорируют при

раскопках. (Том II ее книги, который здесь не рецензируется, представляет собой каталог огромного числа таких фигурок с указанием места их обнаружения.)

Двадцать лет назад Шмандт-Бессерат, защитив докторскую диссертацию, поступила работать в Институт Бантинга. Она намеревалась исследовать, как жители Ближнего Востока использовали глину в то время, когда еще не существовало гончарного ремесла. Особенно ее заинтересовали указанные глиняные фигурки. Автор замечает, что в каком бы музее мира она ни была, ей везде встречались эти глиняные «безделушки». Это были самые древние предметы из обожженной глины. Многие археологи игнорировали их, а некоторые необоснованно относили их к амулетам или игральным «камешкам». Шмандт-Бессерат назвала эти предметы символами. Своего рода «Розеттский камень», который мог



Счетные фигурки из Урука (Южная Месопотамия территория современного Ирака), датируемые 8000 — 3500 гг. до н. э.

бы служить ключом для расшифровки этих символов, был обнаружен в конце 50-х годов, однако он еще не был прочитан полностью. Эта удивительная находка представляет собой глиняную дощечку с полостью, в которой находились, согласно клинописи на самой табличке, «камешки» для подсчета овец и ягнят. К сожалению, самих камешков в табличке не было. Вторая полая табличка была обнаружена в Сузах в 1966 г. Об этой находке сообщил Пьер Амье (учитель Шмандт-Бессерат) из Лувра. Табличка была намного старше и содержала в себе счетные «камешки» — глиняные фигурки, которые Шмандт-Бессерат позже встречала в большом количестве в музеях, где они лежали на полках без всякого контекста. Разгадка пришла в 1970 г. «Я не читала статьи Амье, когда начала коллекционировать глиняные символы, — пишет Шмандт-Бессерат. — И я не могла поверить своим глазам, когда увидела маленькие глиняные конусы, шарики и тетраэдры в иллюстрациях Амье». Назначение фигурок стало сразу понятным.

Эти фигурки представляли собой «общий код». Они являются идеальными символами, если не принимать во внимание их трехмерность. Система этих долговечных и дешевых фигурок была открытой, поскольку допускала появление новых форм. Сами фигурки служили для хозяйственного счета в деревнях на Ближнем Востоке, и этот способ счета был на удивление свободен от каких-либо региональных вариаций вплоть до того времени, когда начали появляться города. Поначалу в употреблении было не более 25 фигурок, но потом, с появлением письменности, наступила вторая, более сложная фаза, которая связана с появлением полых глиняных табличек, которые сегодня можно было бы назвать глиняными конвертами. Известно примерно 150 таких табличек, датируемых в основном после 4000 г. до н.э. Почти все они покрыты повторяющимися печатями — своеобразная подпись, свидетельствующая о том, что содержимое «конверта» хранилось в секрете. В настоящее время вскрыто совсем немного таких «конвертов», чтобы проверить их содержимое (рентгеновский метод пока не дает хороших результатов). Число фигурок внутри «конверта» поначалу было невелико — в среднем около 9. С развитием же торговли совершенствовались как «конверты», так и сами счетные фигурки, число которых значительно возросло. Многие из них были изготовлены в форме крошечных кушачиков с ручками, чаш и даже уток

чек со связанными ножками.

Возможно, самые древние примеры счета относятся к верхнему палеолиту, когда наши далекие предки отмечали зарубкой на кости каждый прошедший день лунного месяца. Счетные фигурки шумеров были трехмерными символами, причем тот или иной товар подсчитывался с помощью набора идентичных фигурок. Природа и количество оставались пока неразделенными.

Новый шаг в развитии счета представлен шумерскими табличками, созданными незадолго до появления письма. Новшество состояло в том, что счет стал абстрактным — на смену счетным фигуркам пришли «двухмерные» числа, записываемые на табличках. Арифметика уже не сводилась к подсчету дней или уток, поскольку ее главным элементом стало абстрактное число.

ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ: СТРУКТУРА И ДИНАМИКА. Под редакцией Ахмеда Зевейла.

THE, CHEMICAL BOND: STRUCTURE AND DYNAMICS, edited by Ahmed Zewail. Academic Press, 1992 (\$24.95)

НЕСОМНЕННО, химия — это наука о структурах: двойная спираль и бензольное кольцо могут служить ее символами. Но все структуры изменяются как во времени, так и в пространстве. Поэтому помимо самих структур второй основной стороной этой науки являются исследования реакций — процессов изменения химических структур. Но есть в химии и еще одна фундаментальная составляющая — это сами ученые-химики. В этой замечательной книге рассматриваются все эти три аспекта.

Авторы книги — 9 известных химиков из Северной Америки и Великобритании, есть из них — лауреаты Нобелевских премий, причем один из авторов — Лайнус Полинг — дважды отмечен этой высокой наградой: в 1954 г. ему была присуждена Нобелевская премия по химии, а в 1962 г. — Нобелевская премия мира. Это замечательное издание вышло в свет по случаю проведения симпозиума в феврале 1991 г., когда Калифорнийский технологический институт отмечал 90-летие со дня рождения Полинга. Девять глав книги написаны языком, доступным для широкой читательской аудитории, интересующейся наукой, и включают в себя личные воспоминания, иллюстрации, фотографии, а также биографические данные о самих авторах.

Глава, написанная Лайнусом Полингом, начинается с его воспомина-

ний о том, как в 12-летнем возрасте он увлекался минералами. Когда ему исполнилось 18, его приняли на работу ассистентом на кафедру количественного анализа Орегонского сельскохозяйственного колледжа, где он стал вести один из двух семинаров. На одном из этих семинаров преподаватель рассказывал о холодильных установках для замораживания рыбы, Полинг же знакомил студентов с электронной теорией химических связей, с которой он сам познакомился по работам Льюиса и Ленгмюра и которая весьма заинтересовала его. Вскоре он сам ставит эксперименты с кристаллами железа, помещая их в магнитное поле. Хотя эти эксперименты не дали положительных результатов, они зародили в молодом исследователе интерес к кристаллографии. Профессор Артур Нойз из Калифорнийского технологического института предлагает Полингу, который только что стал преподавать в этом институте, заняться исследованиями в области рентгеновской кристаллографии.

В течение более 10 лет Полинг изучал дифракционные изображения неподвижных монокристаллов (лауэ-грамм), которые он сам получал с помощью рентгеновских лучей. Кроме того, он продолжал изучать природу химических связей с позиций квантовой химии. В этом ему помогли знания квантовой механики, которые он получил в 1926 — 1927 гг. в университетах Мюнхена, Копенгагена и Цюриха.

В 1939 г. Полинг опубликовал свои знаменитые лекции о природе химических связей, в которых был дан их самый глубокий на тот день анализ. Эти лекции, в которых особая роль отводилась квантовой химии, пробудили у многих исследователей интерес к квантовомеханическому подходу.

В статье Полинг также рассказывает о своих дальнейших исследованиях, в частности в области биохимии и иммунохимии. Однако этот рассказ ведется не только в прошедшем времени. Ученый приводит результаты новых экспериментов, подтверждающие его представление о том, что «межметаллические» квазикристаллы на самом деле являются гораздо более простыми двойными структурами. И, возможно, в свой 91 год Полинг опять прав.

Другие главы книги не менее интересны, поскольку написаны такими известными учеными, как Макс Перуц (биохимик), Фрэнсис Крик и Макс Дельбрюк (молекулярные биологи), Джордж Портер и Джон Полани (химики).

## Охлаждающий звук

**П**ОСЛЕ нескольких лет, потраченных на разработку бесшумных холодильников, изготовители бытовых электроприборов могут обратиться к шуму как средству охлаждения в рефрижераторах следующего поколения. Физик, ставший предпринимателем, разработал действующий без смазки звуковой компрессор, который, судя по всему, будет более эффективным с точки зрения энергопотребления, чем обычный компрессор, и который может использовать хладагенты не на основе хлорфторуглеродов (ХФУ), уничтожающих озон.

Тимоти Лукас, президент компании Sonic Compressors Systems в Глен-Аллене (шт. Виргиния), считает, что изобретенный им компрессор окажется как раз таким, который ожидает получить отрасль бытовой электроаппаратуры в преддверии появления строгих ограничений на использование ХФУ и требований в отношении энергоэкономичности. По словам Лукаса, его недавно созданная компания построила действующие опытные образцы и в настоящее время готовится заключить контракт с одной из ведущих фирм, производящих холодильники. В начале 1993 г. он надеется продемонстрировать работу своего устройства в домашнем холодильнике.

Перспективность нового устройства объясняется тем, что им можно легко заменить компрессор обычного холодильника, не прибегая ни к каким дорогостоящим операциям. «Кроме того, мы сможем выпускать новые компрессоры по умеренным ценам», — заявил Лукас. Помимо того что предполагаемое повышение экономичности энергопотребления составит 30–40% по сравнению с существующими компрессорами, производители смогут сэкономить немалые средства за счет того, что им не нужно будет прибегать к дорогостоящим способам экономии энергии, таким, как изготовление толстых изолирующих прокладок, добавление более емких теплообменников и использование более мощных вентиляторов.

В обычных компрессорах, используемых в холодильниках, сжатие охлаждающего газа, как правило, производится с помощью поршня или рабочего колеса. Поскольку холодильники рассчитаны на безотказную работу в течение 15–20 лет, компрессоры должны работать со смазкой, чтобы предотвращать их чрезмерный износ. Причем смазочный материал и

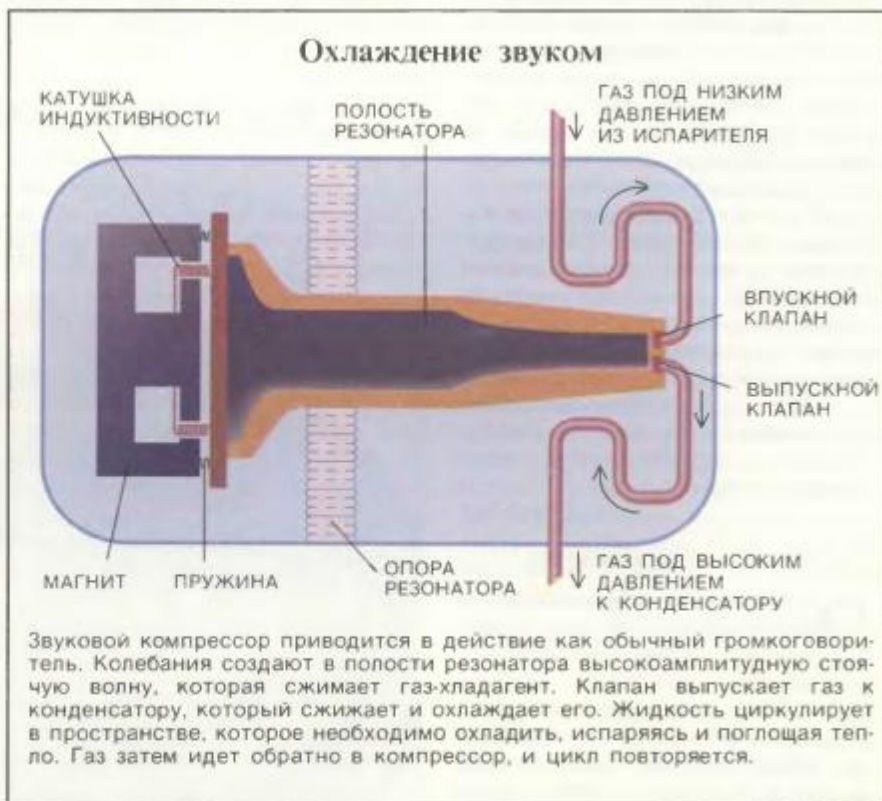
хладагент должны быть «совместимыми». Наилучшая совместимость достигается при использовании минеральных масел и хладагента ХФУ-12, который к 1996 г. может быть снят с производства. В качестве его заменителя химическая промышленность в настоящее время осваивает производство гидрофторуглерода ГФУ-134а, который, как полагают его разработчики, не будет оказывать разрушающего влияния на атмосферный озон и содействовать развитию парникового эффекта.

Некоторые специалисты в области холодильной техники выражают беспокойство по поводу того, что смазочный материал, совместимый с новым хладагентом, не удастся разработать в ближайшее время. Фирмы, производящие бытовые холодильники, пытаются применить для этих целей масла на основе сложных эфиров, но полученные до сих пор результаты лабораторных испытаний не обнадеживают. «Смазочные свойства [нового материала] не столь хороши, как у минеральных масел», — говорит Карл Оффут, главный менеджер по техническим вопросам корпорации Whirlpool. Кроме того, как он отмечает, «происходят странные вещи, когда к этому материалу добавляют другие соединения для улучшения смазочных свойств». С течением времени эфирные масла начинают реагировать с ГФУ-134а и другими масла-

ми, используемыми при изготовлении деталей холодильника, и в результате образуются воскообразные массы, которые закупоривают трубки в системе охлаждения. Эти масла могут также реагировать с водой, разрушая тем самым внутренние части холодильной камеры; по этой причине холодильники нужно изготавливать в среде, абсолютно лишенной влаги.

Что же касается компрессора Лукаса, то ему не нужна никакая смазка, а это означает, что нет необходимости учитывать возможные неблагоприятные последствия ее присутствия при поиске подходящего хладагента. Звуковой компрессор представляет собой трубку сложной конфигурации, которая работает как объемный резонатор для хладагента. Резонатор целиком передвигается взад-вперед на 50 мкм вдоль своей оси с частотой около 340 Гц. Эти колебания создают стоячие волны в полости резонатора. Благодаря особой конструкции полости создаваемые в ней стоячие волны самоусиливаются и поэтому перепады давления в трубке довольно большие. Если говорить о звуковом давлении, то его амплитуда составляет около 200 дБ, но компрессор при этом все равно остается бесшумным, поскольку масса трубки препятствует распространению звука наружу. Сжатый хладагент через клапан подается в трубку, по которой он циркулирует.

Самая большая проблема, с которой пришлось столкнуться Лукасу при разработке своего компрессора, заключалась в том, чтобы исключить



возникновение ударных волн в полости, которые поглощают энергию, выделяя ее в виде тепла, и тем самым ограничивают сжатие. Попробуем решить эту проблему, Лукас в течение года проработал в Лос-Аламосской национальной лаборатории вместе со специалистом по акустике и рабочим циклам двигателей Грегори Свифтом. «Чтобы исключить это нежелательное явление, нужно было придумать особую геометрию трубки», — сказал Лукас. Благодаря этой форме, высшие гармоники, вызывавшие ударные волны, взаимодействовали друг с другом, и в результате оставалась только основная частота.

Для промышленности, которой известно, насколько опасным бывает переход на новую технологию, внедрение компрессора принципиально новой конструкции может показаться рискованным. Достаточно вспомнить о многих бедах, которые пришлось пережить компании General Electric в 1980-х годах, когда она стала внедрять ротационные компрессоры. После того как компания запустила их в производство, она обнаружила дефекты в конструкции компрессоров; по некоторым оценкам компании пришлось затратить 450 млн. долл., чтобы остановить их производство. Но Лукас спокоен. «Это скорее не техническая проблема, а проблема управления», — заметил он.

У компаний, производящих холодильники, могут быть и другие альтернативы, если они не в состоянии без больших производственных затрат удовлетворить жесткие требования стандартов на экономичность или найти смазочный материал, совместимый с ГФУ-134а. Производители могли бы удовлетворить нормы по экономичности на 1993 г. путем реконструкции существующих узлов холодильников. Однако проблема совместимости смазочного материала остается довольно острой. Один из специалистов считает, что производители могли бы в конце концов сократить гарантийный срок службы холодильников, если проблема смазки не будет решена. Главная проблема заключается все же в том, чтобы холодильник с новым компрессором охлаждал продукты.

Филип Ям

### Перехват информации

ОСНОВОЙ биотехнологической индустрии в 1970-х годах послужило открытие того, что живые клетки получают инструкции при посредстве гормонов и факторов роста. В то время о таких белках, как инсулин и эритропоэтин, мало кто говорил как о «первичных мессенджерах» (от англ. messenger — посланник). До-

статочно было знать, что эти белки вызывают изменения в клетках путем связывания с рецепторами в клеточной мембране и что производство их в большом количестве может обеспечить лечение диабета и анемии.

Сегодня новое поколение биотехнологических компаний интересуется внутриклеточными коммуникационными путями, активирующимися после взаимодействия поверхностных рецепторов с внешними сигнальными агентами. При связывании соответствующего лиганда рецептор изменяет свою конфигурацию. Это изменение стимулирует образование так называемых вторичных мессенджеров, которые в свою очередь передают сигнал другим химическим посредникам внутри клеток. Этот процесс передачи сигнала открывает подходы к лечению астмы, артрита, рака, псориаза, сердечно-сосудистых, аллергических и других заболеваний. «Теперь ясно, что многие болезни являются результатом функциональных нарушений в путях передачи сигналов», — отметил А. Олтшул, руководящий планированием в фирме Sugen в Редвуд-Сити (шт. Калифорния).

Ряд фирм, в том числе Ariad, Cadus, Onyx, Sphinx и Sugen, предполагают производить низкомолекулярные соединения, блокирующие или имитирующие действие вторичных мессенджеров либо их реципиентов. Есть серьезные основания считать, что в системах передачи сигналов найдутся многочисленные участки, чувствительные к фармацевтическому воздействию, даже если эти сигналь-

ные пути еще мало изучены. «Мы пытаемся разгадать невероятно сложную систему переноса и переключений, впрямую изучая некоторые ее участки», — заявил Г. Купер, исполнительный вице-президент компании Sphinx в Дареме (шт. Северная Каролина). — На языке стрелочников, мы только начинаем разбираться в переключателях и расписании движения».

Подход компании Sphinx нацелен в основном на липиды (жиры), формирующие клеточные мембраны. «Это особенно привлекательное направление исследований», — подчеркнул Купер, обращая внимание на то, что именно липидами регулируются некоторые ключевые вторичные мессенджеры, такие, как фермент протеникиназа С, участвующий в важных клеточных функциях, в частности при воспалении и пролиферации. Когда фактор роста связывается с рецептором на клеточной поверхности, определенный мембранный липид расщепляется и один из его фрагментов активирует протеникиназу С, перекрывая каскад клеточного деления и воспалительной реакции. «Вот когда разворачивается ад», — говорит Купер.

По мнению сотрудников Sphinx, блокирование сигнальных путей, приводящих к активации протеникиназы С, может обеспечить лечение некоторых болезней, включая такое хроническое кожное заболевание, как псориаз, которым страдают 2,5 млн. жителей США. В октябре прошлого года в Калифорнийском университете в Ирвине должно было начаться экспериментальное лечение больных псо-



ИСТОЧНИК: Ariad Pharmaceuticals

риазом при помощи мази, препятствующей действию протеинкиназы С.

Тем временем компания Ariad разрабатывает лекарства против аллергии и астмы. Поскольку для этих болезней характерны острые приступы, оценить эффективность нового лекарства можно буквально за 15 минут, как заметил один из ведущих сотрудников Ariad Г. Берджер. А вот лекарства против рака требуют длительных испытаний на большом числе пациентов. Фирма получила на это из частных источников 46 млн. долл. — крупнейшая дотация среди биотехнологических компаний.

Начальной целью компании Ariad было найти, что приводит к феномену высвобождения гистамина, хорошо известному больным астмой и аллергией по обусловленным им зуду и воспалительной реакции. Когда в организм попадает аллерген — скажем, цветочная пыльца, — иммунная система начинает вырабатывать антитела к нему. Затем комплекс антитела с аллергеном связывается с рецепторами на поверхности так называемых тучных клеток. При этом изменяется конфигурация внутриклеточного участка рецептора, что приводит к мобилизации резервов гистамина клеткой. «Это подобно тому, как из-за воздействия молнии на дерево изменяются его корни», — сказал один из директоров Ariad Дж. Брюгге.

Вещество, предотвращающее взаимодействие измененных «корней» рецепторов тучных клеток с внутриклеточными компонентами, инициирующими выброс гистамина, может оказаться эффективным средством от аллергии. В Ariad намерены начать испытания такого лекарственного препарата на человеке в ближайшие годы; расчет, помимо всего прочего, в том, что эти работы помогут создать другие подобные лекарства. «Результаты изучения тучных клеток, возможно, приложимы и к другим клеткам иммунной системы, включая Т- и В-лимфоциты, — заявил Берджер. — Уже обнаружено немало сходных черт». По его мнению, здесь путь к лечению ревматоидного артрита и других заболеваний.

Некоторые исследователи сосредоточили свой интерес на механизмах внутриклеточной передачи информации, включающей перенос электрически заряженных химических групп от одной белковой молекулы к другой. Вторичные мессенджеры часто ускоряют такой перенос, осуществляемый специфическими ферментами. Так, протеинкиназы присоединяют к белкам отрицательно заряженные фосфатные группы, а фосфатазы, наоборот, отщепляют их.

При некоторых раковых заболева-

ниях, а также, по-видимому, при независимом от инсулина диабете виновником патологии может быть фермент тирозинкиназа. «Она может играть роль педали газа при росте клеток и поглощении ими глюкозы», — сказал Олтшул. Способность этого фермента к переносу фосфатных групп может быть критической в процессе передачи информации о росте через клетки. Олтшул отмечает также, что фосфатазы могут действовать как тормозные педали.

Исследователи из Sugen анализировали ткани, поражаемые при различных заболеваниях, в поисках рецепторов, отсутствующих или несколько измененных в соответствующих нормальных тканях. Такие рецепторы, возможно, участвуют в развитии болезни. Если они обладают активностью тирозинкиназы, то предполагается найти противодействующую фосфатазу или другое средство «выключения» процесса. Через два года Sugen планирует приступить к испытаниям лекарств, основанных на таком подходе.

Следуя той же логике, компания Cadus в Нью-Йорке пытается подавлять перенос химических групп, сопровождающий взаимодействие рецепторов с так называемыми G-белками. Как поясняет ведущий сотрудник Cadus и ее родительской компании ImClone С. Уоксал, фоторецепторные молекулы глаза действуют на G-белки: «В глазу единичный фотон света активирует рецептор. Затем белки, связывающие гуанозинтрифосфат, инициируют сигнальный каскад с усилением, так что в итоге вы видите свет». По его словам, таким же путем могут развиваться воспалительная и аллергическая реакции и многие другие клеточные ответы на единичные молекулы. А вот когда сигнал не обрывается, возможно возникновение хронических заболеваний. В планы Cadus входит блокирование определенных стадий процесса внутриклеточной передачи, а именно метилирования и пренилирования, благодаря которым G-белки сопряжены с рецепторами.

Известно много регуляторных белков в составе сигнальных путей от клеточной мембраны к ядру, как отмечает Ф. Маккормик, вице-президент компании Опух в Ричмонде (шт. Калифорния), отделившейся от фирмы Chiron и ставшей своей целью создание лекарств от рака на базе элементов сигнальных путей. «Мы интересуемся тем путем, к которому имеют отношение гены *ras*, кодирующие тирозиновую и другие киназы», — сказал Маккормик. При многих раковых заболеваниях мутации в одном из генов *ras*, участвующих

в регуляции роста нормальных клеток, превращают его в активную форму, что приводит к гиперактивации сигнальных путей. «Нацеленные на *ras* препараты наверняка будут тормозить рост опухолей, — предполагает Маккормик. — Неизвестно, правда, насколько. Может быть, опухолевые клетки погибнут, но не исключено, что перейдут в латентную форму на время присутствия лекарства».

Маккормик допускает, что инактивация сигнальных путей, которые используются нормальными клетками, ставит проблему потенциальных пагубных эффектов таких лекарств в здоровых тканях. Но эксперименты на мышцах с разнообразными злокачественными опухолями показывают, что инактивация генов, ответственных за деструктивные пути, не причиняет вреда организму. «Похоже, что нормальные клетки имеют обход», — говорит он. Первые многообещающие результаты исследований сигнальных путей побуждают ученых идти этой дорогой, которой они, может статься, и не пошли бы.

Дебора Эрикссон

## Искусственный интеллект и новые лекарства

ЕСЛИ в первый раз у вас не получилось, попытайтесь еще и еще раз: таково правило у тех, кто создает новые лекарства. Иногда интуитивный, основанный главным образом на методе проб и ошибок, процесс обычно требует анализа от 20 до 40 тысяч химических соединений, прежде чем будет найдено то единственное, которое может считаться перспективным. А из каждых 4 тысяч признанных перспективными соединений не более одного будет использовано для создания коммерческого лекарства. Чтобы упорядочить этот полный случайностей процесс, биохимики на протяжении последних десяти лет пытаются разрабатывать медицинские препараты, точно направленные на определенные цели, такие, как рецепторы на поверхности клеток.

Пока основанные на компьютерных программах подходы к «рациональному» поиску лекарств еще не дали тех результатов, на которые надеялись исследователи. Чаще всего эти методы основаны на изображении молекулы в предположительно идеальной ее конфигурации — например, в момент связывания. Поскольку многие компьютерные программы способны учитывать взаимные изменения формы между молекулой и ее рецептором, конструирование лекарств может пойти по ложному пути — создания «идеального» соедине-



ПОВЕРХНОСТИ МОЛЕКУЛ, тщательно анализируемые средствами искусственного интеллекта, могут проявить свойства, которые влияют на их эффективность в качестве лекарственных препаратов. (Фото: Arris Pharmaceuticals.)

ния, которое не может функционировать в организме.

Специалисты из Arris Pharmaceuticals полагают, что системы искусственного интеллекта (ИИ) позволяют в более полной мере использовать преимущества компьютера при поиске новых лекарственных средств. Вычислительные алгоритмы, подобные тем, что помогают наводить на цель американские тактические ракеты, можно модифицировать таким образом, чтобы они распознавали формы химических молекул, как объясняет М. Росс, президент и исполнительный директор этой компании в Сан-Франциско. Точно так же программы, разработанные специалистами по робототехнике для того, чтобы механическая рука двигалась, не наталкиваясь на препятствия, позволяют компьютеру «размышлять» над тем, каким образом молекула входит в контакт со своим рецептором. «Мы не разрабатываем экспертные системы, чтобы заменить биохимиков», — отмечает Росс. — Мы лишь создаем инструменты, помогающие их интуитивному поиску».

В настоящее время компания применяет системы ИИ в своих собственных разработках; сначала они использовались для оптимизации лекарственных препаратов от астмы, а затем для создания принимаемой через рот активной формы эритропозтина, стимулятора красных кровяных клеток. «Компьютер должен помочь нам в выборе объектов синтеза на ранней стадии, так чтобы мы занимались

лишь 10% того количества молекул, которые нам пришлось бы анализировать в отсутствие компьютеризованной системы», — говорит Росс.

В процессе работы с системой исследователи заносят в компьютер описание молекул и результаты их активности в биологических пробах. Компьютер анализирует данные, чтобы определить общие свойства соединений, которые «работают», и отличия от тех соединений, которые «не работают». Затем ученые учитывают результаты компьютерного анализа на следующей стадии экспериментов, постоянно расширяя информационную базу поиска. «Люди просто не в состоянии запомнить все данные, которые они просмотрели», — говорит Т. Лозано-Перес, специалист по компьютерному зрению и робототехнике из МТИ, работающий консультантом в компании Arris. — Алгоритмы обучения машины найдут общие закономерности во всех этих данных».

Привлекая компьютеры для анализа экспериментов, специалисты из компании Arris надеются, что сумеют более детально моделировать молекулы. «В большинстве компьютерных представлений лекарственных веществ внимание концентрируется на нескольких точках, расстояниях и углах между ними», — объясняет Лоренцо-Перес. — Мы пришли к выводу, что для приемлемого описания молекулярных свойств необходимы данные не меньше чем по 100 точкам». Такие атрибуты, как моле-

кулярный заряд и гидрофобность, приносят дополнительную размерность, трудно воспринимаемую человеком, но легко учитываемую в компьютерных моделях.

Ученые из компании Arris считают, что построение детальных карт молекулярных поверхностей позволит им освободиться от установившихся представлений, связанных с тем, как некоторые классы молекул зависят от структурных свойств, таких, например, как «скелет». «Дело не только в том, насколько выступает поверхность в том или ином направлении, но и в том, что находится между выступами», — отмечает Росс.

Ключевой момент в подходе, выбранном компанией Arris, состоит в том, что он позволяет воспользоваться отрицательными результатами. «Когда вы совершаете восхождение на вершину горы, вам полезно было бы узнать, в каких местах путь блокирован лавинами, так чтобы выбрать более подходящее направление. Карта, составленная вами, по крайней мере пригодится вам на следующий раз», — рассуждает Р. Латроп, ведущий специалист по ИИ в компании Arris. Система, создаваемая им совместно с вычислительной группой Arris, будет записывать данные о топографии молекул. «Она будет подсказывать вам: что бы вы ни делали, не допускайте острых выступов, скажем в левую сторону», — говорит он.

В компании надеются, что смогут применить данные, полученные на одном классе молекул, таких, как ферменты, к другим веществам, например лекарственным органическим соединениям, которые можно принимать через рот. «Я думаю, что Arris заработает немало денег», — говорит Ларри Хантер, руководитель группы машинного обучения в Национальной медицинской лаборатории. — Постепенное продвижение вперед приводит к все большему и большему преимуществам. Японцы продемонстрировали это своими достижениями в автомобильной промышленности».

«Если то, что мы делаем, настолько хорошо, насколько мы надеемся, то мы не сможем воспрепятствовать тому, чтобы другие последовали нашему примеру», — говорит Росс. Компания Arris привлекла ведущих ученых, специалистов по машинному обучению и распознаванию образов, однако конкуренты могут воспользоваться опытом и знаниями высококвалифицированных специалистов, каких пока еще немало. В наше время конструкторы, прежде занимавшиеся созданием секретных вооружений, также могут быть привлечены к участию в новом технологическом буме.

Дебора Эрикссон

## Клеточный ответ

СЕГОДНЯ, через десятилетия эпидемии СПИДа более десятка потенциальных вакцин, которые могли бы приостановить распространение заболевания, проходят предварительные испытания. Предстоит установить их эффективность в защите человека от инфекции. Почти все эти препараты направлены на возбуждение антительного ответа на вирус иммунодефицита человека (HIV — от англ. human immunodeficiency virus), вызывающий СПИД. Судя по результатам новых исследований, некоторые люди иногда оказываются устойчивыми к инфекции HIV. Однако способность организма бороться с вирусом, возможно, зависит от совсем другого оружия иммунной системы — так называемого клеточного иммунитета.

Ряд ключевых наблюдений здесь был сделан М. Клеричи и Дж. Ширером из Национального института рака. В статье, опубликованной в журнале «*Journal of Infectious Diseases*» описываются их данные, показывающие что у некоторых людей имеется клеточный иммунитет к компонентам HIV даже в отсутствие антител против этого вируса и признаков самой инфекции. Большинство этих людей, скорее всего, прежде контактировали с HIV, но, как полагают Ширер и Клеричи, их клеточная иммунная защита успешно справилась с инфекцией.

Действительно, у носителей HIV с выраженной инфекцией производящие антитела клетки, по-видимому, сверхстимулируются. Однако те клетки, которые обеспечивают клеточный иммунитет, остаются незатронутыми. Ширер и Клеричи интерпретируют это и другие наблюдения как свидетельство того, что только в случае неудачи со стороны клеточного иммунитета иммунная система начинает производить антитела, которые в конечном счете не могут сдерживать вирус.

Если Ширер и Клеричи правы и существует действенный природный клеточный ответ на HIV, то следует искать такие вакцины, которые бы стимулировали клеточный иммунитет. Это мнение базируется на наблюдениях, свидетельствующих о том, что два вида иммунной защиты — клеточная и антительная — подавляют друг друга.

Хотя работа Ширера и Клеричи привлекла внимание, общественное

мнение еще не готово забыть про антитела. «Мне представляется весьма вероятным, что есть люди, которые контактировали с вирусом, но инфекция у них не развилась, — говорит Д. Хот, руководящий программой по СПИДу в Национальном институте аллергии и инфекционных заболеваний (NIAID), — я допускаю, что Ширер и Клеричи выявляют иммунологическую память о контакте организма с вирусом. Но это ничего не говорит о том, функционален ли клеточный ответ. Здесь возможен просто частичный иммунный ответ на неудавшуюся инфекцию».

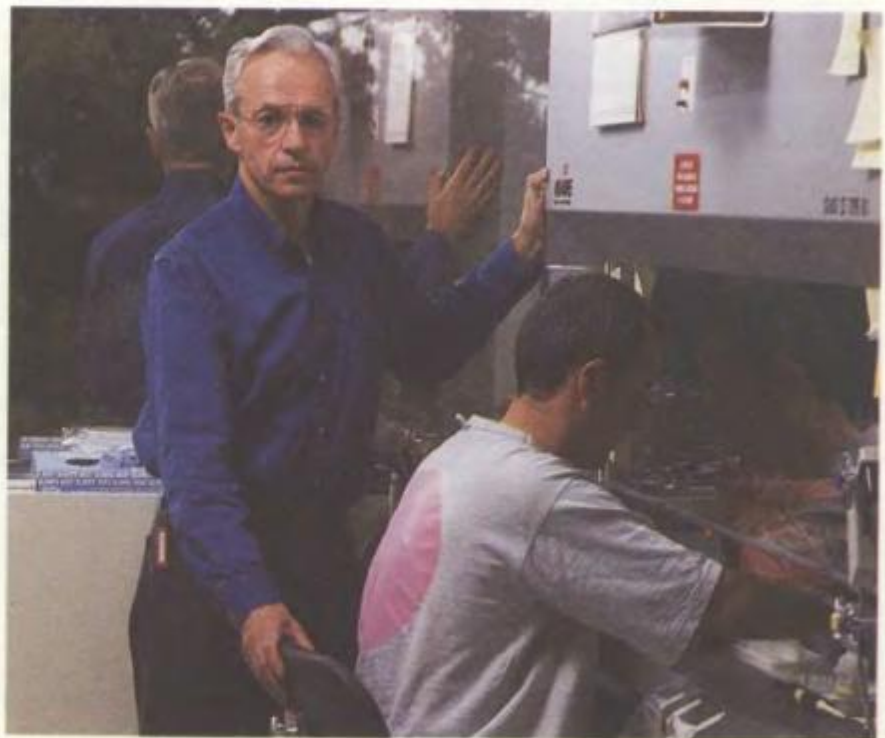
Основу большинства вакцин против СПИДа, безопасность которых сейчас проверяется на здоровых добровольцах, составляют чистые белки, стимулирующие образование антител. Показано, что вызванный вакциной сильный антительный ответ может защищать шимпанзе от HIV. Но остается неясным, возможно ли длительное поддержание адекватного уровня антител и эффективен ли этот подход применительно к человеку.

М. Джонстон, участвующая в руководстве упомянутой программой, отмечает, что даже в вакцинах, обеспечивающих эффективную защиту от других болезней, ключевые для иммунитета компоненты зачастую неизвестны. Исторически сложилось так, что успешные вакцины обычно основаны на живых ослабленных вирусах или на смеси вирусных компонентов, но не на чистых белках. «Быть может, дело в том, что для эффективно-

сти вакцины нужно, чтобы она вызвала не только антительный, но и клеточный ответ», — предполагает она.

Некоторые разработчики вакцин, похоже, согласны с этим: среди новых потенциальных вакцинных препаратов есть направленные на стимуляцию не только синтеза антител, но и клеточного иммунитета. Такие вакцины производятся, например, фирмами Pasteur-Merieux в Лионе (Франция) и Wyeth-Ayerst в Филадельфии; в них используются модифицированные вирусы, несущие компоненты HIV. Эти препараты должны вызывать как антительный, так и клеточный иммунный ответ. Фирма Bristol-Myers Squibb провела клинические испытания вакцины против HIV, основанной на модифицированном вирусе осповакцины, выбранного из соображений безопасности.

Дж. Солк, разработавший в 1950-е годы эффективную вакцину от полиомиелита, сейчас занимается вакциной на основе убитого HIV. Он использовал идею Ширера и Клеричи о клеточном иммунитете. Однако многие исследователи обеспокоены проблемой безопасности вакцин на основе целого вируса. Другие следуют более осторожному подходу, который, как они надеются, тем не менее должен вызывать клеточный ответ. Например, фирма Theron Biologics в Кембридже (шт. Массачусетс) исследует так называемые псевдовироны — образующиеся из белков HIV частицы, которые вызывают лучший иммунный ответ, чем изолированные белки.



ИММУННАЯ СИСТЕМА может быть способной справиться с вирусом СПИДа, как считают Дж. Ширер и М. Клеричи из Национального института рака США.

Во многих случаях передачи HIV клетки слизистых оболочек заражаются в числе первых. Как подчеркивает Джонстон, разработчики вакцин обязаны гарантировать, что их продукция обеспечивает защиту против вируса при половом контакте, а также при внутривенных инъекциях. По результатам ряда экспериментов, лабораторные приматы могут приобретать иммунитет к вирусу иммунодефицита обезьян (SIV), родственному HIV, после вакцинации препаратами на основе целых убитых вирусных частиц — но только тогда, когда вакцина вводится путем инъекции, а интравагинальное введение неэффективно.

У Джонстон нет сомнений в том, что разработку вакцин необходимо форсировать, несмотря на оставшиеся без ответа важные вопросы об иммунном ответе на HIV. «Наша стратегия — следовать прямо в ключевом направлении», — сказала она. К апрелю этого года в США должна начаться вторая фаза клинических испытаний вакцинных препаратов против СПИДа, а именно оценка их безопасности в группах риска. «Следует с разумной остротой продвигаться вперед как можно быстрее, — считает Джонстон. — Мы не собираемся дожидаться ответов на все вопросы».

Тим Бердсли

Эссе

## Проект-21: Сбалансированное развитие



ДЖЕРАЛД ПИЛ

**П**ОСЛЕ того как главы 178 представителей в ООН произнесли свои вступительные речи, в нью-йоркской штаб-квартире ООН начала свою работу 47 Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций. Темой обсуждения послужил Проект-21, принятый на Конференции ООН по защите окружающей среды и развитию человечества, проходившей в первой половине июня в Рио-де-Жанейро. Существует большая вероятность того, что положения Проекта-21 будут обсуждаться на многих будущих Генеральных Ассамблеях ООН — если вообще существует вероятность выживания человечества.

В сорока главах Проекта-21 излагаются меры, необходимые для сбалансированного развития человечества. По существу Проект-21 является программой экономного использования ресурсов, с такой расточительностью разбазариваемых человеком. Вместе с рассмотрением большого числа проблем, знакомых специалистам по охране окружающей среды, таких, как проблема сохранения озонового слоя атмосферы, проблемы глобального потепления, уничтожения лесов, наступления пустынь, эрозии почвы, биологических изменений, в Проекте также говорится и о необходимости принятия мер, направленных на прео-

доление нищеты, детской смертности, недоедания, эпидемий, неграмотности и других бедствий, способных привести к вымиранию еще одного ресурса нашей планеты — ее человеческой популяции.

В Проекте-21, согласованном с ООН, говорится о действиях, необходимых для того, чтобы сделать планету способной поддержать и прокормить население, которое к концу следующего века вырастет до 10 млрд. человек. После этого необходимо будет предпринять меры для поддержания и стабилизации того количества народонаселения, которое будет в то время. В каждой главе Проекта-21 рассматриваются и оцениваются основные действия, необходимые для выполнения каждой из этих задач. По замыслу авторов Проекта, денежные средства для их выполнения нужно собрать со всех государств независимо от того, развитое оно или развивающееся. От степени развития государства будет зависеть только сумма его вклада. В главах, посвященных технологическим проблемам, авторы подсчитывают стоимость каждой технологии, необходимой для решения поставленных задач.

Авторы Проекта подсчитали, что общая сумма составляет 600 млн. долл. Такую сумму государствам следует вкладывать ежегодно до того мо-

мента, пока процесс не станет необратимым. Общий вклад развивающихся стран будет достигать трех четвертей от общей ежегодной суммы, но этот вклад будет осуществляться в основном в виде сырьевых ресурсов и рабочей силы. На долю развитых стран останется 125 млн. долл., на которые они в основном должны будут поставить базовые технологии.

Принятие Проекта-21 конференцией в Рио-де-Жанейро не накладывает обязательств ни на одно государство. Он содержит меньше требований, чем две конвенции по защите окружающей среды, подписанные главами 110 государств во время встречи на высшем уровне по проблемам планеты Земля, состоявшейся в конце конференции. После ряда возражений со стороны США подверглась сокращению конвенция, посвященная проблеме глобального потепления. Она превратилась в немногим более чем просто декларацию намерений. А на Конвенции по биологическим изменениям президент США не поставил своей, такой важной, подписи. Тем не менее Проект-21 должен значить больше, чем торжественные обещания содружества наций, иначе и они могут сойти на нет.

Проект-21 посвящен только проблеме приспособления человечества к уменьшающемуся количеству ресурсов планеты. В Проекте логически доказывается, что по крайней мере эта цель достижима и конечна.

В развитых странах промышленная революция так увеличила материальное благополучие граждан, что рост народонаселения резко сократился. Люди уверены в том, что их первенцы выживут и принимают решение не иметь больше детей. Взрыв роста народонаселения в развивающихся странах говорит о начале в них промышленной революции. Внедрение в этих странах всеобщего образования, превентивной медицины, понятий о санитарии, а также начавшаяся там зеленая революция — все это привело к увеличению продолжительности жизни в этих странах.

Цифры свидетельствуют, что сейчас процент прироста населения планеты снизился относительно тех 2%, которых он достиг в 1970 г. В некоторых странах, особенно в Индии и Китае, рост дорожания снижается, так же как и показатели смертности детей до 5 лет.

Важной чертой Проекта-21 является то, что мир шел к нему на протяжении пятидесяти лет. После второй мировой войны и образования ООН безопасность означала экономическое развитие. В 1948 году в четвертом пункте своей инаугурационной речи

президент Гарри Трумен призвал своих соотечественников применить План Маршалла, с которого началось послевоенное восстановление Европы, и в отношении слаборазвитых стран. В 1951 г. группа экспертов специально для Генеральной Ассамблеи ООН подсчитала, что если развитые страны будут ежегодно до конца столетия и на концессионных условиях выделять 1% валового национального продукта (ВНП) слаборазвитым странам, то это поможет им быстрее встать на путь промышленной революции.

В 1961 г., даже после того как наступление холодной войны сделало синонимом безопасности контроль за вооружением, Джон Кеннеди прибыл на Генеральную Ассамблею ООН для того, чтобы объявить 60-е годы «десятилетием развития» и передать 1% ВНП своей страны на нужды слаборазвитых стран. Но впоследствии, когда все поняли, что 60-е годы точнее было бы назвать «десятилетием разочарований», промышленные страны решили, что реальнее будет выделять на экономическое развитие этих стран сумму, составляющую 0,7% от их общего ВНП. Но эти общие обещания «верхов» не воплотились в жизнь.

В 70-е годы после ряда шокировавших всех повышений цен на нефть государств, входящих в ОПЕК, слаборазвитые страны воспряли духом и потребовали введения нового международного экономического порядка. Развитым странам вменялось в обязанность не только выполнить свои обещания по экономической помощи, но также и пересмотреть условия торговли, по которым дешевые ресурсы слаборазвитых стран (начиная с нефти) обеспечивали длительное развитие промышленности развитых государств. Но из этих общих угроз «снизу» ничего не вышло.

По мнению составителей Проекта-21, из-за всеобщего страха за судьбу окружающей среды государства в конце концов пришли к мысли о необходимости взять на себя решение долговременной задачи поддержания развития человечества. Тем не менее от старых привычек тяжело отказываться, и Проект-21 появился в своем теперешнем виде после долгих дискуссий. В Рио-де-Жанейро вначале был представлен пятисотстраничный вариант Проекта, в котором все пункты касающиеся денежного обеспечения, были взяты в скобки и подлежали обсуждению. В окончательной редакции, после того как были найдены компромиссы в проблеме фондирования, Проект увеличился до 1000 страниц.

Но нахождение компромиссов не является главной заслугой конференции и Проекта-21. Самое важное — это то, что богатые и бедные государства пришли к согласию о мерах, необходимых для того, чтобы привести численность народонаселения и аппетиты человечества в соответствие с ограниченными возможностями нашей планеты. В Проекте-21 челове-

чество четко определило стоящие перед ним задачи.

Неиспользованные природные ресурсы слаборазвитых стран ждут новых технологий. Безработные люди ждут работы. А те 125 млн. долл., которые должны вложить в технологии промышленные страны, не составляют и обещанных 0,7% от их общего валового национального продукта.

## Библиография

### РЕФОРМА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

MEDICAL CARE, MEDICAL COSTS: THE SEARCH FOR A HEALTH INSURANCE POLICY. Rashi Fein. Harvard University Press, 1986.

BALANCING ACCESS, COSTS, AND POLITICS: THE AMERICAN CONTEXT FOR HEALTH SYSTEM REFORM. John Holahan, Marilyn Moon, W. Pete Welch and Stephen Zuckerman. Urban Institute Press, 1991.

SERIOUS AND UNSTABLE CONDITION: FINANCING AMERICA'S HEALTH CARE. Henry Aaron. Brookings Institution, 1991.

### СКОРОСТЬ РАСШИРЕНИЯ И РАЗМЕРЫ ВСЕЛЕННОЙ

MAN DISCOVERS THE GALAXIES. R. Berendzen, R. Hart and D. Seeley. Science History Publications, 1976.

THE COSMOLOGICAL DISTANCE LADDER: DISTANCE AND TIME IN THE UNIVERSE. Michael Rowan-Robinson. W. H. Freeman and Company, 1985.

THE CEPHEID DISTANCE SCALE. Barry F. Madore and Wendy L. Freedman in *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 103, No. 667, pages 933—957; September 1991.

LONELY HEARTS OF THE COSMOS: THE SCIENTIFIC QUEST FOR THE SECRET OF THE UNIVERSE. Dennis Overbye. Harper-Collins Publishers, 1991.

### ОШИБКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ

EVALUATION OF SAFETY-CRITICAL SOFTWARE. David L. Parnas, A. John van Schouwen and Shu Po Kwan in *Communications of the ACM*, Vol. 33, No. 6, pages 636—648; June 1990.

SOFTWARE SAFETY IN EMBEDDED COMPUTER SYSTEMS. Nancy G. Leveson in *Communications of the ACM*, Vol.

34, No. 2, pages 34—46; February 1991.

FORUM ON RISKS TO THE PUBLIC IN COMPUTERS AND RELATED SYSTEMS. Moderated by Peter Neumann. Available as the usenet newsgroup comp.risks, or by request on the internet from risksrequest@cs.sri.com.

RISKS TO THE PUBLIC IN COMPUTERS AND RELATED SYSTEMS. Regular column edited by Peter Neumann in *Communications of the ACM*.

### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ

MOLECULAR MODELING SOFTWARE AND METHODS FOR MEDICINAL CHEMISTRY. N. Claude Cohen, Jeffrey M. Blaney, Christine Humblet, Peter Gund and David C. Barry in *Journal of Medicinal Chemistry*, Vol. 33, No. 3, pages 883—894; March 1990.

COMPUTER GRAPHICS: PRINCIPLES AND PRACTICE. James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner and John F. Hughes. Addison-Wesley Publishing, 1990.

MACROMOLECULAR GRAPHICS. A. Olson and D. Goodsell in *Current Opinion in Structural Biology*, Vol. 2, pages 193—201; April 1992.

JOURNAL OF MOLECULAR GRAPHICS. Edited by W. G. Richards. Butterworth-Heinemann Publishers, quarterly.

### БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ ЭВОЛЮЦИИ ЖИВОТНЫХ

GENETICS, PALEONTOLOGY AND MACROEVOLUTION. J. S. Levinton. Cambridge University Press, 1988.

THE EMERGENCE OF ANIMALS: THE CAMBRIAN BREAKTHROUGH. M. A. S. McMenamin and D. L. S. McMenamin. Columbia University Press, 1990.

METAZOAN PHYLOGENY AND THE CAMBRIAN RADIATION. D. H. Erwin in *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 6, No. 4, pages 131—134; April 1991.

## ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ КОРНИ АМЕРИКАНСКИХ ИНДЕЙЦЕВ

THE SETTLEMENT OF THE AMERICAS: A COMPARISON OF LINGUISTIC, DENTAL, AND GENETIC EVIDENCE. Joseph H. Greenberg, Christy G. Turner II and Stephen L. Zegura in *Current Anthropology*, Vol. 27, pages 477—497; 1986.

LANGUAGE IN THE AMERICAS. Joseph H. Greenberg. Stanford University Press, 1987.

THE AMERICAN INDIAN LANGUAGE CONTROVERSY. Joseph H. Greenberg in *Review of Archaeology*, Vol. 11, No. 2, pages 5—14; Fall 1990.

A GUIDE TO THE WORLD'S LANGUAGES, Vol. 1: CLASSIFICATION. Merritt Ruhlen. Stanford University Press, 1991.

EVOLUTION OF HUMAN LANGUAGES. Edited by John Hawkins and Murray Gell-Mann. Addison-Wesley, 1992.

SINO-CAUCASIAN LANGUAGES IN AMERICAN. Sergei Nikolaev in *Dene-Sino-Caucasian Languages*, Bochum, pages 42—66, 1991.

Старостин С. А. ГИПОТЕЗА О ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВЯЗЯХ СИНО-ТИБЕТСКИХ ЯЗЫКОВ С ЕНИСЕЙСКИМИ И СЕВЕРОКАВКАЗСКИМИ ЯЗЫКАМИ. Сборник «Лингвистическая реконструкция и древняя история Востока», М, 1984, с. 19—38.

## АСТРОНОМИЯ ВО ВРЕМЕНА КОЛУМБА

ADMIRAL OF THE OCEAN SEA: A LIFE OF CHRISTOPHER COLUMBUS. Samuel Eliot Morison. Little, Brown, 1942.

INVENTING THE FLAT EARTH: COLUMBUS AND MODERN HISTORIANS. Jeffrey Burton Russell. Praeger, 1991.

WHEN DO ANOMALIES BEGIN? Alan Lightman and Owen Gingerich in *Science*, Vol. 255, pages 690—695; February 7, 1992.

THE METEORITE OF ENFISEIM: 1492 TO 1992. Ursula B. Marvin in *Meteoritics*, Vol. 27, No. 1, pages 28—72; March 1992.

COLUMBUS AND AN ECLIPSE OF THE MOON. Donald W. Olson in *Sky and Telescope*, Vol. 84, No. 4, pages 437—440; October 1992.

## НАУКА ВОКРУГ НАС

THE REALM OF THE NEBULAE. Edwin P. Hubble. Yale University Press, 1936 (reprint 1982).

THE NATURE OF VARIABLE STARS. Paul W. Merrill. Macmillan Company, 1938.

CEPHEIDS: THEORY AND OBSERVATIONS. Edited by Barry F. Madore. Proceedings of the IAU Colloquium No. 82. Cambridge University Press, 1985.

THE EXTRAGALACTIC DISTANCE SCALE. Edited by Sidney van den Bergh and Christopher J. Pritchett. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 4; 1988.

# В МИРЕ НАУКИ

Учредитель:  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

Издание  
зарегистрировано  
в Госкомпечати СССР,  
рег. № 1342

Подписано в печать 02.06.93.

По оригинал-макету. Формат 60 × 90/16.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 5,75 бум. л.

Бумага офсетная № 1.

Усл.-печ. л. 11,50.

Уч.-изд. л. 14,72.

Усл. кр.-отт. 47,00.

Изд. № 25/9066. Заказ № 976.

Тираж 6130 экз. С1.

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

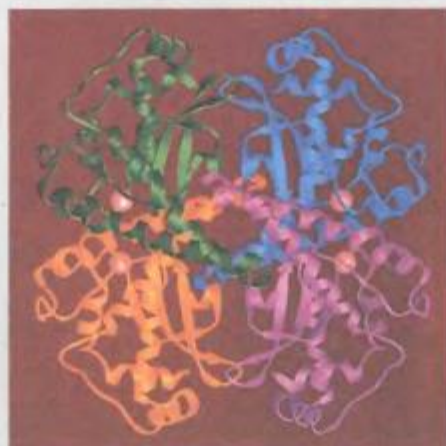
127576, Москва, Илимская, 7





# *В следующем номере:*

---



ПОЧЕМУ МЫ СТАРЕЕМ?

---

УЧАСТЬ У ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ ШКОЛ

---

ЧРЕЗВЫЧАЙНО ХОЛОДНЫЕ АНТИПРОТОНЫ

---

НАПРАВЛЕННАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

---

ЧТО УВИДЕЛ КОЛУМБ В 1492 ГОДУ?

---

ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ГОЛОС

---

АРЛИНГТОН У. УИЛЬЯМС

---

РАЗУМ И МЫШЛЕНИЕ У ОБЕЗЬЯН

---