

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Июль **7** 1989

ДИНАМИКА
ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

Международное сотрудничество, обмен научными идеями,
оперативную информацию по актуальным вопросам науки и техники
представляет всемирная сеть журнала

SCIENTIFIC AMERICAN

и его переводных изданий

POUR LA

SCIENCE

SCIENTIFIC AMERICAN

مجلة العلوم
العلمية والتقنية
تحت إشراف ربة العتبات

科学

SCIENTIFIC
AMERICAN

Spektrum

DER WISSENSCHAFT

SCIENTIFIC

TUDOMÁNY

SCIENTIFIC
AMERICAN magyar kiadása

INVESTIGACION Y CIENCIA

Edición en español de

LE SCIENZE

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN
Издание на русском языке



Июль 6 1987

ФОТОРЕПЕТИЖА

Потребность быть в курсе самых последних научных достижений испытывают все больше людей во всем мире. Серьезный и обстоятельный подход редакторов и авторов — крупнейших ученых из разных стран к отбору и публикации статей, отражающих современное развитие науки, находит живой отклик у растущей читательской аудитории журнала, охватывающей миллионы заинтересованных специалистов, студентов и школьников.

Интерес к журналу объясняется еще и тем, что переводные варианты журнала выходят одновременно в ФРГ, Франции, Италии, Испании, Японии, КНР, СССР, ВНР и Кувейте спустя лишь два месяца выхода «Сайентифик Америкн» в США. Это дает возможность мировой научной общественности знакомиться в одно и то же время с новостями с переднего края науки. Читая журнал «В мире науки», Вы всегда будете в курсе последних достижений в интересующей Вас области!

Журнал В МИРЕ НАУКИ издание
журнала SCIENTIFIC AMERICAN на русском языке.

Подписка на него принимается без ограничений всеми агентствами «Союзпечати»,
почтовыми отделениями связи и общественными распространителями.

Журнал выходит ежемесячно. Цена номера — 2 руб. Стоимость подписки на квартал
— 6 руб., на год — 24 руб. Индекс журнала 91310 по «Каталогу газет и журналов
зарубежных стран», раздел «Переводные научные и научно-технические журналы».

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»

№ 7 · ИЮЛЬ 1989

В номере:

СТАТЬИ

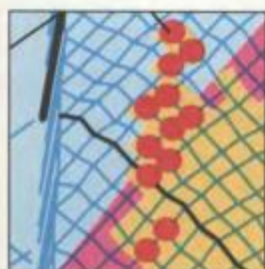


(Scientific American, May 1989, Vol. 260, No. 5)

6 Технический прогресс, занятость и конкурентоспособность в американской экономике

Ричард М. Цирт, Дейвид К. Маури

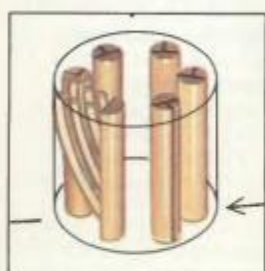
Переход на новые, более прогрессивные технологии нельзя считать причиной роста безработицы или каких-либо других недугов в экономике. Напротив, технический прогресс необходим для благополучия страны и ему нужно всячески содействовать



16 Синтез сверхтяжелых элементов

Петер Армбрустер, Готфрид Мюнценберг

Тонкие квантовомеханические эффекты стабилизируют ядра, которые намного тяжелее ядер, существующих в природе. Экспериментаторам пришлось пересматривать представления о том, как лучше всего синтезировать такие сверхтяжелые элементы



24 Топобиология

Джералд М. Эдельман

Этим термином охватываются биологические взаимодействия, определяемые пространственным расположением. Такие взаимодействия ярко проявляются в развивающемся зародыше. Их исследование дает ключ к разгадке происхождения иммунной системы



34 Динамика полярных сияний

Сюн-Ити Акасофу

Взаимодействие солнечного ветра с магнитным полем Земли создает огромный генератор, дающий энергию для возбуждения полярных сияний. Аналогичный механизм может лежать в основе и других астрофизических явлений



44 Прошлое и будущее Амазонии

Поль А. Колинво

История Амазонских дождевых лесов свидетельствует о том, что эта экосистема легко приспосабливается к естественным нарушениям климата. Сможет ли она столь же гибко реагировать на вмешательство человека?



52 Сумчатые лягушки

Эугения М. Дель Пино

У некоторых тропических квакш самка вынашивает оплодотворенную икру на спине, зачастую в специальной сумке. По ряду черт эта адаптация сходна с беременностью млекопитающих и развитием яйца у птиц



62 Волоконные световоды в медицине

Абрахам Катцир

Приборы для прямого наблюдения внутренних органов человека, датчики для надежного и быстрого анализа крови, а также лазерные системы для внутренних хирургических операций — вся эта медицинская техника основана на применении оптических волокон



71 Генри Норрис Рессел

Дейвид Х. Деворкин

Один из ведущих астрономов своего времени, Рессел понимал необходимость построения прочного теоретического фундамента для астрономии. Действуя в этом направлении, он способствовал становлению современной астрофизики

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

15, 33, 42, 60,

78, 88, 94 Наука и общество

84 Занимательный компьютер

80 Наука вокруг нас

90 Книги

102 Эссе

103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

Harry Myers
PRESIDENT AND PUBLISHER
BOARD OF EDITORS

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

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1989 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
М. В. Суорова
Н. А. Вавилова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

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

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

На обложке



ДИНАМИКА ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

На обложке изображено лучистое сияние, сверкающее на ясном ночном небосводе над областью северных высоких широт (см. статью Сюн-Ити Акасофу «Динамика полярных сияний» на с. 34). Свет излучается атомами и молекулами кислорода и азота в нижней ионосфере, когда с ними сталкиваются электроны солнечного ветра, ускоренные в магнитосфере Земли. Тонкослойная структура сияний обусловлена специфическим электрическим полем, возникающим в верхней ионосфере.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ian Worpole

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	S. Varnedoe		Bruce Coleman Inc.	70	W. F. Meggers Collection, Niels Bohr Library, American Institute of Physics
8	Johnny Johnson			72	Andrew Christie
9	Gabor Kiss	46, 47	George Retseck	73	The Observatories of the Carnegie Institution of Washington (слева), Andrew Christie (справа)
10	UPI/Bettmann Newsphotos (слева), Warren Faubel, Bruce Coleman Inc. (справа)	48	Paul E. Berry, Missouri Botanical Garden (вверху); Paul A. Colinvaux (внизу слева), George Retseck (внизу справа)	76	Owen Ginderich
11, 12	Gabor Kiss	49	Paul A. Colinvaux	80-83	Michael Goodman
17-22	Joe Lertola	53	Charles W. Myers, American Museum of Natural History	84	Johnny Johnson
25	George V. Kelvin	54-59	Patricia J. Wynne	85, 86	A. K. Dewdney
26	Gerald M. Edelman (вверху), George V. Kelvin (внизу)	63, 64	Thomas C. Moore		
27	Gerald M. Edelman	65	Yasumi Uchida, University of Tokyo		
28	George V. Kelvin	66	Thomas C. Moore (вверху), Warren S. Grundfest and Frank Litvack (внизу)		
29	Gerald M. Edelman	67	Daniel R. Doiron, PhotoTherapeutics, Inc.		
30-32	George V. Kelvin				
35	Syun-Ichi Akasofu				
36-41	Ian Worpole				
45	M. Freeman				

Об авторах

Richard M. Cyert, David C. Mowery "Technology, Employment and U.S. Competitiveness" (РИЧАРД М. ЦИРТ, ДЕЙВИД К. МАУРИ. «Технический прогресс, занятость и конкурентоспособность в американской экономике») — соответственно председатель и ответственный за исследования в совете, созданном по инициативе Национальной академии наук (НАН), Национальной технической академии (НТА) и Института медицины (ИМ) с целью изучения влияния новых технологий на занятость в США. Цирт окончил Университет шт. Миннесота и защитил докторскую диссертацию в Колумбийском университете. В настоящее время он президент Университета Карнеги — Меллона. До назначения на эту должность Цирт в течение 10 лет был деканом аспирантуры по проблемам административного управления в промышленности этого же университета. Маури — экономист, доцент в Школе бизнеса при Калифорнийском университете в Беркли. Окончил Станфордский университет. В своей статье авторы выражают их собственное мнение, которое не обязательно должно совпадать с точкой зрения упомянутого совета, НАН, НТА и ИМ.

Peter Armbruster, Gottfried Münzenberg "Creating Superheavy Elements" (ПЕТЕР АРМБРУСТЕР, ГОТФРИД МЮНЦЕНБЕРГ «Синтез сверхтяжелых элементов») работают в области синтеза сверхтяжелых элементов в Институте исследований с тяжелыми ионами (ГСИ) в Дармштадте. Армбрустер с 1971 г. является научным руководителем исследовательской группы по ядерной химии и атомной физике; непосредственно занимается реакциями между тяжелыми ядрами и использованием тяжелых ионов в физике твердого тела и атомной физике. Степень доктора получил в Техническом университете г. Мюнхена. Мюнценберг работает в группе Армбрустера в ГСИ с 1976 г. Его научные интересы включают изучение свойств основных состояний тяжелых ядер, холодное слияние тяжелых ионов, а также получение и разделение экзотических ядер. Степень доктора получил в Университете г. Гиссена, где он проектировал специальный фильтр скоростей SHIP для ГСИ и контролировал работы по его сооружению. Сейчас, когда к основным установкам ГСИ добавился синхротрон тяжелых ионов, Мюнценберг руководит работами по конструированию сепаратора для релятивистских пучков экзотических ядер.

Gerald M. Edelman "Topobiology" (ДЖЕРАЛД М. ЭДЕЛЬМАН «Топобиология») — профессор в Рокфеллеровском университете. Учился в Колледже Урсинус, который окончил со степенью бакалавра в 1950 г. В 1954 г. получил степень доктора медицины в Медицинской школе Пенсильванского университета. Год работал врачом в Массачусетской больнице общего типа, затем два года в медицинской службе сухопутных войск. Степень доктора философии присвоена ему в 1960 г. в Рокфеллеровском университете за исследование γ -глобулина. К 1969 г. он установил аминокислотную последовательность и структуру этого белка, за что получил Нобелевскую премию за 1972 г. по физиологии и медицине. Затем обратился к проблемам эмбрионального развития. В Рокфеллеровском университете Эдельман возглавляет Институт нейробиологии и лабораторию молекулярной биологии и биологии развития.

Syun-Ichi Akasofu "The Dynamic Aurora" (СЮН-ИТИ АКАСОФУ «Динамика полярных сияний») — директор Геофизического института Университета шт. Аляска в Фэрбенксе, приобрел мировую известность своими пионерными работами по физике полярных сияний. Акасофу родился в Японии, получил степени бакалавра и магистра в Университете г. Тохоку. Степень доктора философии в области геофизики получил в 1961 г. в Университете шт. Аляска и с 1964 г. является одновременно профессором физики этого университета.

Paul A. Colinvaux "The Past and Future Amazon" (ПОЛЬ А. КОЛИНВО «Прошлое и будущее Амазонии») — с 1972 г. профессор зоологии и антропологии Университета шт. Огайо, автор нескольких книг по экологии. Родился в Великобритании, получил степени магистра и бакалавра в Кембриджском университете. Докторскую степень по зоологии получил после переезда в США в Университете Дюка в 1962 г. Когда выкраивается свободное время, Колинво помогает своей жене, специалисту по экологии коралловых рифов, сопровождая ее в подводных экспедициях.

Eugenia M. Del Pino "Marsupial Frogs" (ЭУГЕНИЯ М. ДЕЛЬ ПИНО «Сумчатые лягушки») родилась в Эквадоре, училась в Папском католическом университете в Кито. Некоторое время жила в США; в 1969 г. она получила степень магистра в Вассаровском колледже, в 1972 г. — степень доктора

философии в Университете Эмори. После этого вернулась в Эквадор и стала сотрудником в университете, где училась; в настоящее время она занимает там должность профессора биологии. В 1984—1985 гг., получив стипендию Гумбольдтовского фонда, она работала в Онкологическом центре в Гейдельберге (ФРГ). С 1987 г. Дель Пино — член Академии наук стран Латинской Америки (где она единственный представитель Эквадора).

Abraham Katzir "Optical Fibers in Medicine" (АБРАХАМ КАТЦИР «Волоконные световоды в медицине») — профессор физики и директор отделения прикладной физики Тель-Авивского университета в Израиле. Степени бакалавра, магистра и доктора философии получил в Университете Хиброу в Иерусалиме. Несколько лет работал в качестве приглашенного научного сотрудника в Калифорнийском технологическом институте и в AT&T Bell Laboratories и как приглашенный профессор — в Бостонском университете и Массачусетском технологическом институте. Под его руководством в Тель-Авиве разрабатываются инфракрасные волоконные световоды и системы для медицинских и промышленных применений. Его покойный отец Аарон Катцир-Кашальский и С. Лифсон в марте 1954 г. написали для журнала "Scientific American" статью «Мышца, как машина». Следуя семейным традициям, Абрахам продолжает «наводить мосты между медиками и учеными».

David H. Devorkin "Henry Norris Russell" (ДЕЙВИД Х. ДЕВОРКИН «Генри Норрис Рассел») — хранитель отдела истории астрономии в Национальном музее исследования воздушного и космического пространства в Смитсоновском институте (г. Вашингтон, округ Колумбия). Имеет несколько ученых степеней в области астрономии и астрофизики, присужденных ему Калифорнийским университетом, Университетом Лос-Анджелеса, Университетом шт. Сан-Диего и Йельским университетом. В 1978 г. Лейчестерский университет присудил Деворкину степень доктора философии в области истории науки. Его работы посвящены в основном развитию современной астрофизики и науки о космосе. Последняя книга Деворкина — Race to the Stratosphere: Manned Scientific Ballooning in America.

Simon Ramo "Essay" (САЙМОН РАМО «Эссе») — один из основателей компании TRW, Inc. — автор книги «The Business of Science» недавно выпущенной издательством Hill and Wang.

SCIENTIFIC AMERICAN

МАЙ 1939 г. «Жидкий гелий перестает кипеть, когда его температура понижается до 2,19 градусов Кельвина. Это — точка перехода гелия из одного состояния в другое. Гелий I теплее, гелий II холоднее. Гелий II обладает необыкновенно высокой теплопроводностью, гораздо большей, чем гелий I. Недавно Петр Капица, русский ученый, много лет проработавший в Кембриджской лаборатории лорда Резерфорда в Англии, высказал предположение, что это явление связано с повышенной текучестью или, как говорят физики, низкой вязкостью гелия II. Низкая вязкость означает, что жидкость очень легко перемещается; тепло при этом эффективно переносится конвективными потоками. У гелия II вязкость примерно такая же, как у газообразного водорода, — достаточно низкая, чтобы, по мнению физиков-теоретиков, объяснить свойство сверхтекучести».

«Полет с помощью мускульной силы — это не фантастика. Его пытаются осуществить многие серьезные исследователи. Д-р. В. Ф. Герхардт из Университета в Уэйне сконструировал «гиросикл» — нечто вроде простейшего вертолета. Пропеллер соединен с вертикальным валом через зубчатую шестерню с коэффициентом передачи 2:1, приводимую в движение с помощью обыкновенных велосипедных педалей. Свободно летать гиросикл пока не может, но на нем уже совершен подъем (или прыжок) на одну восьмую дюйма. Во всяком случае, начало положено».

«В Музее естествознания в Чикаго, расположенном на открытом воздухе, выращивают лотосы из семян, возраст которых от 300 до 500 лет. Судя по всему, это наиболее долгий период задержанного прорастания. Семена, о которых идет речь, несколько веков пролежали в торфяниках Южной Маньчжурии».

«На американских подводных лодках начали устанавливать системы

очистки воздуха. Это без сомнения увеличит могущество американского подводного флота. Использование аппаратов для охлаждения воздуха, устранения избытка влаги и подпитки его кислородом взамен выдыхаемого людьми углекислого газа — все это позволит подводным лодкам находиться на глубине в течение длительного времени, что увеличит их эффективность при атакующих и оборонительных действиях».



МАЙ 1889 г. «Газета "Timberman" («Лесопильщик»), по-видимому, не обеспокоена угрозой быстрого истощения запасов древесины. Как пишет газета, вдоль всего побережья залива Пьюджет-Саунд, общей протяженностью 1800 миль, тянется мощный, почти нетронутый лес из огромных деревьев. Леса так много, что, хотя в течение последних десяти лет лесопилки перерабатывают 500 000 000 футов стволов каждый год, поляны, остающиеся после вырубки, выглядят как небольшие садовые участки».

«Одной французской фирме удалось после долгих попыток использо-



Прогулка на океанском трицикле

вать электричество для ускорения дубления кожи. Процедура очень проста. Сыромятная кожа накладывает на большой барабан с горизонтальной осью, медленно вращающийся в электролите (растворе танина), через который пропускают ток. Тонкая теллячья кожа, а также овчина и козья кожа, на выделку которых обычно требуется от четырех до шести месяцев, обрабатываются за 24 часа. Роль электротока не совсем ясна. Проф. С.П. Томпсон, изучавший этот процесс, предполагает, что при воздействии тока происходит расширение пор на коже, благодаря чему дубильный раствор впитывается быстрее».

«Г-н Х. М. Стэнли, исследователь Африки, сделал весьма интересное сообщение об отравленных стрелах, применяемых аборигенами Нижнего Конго. Участники экспедиции г-на Стэнли приложили немало усилий, чтобы понять, каким ядом были обработаны наконечники стрел, ранивших лейтенанта Стэйрса и нескольких других путешественников, четверо из которых сразу же после этого скончались. Тайна раскрылась, когда в Арисиббе было обнаружено несколько свертков с высушенными красными муравьями. Сушеных насекомых перетирают в порошок, который варят в пальмовом масле; этой смесью и смазывают стрелы. Хорошо известно, что в красных муравьях содержится в свободном состоянии муравьиная кислота. Несомненно, что она и была «смертельным ядом».

«На иллюстрации изображена машина, которая должна привлечь внимание любителей морских прогулок. Океанский трицикл, как его именуют, состоит из высокой платформы, возвышающейся над железной рамой, которая в свою очередь покоится на трех гребных колесах. На платформе вне досягаемости брызг расположен паровой двигатель, который вращает вал, идущий вертикально вниз. С высоты платформы видно дно, водоросли, раковины и т. д. — все то, что можно разглядеть с мачты парусника на спокойной мелкой воде. Мы не сомневаемся, что жители Атлантики смогут совершить на этой машине много увлекательных прогулок».

Технический прогресс, занятость и конкурентоспо- собность в американской экономике

Переход на новые, более прогрессивные технологии нельзя считать причиной роста безработицы или каких-либо других недугов в экономике. Напротив, технический прогресс необходим для благополучия страны и ему нужно всячески содействовать

РИЧАРД М. ЦИРТ, ДЕЙВИД К. МАУРИ

В КНИГЕ известного американского математика Норберта Винера «Кибернетика и общество», изданной в США в 1950 г., автор писал: «Завод будущего... будет управляться устройством, подобным современной быстродействующей вычислительной машине... Промышленность будет наполняться новыми механизмами лишь в той степени, в какой будет очевидно, что они принесут немедленную прибыль... Совершенно очевидно, что внедрение автоматических машин вызовет безработицу, по сравнению с которой современный спад производства и даже кризис 30-х годов покажутся приятной шуткой*». События последних лет показывают, что в отношении появления промышленного оборудования, управляемого вычислительными машинами, Винер не обманулся в своих прогнозах, что же касается влияния этой новой техники на состояние экономики, то здесь Винер оказался не столь проницательным.

Это вовсе не означает, что со времен Винера в американской экономике все складывалось благополучно. Хотя безработица в стране снизилась по сравнению с ее максимальным уровнем в 1982 г., когда она составляла более 10%, неравенство в распределении личных доходов с конца 60-х годов увеличилось, а реальная заработная плата американских рабочих в расчете на один час с 1973 г. удерживается на одном уровне. Но, пожалуй,

наиболее удручающим обстоятельством является чрезвычайно медленный рост производительности труда (измеряемой объемом произведенной продукции на один отработанный человеко-час) в период с 1973 по 1979 г. Несмотря на то, что с тех пор производительность труда в США несколько возросла, темпы ее роста все же медленнее, чем в некоторых других промышленно развитых странах. Кроме того, крайне низкой была степень участия США в международной торговле.

И все же можно ли считать, что Винер был частично прав, когда утверждал, что внедрение средств автоматизации на промышленном предприятии естественно ведет к снижению занятости рабочих и обеспечивает более высокие прибыли его владельцу? Создают ли роботы и вычислительные машины два слоя в обществе, в котором гарантия занятости, продвижение по службе и более высокие ставки становятся привилегией лишь небольшой избранной части рабочих?

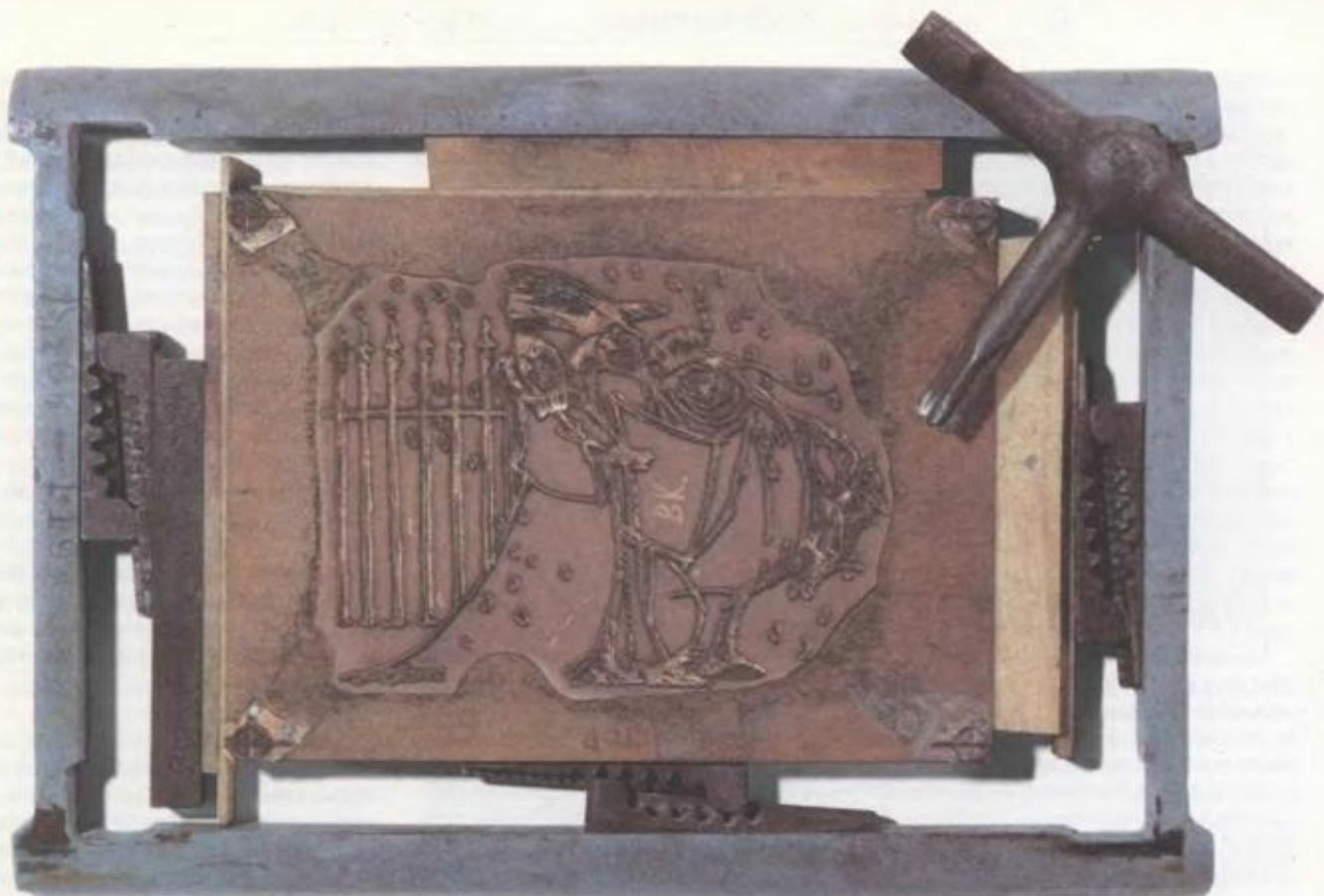
Недавно по инициативе Национальной академии наук, Национальной технической академии и Института медицины была сформирована группа экспертов из представителей бизнеса, профсоюзов, государственных ведомств и научных кругов (состав группы см. на с. 8) для того, чтобы проанализировать, как в период до 2000 г. внедрение научно-технических достижений скажется на занятости и в целом на американской экономике. Изучив большое количество фактических данных, упомянутая группа единодушно пришла к выводу, что внедрение достижений науки и техники

не является причиной высокого уровня безработицы и низких темпов роста заработной платы, что было характерно для американской экономики в течение последних 15 лет. Напротив, все это будет способствовать решению указанных проблем. Действительно, изменения в структуре американской и мировой экономики сделали для США задачу быстрого и эффективного внедрения новых технологий такой важной, какой она не была никогда прежде.

НЕ ТРУДНО понять, почему кто-то считает, что внедрение в сферу производства новых технологий непременно ведет к высвобождению рабочей силы. В конечном итоге технологические новшества вводятся в производственный процесс главным образом с целью снизить расход ресурсов (и в основном трудовых) на единицу готовой продукции. Следует, однако, заметить, что это довольно поверхностный взгляд на рассматриваемую проблему. Новая производственная технология, судя по всему, влечет за собой иные экономические последствия, которые компенсируют вызванное этой технологией какое-либо потенциальное снижение совокупной потребности в рабочей силе. Так, уменьшая производственные затраты и, следовательно, снижая цену на промышленное изделие, новая технология может повысить спрос на него и тем самым вызвать расширение масштабов производства, что в конечном итоге приведет к росту, а не к снижению потребности в рабочей силе.

Следовательно, влияние новой промышленной технологии на занятость

* Цитируется по книге: Винер Н. Кибернетика и общество (человеческое использование человеческих существ), М.: ИЛ, 1958, с. 158, 166. — *Прим. перев.*



ПЕРЕХОД НА НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ в корне изменил характер труда печатника, как и многих других профессий. 30 лет назад, чтобы напечатать цветную иллюстрацию, медные пластины (вверху) нужно было протравить (по одной на каждую краску) и установить на раму. Сегодня мно-

гие операции для изготовления иллюстраций печатник может выполнять на компьютере (внизу) и за значительно более короткое время. Понятно, что требования к профессиональному уровню печатника существенно изменились.

в такой же степени зависит от реакции потребителя на снижение цен (или повышение качества), как и от изменения количества труда, необходимого для производства единицы готовой продукции. Даже если спрос на эту продукцию не возрастет значительно, увеличение занятости все равно произойдет: средства, сэкономленные на покупке более дешевого изделия, потребитель потратит на другие товары, и тем самым возникнет необходимость в расширении производства, а стало быть и занятости, в другом секторе производства товаров ширпотреба. Кроме того, широкое применение нового производственного процесса может вызвать потребность в новых станках, материалах и сырье, а это будет стимулировать рост занятости в отраслях-поставщиках.

Механизм влияния новой технологии на занятость осложняется и тем обстоятельством, что в результате внедрения того или иного новшества часто приходится пересматривать систему взаимоотношений между администрацией предприятия и рабочими. Такая перестройка может непосредственно повлиять на удовлетворенность рабочих и их социальную защищенность и в конечном итоге на производительность труда. В самом деле, не исключено, что возможные организационные изменения после внедрения новой технологии повлияют на качество производимой данной компанией продукции и величину ее прибыли, также как и прогрессивная роль самой этой технологии.

Корпорация General Motors, напри-

мер, в 20-е годы смогла полностью извлечь выгоду от внедрения новых технологий массового производства товаров только после того, как она децентрализовала свои отделения, специализирующиеся на выпуске отдельных видов продукции, и перешла на систему внутренней торговли между этими отделениями. Компания Ford Motor (которая была первым производителем автомобилей, перешедшим на технологию массового производства), напротив, отказалась от таких организационных изменений и в результате из года в год уступала свои позиции в рыночной борьбе с конкурентом.

Будущие потребности в рабочей силе также зависят от того, какие требования предъявит новая технология к уровню квалификации, а они в свою очередь определяются тем, насколько удачно вписывается эта новая технология в сложившуюся организационную структуру данной компании. Может, например, создаться такая ситуация, при которой переход на новую технологию заставит производственных рабочих более детально изучить всю деятельность предприятия и его систему управления, если на них будет возложена более высокая ответственность за ход производственного процесса.

Кроме того, требования, предъявляемые новыми технологиями к квалификации рабочих, меняются по мере того, как сами эти технологии развиваются, модернизируются и внедряются в производственный процесс. Сравните, например, уровень квали-

фикации, который предъявлялся к персоналу, занимающемуся эксплуатацией больших центральных ЭВМ в начале 60-х годов с тем, который был необходим для выполнения примерно тех же задач на персональном компьютере образца 1989 г. Непрерывно появляющиеся новшества в области программного обеспечения и технических средств позволили не только расширить функциональные возможности современных персональных компьютеров по сравнению с теми, которые были под силу большим вычислительным машинам, выпускаемым два десятилетия назад, но также сделали возможной их эксплуатацию как людьми, практически не имеющими никакой специальной подготовки, скажем учениками начальных школ, так и более подготовленными специалистами, имеющими высшее образование.

СОВРЕМЕННЫЕ методы прогнозирования не позволяют предсказать, какое совокупное влияние окажут все эти многочисленные явления на уровень безработицы и подготовку рабочих. Для того чтобы предсказать, как то или иное нововведение в производстве конкретного продукта повлияет, скажем, на занятость, требуются подробные сведения о ряде факторов: насколько быстро распространяется данная технология и ее влияние на количество труда, необходимое для производства единицы готовой продукции (фактор, который почти наверняка претерпевает изменение по мере того, как сама эта технология получает все большее распространение в экономике); влияние снижения цены на величину спроса на продукцию (так называемая ценовая эластичность спроса); изменение в количестве необходимого совокупного труда, вызываемое всяким увеличением спроса на данную продукцию; реакция потребителей на изменения стоимости определенного количества товаров, которое ими покупается. К сожалению, данных, необходимых для оценки этих многочисленных и взаимосвязанных показателей, просто не существует. Сказать заранее, как появление совершенно нового товара или вида услуг повлияет на занятость, еще труднее, поскольку этот новый товар или услуга на самом деле может стимулировать появление таких отраслей экономики, которых прежде не было.

Прогнозирование будущих потребностей в определенной квалификации работников затруднено не только тем, что отсутствуют нужные данные, но также и несовершенством методов, с помощью которых определя-

СОВЕТ ПО ТЕХНОЛОГИИ И ЗАНЯТОСТИ

Richard M. Cyert (Chairman)
Carnegie-Mellon University
Morton Bahr
Communications Workers of America
David Cass
University of Pennsylvania
Alonzo A. Crim
Superintendent, Atlanta Public Schools
Douglas A. Fraser
Wayne State University
Richard B. Freeman
Harvard University
Samuel H. Fuller
Digital Equipment Corporation
Judith M. Gueron
Manpower Demonstration
Research Corporation
Anne O. Krueger
The World Bank
Lawrence Lewin
Lewin and Associates, Inc.
James N. Morgan
University of Michigan

Thomas J. Murrin
Westinghouse Electric Corporation
Eleanor Holmes Norton
Georgetown University
Law Center
D. Raj Reddy
Carnegie-Mellon University
Nathan Rosenberg
Stanford University
William W. Scranton III
Lieutenant Governor,
Commonwealth of Pennsylvania
G. Russell Sutherland
Deere & Company
Marta Tienda
University of Wisconsin, Madison
Louise Tilly
New School for Social Research
Army D. Wohl
Wohl Associates
David C. Mowery (Director)
University of California,
Berkeley

ЧЛЕНЫ СОВЕТА ПО ТЕХНОЛОГИИ И ЗАНЯТОСТИ — это представители деловых, профсоюзных, правительственных и научных кругов. Совет, призванный анализировать влияние технологий на занятость и на экономику США в целом, был создан по инициативе Национальной академии наук, Национальной технической академии и Института медицины.

ется квалификационный уровень. Общее между служащим 50-х и служащим 80-х годов только в названии. Сегодня конторские работники выполняют задачи, которые существенно изменились по своему содержанию и требуют принципиально иных способностей. И это изменение совершенно скрыто в большинстве данных о структуре: предполагается, что профессиональные навыки, необходимые современному конторскому служащему, ничем не отличаются от тех, которые были ему необходимы в 50-е годы.

Поскольку требования к профессиональному уровню исполнителя на том или ином рабочем месте меняются со временем и они не одинаковы для разных профессий в любое данное время, прогнозирование будущих требований к умению выполнять определенные функции, которое основано на предполагаемом росте числа рабочих мест, не может быть точным. Кроме того, сами тенденции в изменении структуры занятости с трудом поддаются прогнозированию, так как они зависят от структурных изменений в экономике. И эти изменения, как уже говорилось, почти невозможно предвидеть в экономике такого масштаба, как американская.

Учитывая, что переход на новую технологию часто сопровождается структурными изменениями в организации производства, переподготовкой рабочих и разнообразными техническими модификациями самой этой технологии, значительное время требуется на то, чтобы возможности придуманного в лаборатории новшества полностью реализовались в американской экономике. Поэтому прогнозы экономических последствий новых технологий, которые не учитывают длительного периода, необходимого для полного их внедрения, могут содержать преувеличенные оценки в отношении величины и внезапности любых сдвигов в уровне безработицы или потребности в рабочих определенной квалификации. Постепенное распространение технологического новшества даст возможность людям и организациям приспособиться к новым условиям за относительно длительное время. По этой причине проблемы, которые возникают в сфере управления экономикой в связи с влиянием новых технологий на безработицу, на самом деле могут оказаться не столь трудными по сравнению с проблемами, порождаемыми другими, менее предсказуемыми событиями, вызывающими сдвиги в экономике.

ПОСКОЛЬКУ прогнозирование экономических последствий вне-



ТЕМПЫ РОСТА БЕЗРАБОТИЦЫ и производительности труда в США (рассчитываемой как общий объем произведенной продукции и услуг за один отработанный человеко-час) с 1970 г. все более расходятся. Поскольку внедрение новой технологии на предприятии или в учреждении повышает производительность труда, создается впечатление, что переход на прогрессивные методы производства вызывает снижение потребности в количестве рабочих. Если бы это действительно было так, то уровень безработицы должен был бы увеличиваться такими же темпами, что и рост производительности труда. Однако статистические данные, как видно из приведенных кривых, говорят об обратном.

Внедрения технологических новшеств сопряжено с таким большим числом неопределенностей, у экономиста нет другого выхода, как полагаться в основном на исторические примеры, которые содержат ретроспективные данные о том, какое влияние оказывала в прошлом та или иная новая технология на занятость (см. рисунок сверху). Документально зарегистрированные данные говорят о том, что, когда уровень безработицы в США становился высоким (как это было в 70-е и 80-е годы), темпы роста производительности труда снижались. Поскольку производительность труда зависит от внедрения новых технологий, то эти данные убедительно свидетельствуют о том, что изменение технического уровня производства никак не связано с ростом безработицы в стране.

Переход на новые технологии, как представляется, также не является причиной снижения темпов роста среднего размера почасовой заработной платы в США (см. рисунок на с. 11). Величина часовой заработной платы (включая все выплаты рабочим и служащим, в том числе и их заработную плату) росла теми же темпами, что и производительность труда. Если бы внедрение новой технологии сопровождалось снижением заработной платы, размер часовой заработной платы должен был бы падать по мере роста производительности труда.

Много также говорилось об увеличении неравенства в распределении личных доходов в США в период 70-х и 80-х годов. По данным Маккинли Л. Блэкберна из Университета шт. Южная Каролина и Дейвида Е. Блума из Колумбийского университета, например, доля, которую в общей сумме семейных доходов в стране составляют доходы семей со средним уровнем достатка (т. е. в пределах от 100 до 160% среднего по стране размера семейного дохода) снизилась с 27,5% в 1967 г. до 21,3% в 1985 г. Действительно, имеющиеся данные указывают на то, что это увеличение неравенства в основном произошло по причинам, не относящимся к изменению технологического уровня, а вследствие таких факторов, как рост числа семей, где основным кормильцем являются незамужние женщины, и изменения в структуре федерального бюджета и налоговой политики. В данных Блэкберна и Блума также имеются лишь незначительные свидетельства каких-либо существенных изменений в распределении доходов работников, что более непосредственно отразило бы любое увеличение неравенства в их положении. Если бы переход на новую технологию действительно увеличивал разрыв между высокооплачиваемыми и низкооплачиваемыми видами работ, то анализ, проведенный обоими экономистами, вскрыл бы это.

В свете таких данных напрашивается вывод о том, что переход на новую технологию, по-видимому, оказывает меньшее влияние на занятость, чем другие экономические факторы. Темпы экономического роста, совокупный спрос и внешние по отношению к американской экономике факторы (как, скажем, повышение цен на нефть в 1973 и 1979 гг.), пожалуй, в большей степени определяют общий уровень занятости в стране, чем внедрение новых технологий.

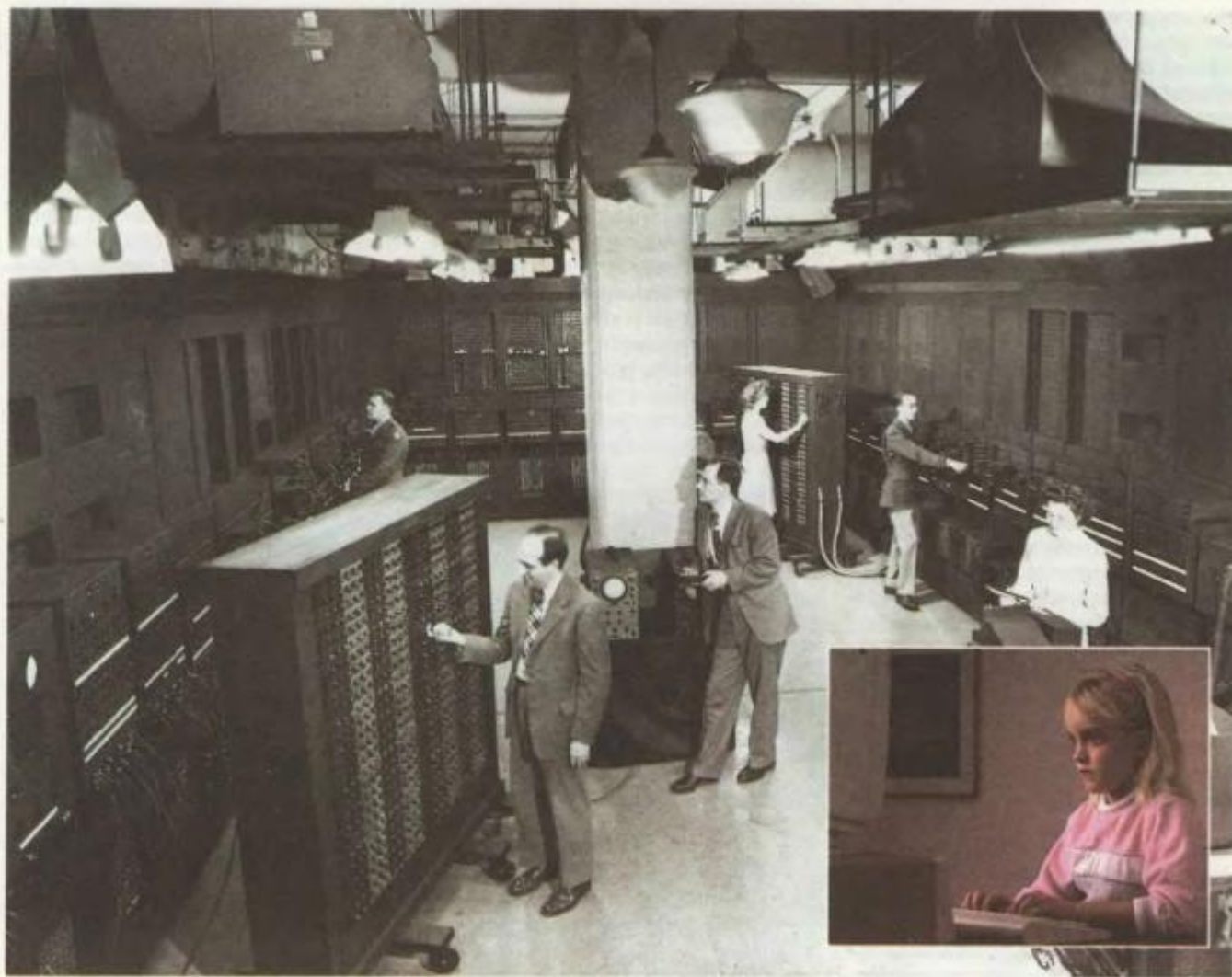
Можно ли на основании прошлого опыта сделать какие-либо выводы относительно того, какой должна быть система подготовки и обучения рабочих, чтобы уровень приобретаемой ими квалификации соответствовал будущим требованиям? Если обратиться к историческим данным, то они однозначно указывают на то, что переход на новые технологии повы-

шал ценность овладения такими основополагающими навыками, как умение читать, писать, оперировать числами и решать различные по своему характеру задачи. Технологии, основанные на применении средств вычислительной техники, без которых в будущем, по всей вероятности, не смогут выполняться многие виды работ, будут предъявлять еще большие требования к интеллектуальным, а не к физическим способностям заводских рабочих и конторских служащих. Кроме того, все более широкое использование бригадного труда во многих видах производств также означает, что ключевую роль будут играть коммуникативные способности.

Однако самое главное для будущих американских рабочих — это умение приспосабливаться к тем структурным изменениям в экономике, которые преобразуют характер их труда.

Им придется научиться с большей легкостью адаптироваться к новым условиям при переходах с одного предприятия на другое, из одного города в другой и даже из одной отрасли в другую, которые будут случаться чаще. Анализ, проведенный в начале 80-х годов, например, показал, что не менее 30% рабочих, потерявших работу в автомобильной и сталелитейной отраслях промышленности, столкнулись с большими трудностями при попытке найти новую работу. Причина заключалась в недостатке квалификации, необходимой для выполнения основных видов работ.

То обстоятельство, что по мере внедрения нового оборудования и перехода на новые формы организации труда на уровне рабочего места, в некоторых отраслях промышленности неизбежно будут возникать трудности в отношении сохранения прежне-



ВРЕМЯ ОБУЧЕНИЯ персонала для работы с компьютерами по мере совершенствования их технического устройства и программирования резко сокращалось. Для эксплуатации первых компьютеров, появившихся примерно 40 лет назад, требовались операторы, обладающие высоким професси-

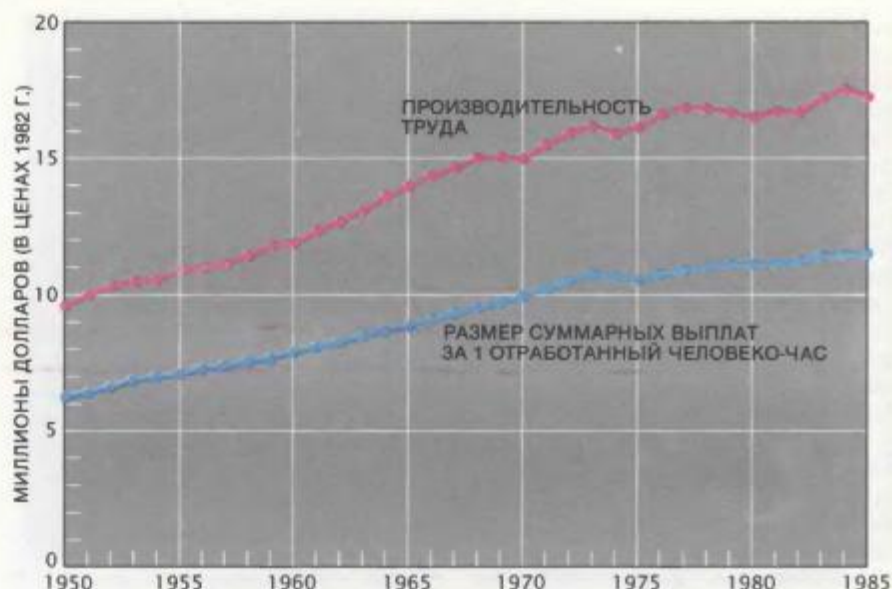
ональным уровнем. Современные персональные компьютеры (которые по сравнению с первыми компьютерами имеют значительно большую память и вычислительную мощность) вполне доступны даже ребенку.

го уровня занятости или увеличения ее, ставит США перед известной дилеммой, ибо экономика в целом только выиграет от таких технологических и организационных нововведений. Эта дилемма может быть разрешена в значительной степени путем направления определенной доли экономических выгод от внедрения технологических новшеств (в форме программ, предусматривающих выплату денежных пособий, консультирование и переподготовку) на нужды тех, на ком новые условия сказываются неблагоприятно. Действительно, поскольку такие программы помогают рабочим приспособиться к изменяющимся условиям их труда, они фактически могут содействовать переходу на новые технологии.

КАКИМ ЖЕ образом американская экономика получает реальные выгоды в результате перехода на новые технологии? Ответ на этот вопрос можно получить, если взглянуть на экономику с позиции мирового прогресса. До сих пор мы рассматривали американскую экономику как некую изолированную систему, хотя на самом деле она является лишь одной из многих экономических систем, имеющих в других государствах и взаимодействующих друг с другом через торговлю. Действительно, неустойчивость, характерная для международной торговли, оказывает сильное влияние на стабильность американской экономики; по сравнению с 60-ми годами объем международной торговли в настоящее время составляет почти вдвое большую долю в валовом национальном продукте США.

В этих условиях, если иностранные компании будут развиваться и внедрять новые технологии быстрее, чем американские, то производственные издержки у иностранных компаний будут падать быстрее, чем у американских. Снижение затрат иностранными производителями приведет к вытеснению американских компаний с мирового рынка и, как следствие, к вынужденному сокращению числа рабочих мест или снижению заработной платы. Фактически интенсивный приток импортных товаров на внутренние рынки США в последнее десятилетие в значительной степени объясняется тем, что зарубежные фирмы осуществляли переход на новые технологии быстрее американских.

В то же время, если американские компании преуспеют в более быстрой разработке и внедрении новых технологий по сравнению со своими зарубежными конкурентами, то есть все основания полагать, что экономическая ситуация в корне изменится. Бо-



ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА И РАЗМЕР ВЫПЛАТ РАБОЧИМ (общая сумма заработной платы и пособий, выплачиваемых рабочим, деленная на общее количество отработанных человеко-часов) в США росли параллельно. Это говорит о том, что переход на новые технологии не является причиной снижения темпов роста доходов рабочих, наблюдаемого в последние годы.

более высокие темпы роста производительности труда в промышленности США будут способствовать снижению производственных затрат и, как следствие, снижению цен. В свою очередь более низкие цены будут стимулировать увеличение новых высокооплачиваемых рабочих мест в отраслях американской экономики.

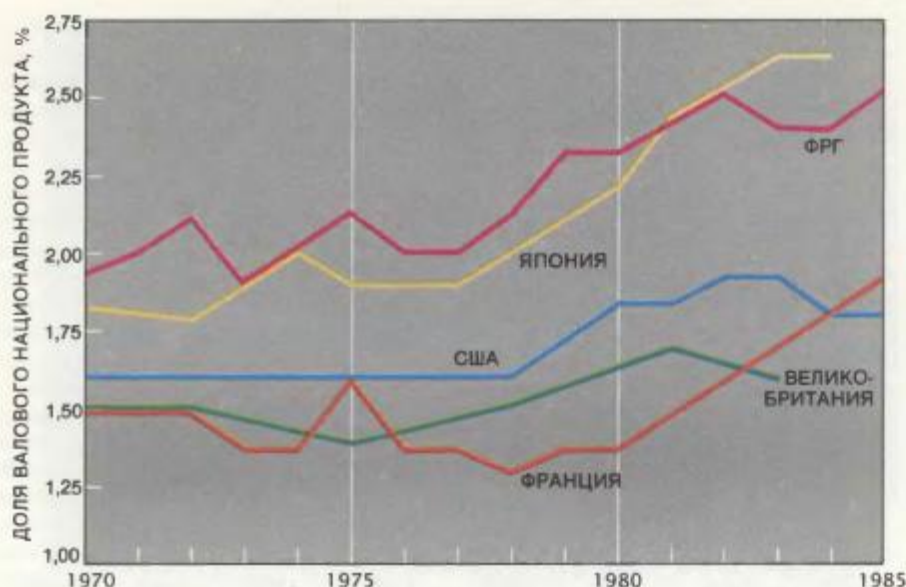
Однако удерживать такое лидирующее положение не легко, поскольку научные, технические и практические знания, которые являются фундаментом для широкого внедрения новых технологий, могут легко преодолеть государственные границы и становиться всеобщим достоянием. По этой причине однажды достигнутый успех в конкурентной борьбе благодаря применению уникальной технологии или высокого профессионализма со временем утрачивается в результате распространения за пределы одного государства знаний, лежащих в основе этого успеха. Кроме того, скорость, с которой технологии перекосятся из одной страны в другую, минуя государственные границы, в последнее время возросла в результате развития средств коммуникации и транспорта, увеличения иностранных инвестиций в экономику США, а также за счет возросшего научно-технического уровня работ, проводимых во многих лабораториях мира.

Следовательно, в будущем любой технический успех, который сможет одержать та или иная американская компания в соперничестве с ее зарубежными конкурентами, по всей видимости, окажется менее длитель-

ным. Действительно, в условиях мировой экономики 90-х годов снижение занятости в США по причине медленного или недостаточно эффективного перехода на новые технологии, похоже, будет намного превосходить сокращение числа рабочих мест, обусловленное быстрым внедрением тех же самых технологий.

Такой вывод не предвещает американской экономике ничего хорошего, поскольку страна уже отстает от других промышленно развитых государств в темпах и масштабах внедрения таких кардинальных для производства технологий, как роботы и станки, управляемые ЭВМ. По оценкам Р. Джейкумара из Гарвардской школы бизнеса, японские компании в период с 1982 по 1986 г. на автоматизацию своих заводов затратили вдвое больше средств, чем американские компании. Причины отставания промышленности США в темпах внедрения передовых технологий точно не известны. По-видимому, частично это можно объяснить разницей, наблюдаемой в США и других промышленно развитых странах, в цене капитала и темпах роста капиталовложений, в уровне квалификации производственных рабочих, а также в подходах, практикуемых управленческим звеном, к оценке и вложению средств в новые технологии (см. Р.Ландау. Экономический рост США, «В мире науки», 1988, № 8).

ОСНОВНОЕ бремя задачи, которая стоит перед американскими управляющими и политиками, заклю-



ФИНАНСИРОВАНИЕ гражданских исследований в США в последние годы составляло меньшую долю объема национального продукта, чем в ФРГ или Японии. Однако по сравнению с этими странами в США больше расходовалось средств на военные исследования и разработки. Хотя перекачка технологических достижений из области оборонных исследований в свое время содействовала ускоренной разработке полупроводников, реактивных двигателей и средств вычислительной техники для гражданских нужд, авторы считают, что в настоящее время военные исследования и разработки в меньшей степени оказывают влияние на развитие гражданских отраслей промышленности.

чается в том, чтобы сделать все возможное для быстрого и эффективно внедрения новых технологий. Достижение этой цели неминуемо потребует от государственных и частных организаций увеличения расходов на подготовку рабочих кадров в США. Однако неопределенность в отношении того, какие новые специальности и какой уровень квалификации потребуются в связи с переходом на более прогрессивные технологии, вносят элемент риска в стратегию инвестирования средств в программы по обучению молодежи и подготовки специалистов для тех видов работ, которые могут появиться в обозримом будущем.

Смысл более разумной стратегии заключается в том, чтобы дополнительные средства затратить на улучшение системы профессионального обучения по основным специальностям и тем самым повысить способность рабочих адаптироваться к новым условиям. Даже если технический прогресс остановился бы завтра, то перспективы сохранить свою работу для тех, кто только начинает трудовую деятельность и не имеет солидной профессиональной подготовки, выглядят довольно мрачно. Но как раз уровень общей профессиональной подготовки в будущем приобретет еще большее значение при поиске новой работы или сохранении прежнего места. Такая ситуация может предвез-

щать явно неудовлетворительное положение в будущем для небольшой части молодых рабочих и для экономики в целом. Большая доля тех, кто начнет свою трудовую деятельность в текущем году и следующем десятилетии, включает в себя негров и лиц латиноамериканского происхождения, многие из которых не получили хорошего начального и среднего образования.

Решения, имеющие своей целью улучшить подготовку и повысить адаптационную способность рабочих кадров в США, должны затрагивать интересы не только тех молодых людей, которые готовятся стать рабочими, но и тех, кто уже трудится. Действительно, общественные и частные программы помощи, по-видимому, должны уделять больше внимания квалифицированным рабочим, поскольку большинство из тех, кто занят в настоящее время, в 2000 г. будут составлять основную численность трудовых кадров. Хотя многим из них переподготовка может оказать существенную помощь, потенциальный выигрыш от этого мероприятия нельзя переоценивать. Некоторым рабочим, особенно тем, кто потерял относительно высокооплачиваемую работу на предприятиях, производящих товары длительного пользования, переподготовка вряд ли обеспечит прежний заработок.

Самое малое, что требуется сделать в первую очередь, — это дать ос-

новные профессиональные знания тем высвобожденным рабочим, у которых таких знаний нет, потому что такое дополнительное образование может существенно улучшить их перспективы на возвращение к рабочим местам. Следует учесть, что многие, если не большинство потерявших свое место, в основном пытаются найти другую работу. По этой причине программы по переподготовке, которые не включают оказание помощи в трудоустройстве, вряд ли могут рассчитывать на широкое в них участие. Программы, рассчитанные на оказание помощи утратившим место работы, должны также предусматривать другие виды услуг: даже квалифицированный рабочий, знания и опыт которого удовлетворяют требованиям сегодняшнего дня, может нуждаться в советах и рекомендациях в случаях, когда ему грозит увольнение.

НАРЯДУ с правительственными программами по повышению квалификации рабочих, имеющих небольшой или никакого опыта работы, на которые были затрачены небольшие средства, существует небольшое число программ, удовлетворяющих потребности квалифицированных работников, потерявших работу. Программа «Помощь по переквалификации», вступившая в силу в 1962 г., предусматривает оказание материальной помощи и переподготовку рабочих, которые могут доказать, что они были уволены в компаниях, не выдержавших конкурентной борьбы с иностранными компаниями, экспортирующими свою продукцию в США, но единственной общегосударственной программой, отвечающей нуждам всех уволенных рабочих, независимо от причин увольнения, является раздел III Закона 1982 г. «О содействии рабочим в профессиональной подготовке».

Главной целью этой программы, среднегодовой бюджет которой в период 1982—1988 гг. составлял примерно 200 млн. долл., является скорейшее трудоустройство уволенных рабочих. Однако услуги по этой программе в основном предоставлялись рабочим, которым относительно легко подыскать новое место работы. Таким образом, данная программа не охватывает большую часть уволенных рабочих. По оценкам Центрального финансового управления США, произведенным в 1987 г., правом, предоставляемым законом «О содействии рабочим в профессиональной подготовке», ежегодно пользовалось не более 7% уволенных рабочих. Кроме того, упомянутый закон не предусматривает общую или специальную профессиональную подготовку и

лишь изредка по нему выплачиваются денежные пособия рабочим.

В 1988 г. годовой фонд на льготы, предусмотренные в разделе III упомянутого закона 1982 г., был увеличен до 1 млрд. долл. и некоторые положения самого закона были изменены. Тем не менее требуются дополнительные реформы этого законодательного акта в направлении расширения сферы его действия, с тем чтобы он распространился на всех уволенных рабочих, предусматривал более высокий уровень общей и специальной подготовки, а также увеличение размера денежных пособий рабочим, получающим такую подготовку. Кроме того, необходимо упорядочить и привести к взаимному соответствию существующее многообразие федеральных и местных (действующих в штатах) услуг по трудоустройству, систем страхования на случай потери работы, программ по переподготовке и оказанию помощи рабочим. Например, мало что делается в отношении отмены действующих запретов на получение людьми, обучающимися в школах профессиональной подготовки, пособия по безработице, которое является основным источником временного дохода для многих уволенных рабочих. Тем не менее ряд штатов практикует такие ограничения.

Право на то, чтобы воспользоваться помощью, предоставляемой рабочим, не должно также зависеть от того, удалось ли рабочему доказать, что причиной его увольнения был переход на новую технологию. Наличие такого требования может усложнить процедуру оформления помощи и вызвать задержку в ее получении. Ограничения на предоставление помощи, например, препятствовали рабочим использовать в полной мере льготы, предусматриваемые программой «Помощь по переквалификации». Даже в период, когда эта программа действовала наиболее эффективно, средняя продолжительность срока, который требовался на подтверждение права на помощь, составляла 9 месяцев. В 70-е годы некоторые рабочие, уволенные с предприятий автомобильной промышленности, начали получать денежные пособия по упомянутой программе тогда, когда им уже разрешили вернуться на прежние рабочие места.

Услуги, оказываемые рабочим в виде помощи, наиболее эффективны тогда, когда они предоставляются еще до того, как рабочие окажутся уволенными. Для этого, однако, необходимо, чтобы рабочих заранее извещали о предполагаемом сокращении объемов производства. Недавно

принятое правительством решение о том, что о готовящихся массовых увольнениях или закрытии предприятия рабочих следует информировать за 60 дней, может послужить не только сокращению государственных расходов на выплаты компенсаций уволенным рабочим, но и более плавному регулированию рынка рабочей силы.

ДЛЯ УСКОРЕНИЯ внедрения научно-технических новшеств в экономику США одних лишь изменений в правительственных программах помощи рабочим далеко не достаточно. В стране коренным образом должен измениться сам подход к науке и технике. Политика США в этой области такова, что основное внимание уделяется «генерированию» новых знаний, а не получению новой продукции или нового способа производства на базе этих знаний. Поскольку знания в области науки и техники распространяются сегодня в масштабе всего мира быстрее, чем когда-либо прежде, экономический эффект от средств, вложенных в крупные научные исследования, не всегда может проявиться в той стране, где эти затраты были произведены.

В прошлом США могли полагаться на инвестиции в прикладные исследования военных технологий, надеясь на то, что результаты можно будет с успехом использовать в гражданской экономике. Однако оказалось, что вклад исследований такого рода в области микроэлектроники в коммерческую сферу снизился. Направление взаимного влияния, можно сказать, даже изменилось на обратное: теперь, похоже, уровень военных технологий зависит от того, насколько прогрессивными они оказались в гражданском секторе. В настоящее время в США на исследование, не связанные с обороной, выделяется меньшая доля валового национального продукта, чем в ФРГ или в Японии. Действительно, увеличение расходов на гражданские исследования в основных отраслях науки и техники может теперь дать военной технологии по меньшей мере столько же, сколько и увеличение на такую же сумму бюджета оборонных исследований.

При рассмотрении вопроса о финансировании гражданских научных исследований и разработок правительство США должно также отказаться от прежнего стремления поддерживать сомнительные дорогостоящие работы, якобы обещающие стремительное продвижение вперед на пути технического прогресса. Типичным примером такой порочной практики могут служить несколько

исследовательских программ в области энергетики, относящихся к 70-м годам. Если финансируемые из государственных средств программы проведения научных исследований и разработок рассчитаны на ускорение практического применения новых технологий, то им следует придавать больше внимания, имея в виду постоянное увеличение объемов финансирования и расширение сферы действия. Они должны быть также достаточно привлекательными для частного сектора, чтобы предприниматели были заинтересованы вкладывать в них свои средства.

Одной из моделей таких программ может служить исследовательская программа НАСА по космонавтике. Эта программа в значительной степени содействовала модернизации и укреплению международной конкурентоспособности гражданской авиационной промышленности. Другие примеры программ, которые не замыкались на узком направлении и отвечали нуждам разнообразных отраслей промышленности, включают создание по инициативе Национального научного фонда центров технических исследований, а также другие инициативы ННФ в проведении исследований совместными усилиями университетов и промышленных организаций. Недавно предпринятая конгрессом акция по расширению ответственности Национального бюро стандартов (которая включала и изменение названия этой организации, ставшей Национальным институтом стандартов и технологий) также в первую очередь имеет своей целью содействие переходу на новые технологии в пределах всей страны.

Однако по мере того, как в научно-технической политике федеральных властей стремление к распространению нововведений и их коммерциализации становится все более настойчивым, США приходится противостоять проявлению чрезмерно националистических или даже протекционистских тенденций. Дело в том, что проводимые в настоящее время в США исследования в области науки и техники в значительной степени зависят от исследований, осуществляемых в других странах, и препятствия, чинимые международным научным связям и сотрудничеству, в конце концов могут стать тормозом на пути прогресса в данной стране. Если участие иностранцев в той или иной исследовательской программе будет ограничено из-за желания обеспечить Соединенным Штатам возможность самим воспользоваться всеми потенциальными экономическими выгодами от этой программы, американские

компании и исследователи могут испытать ответную реакцию, выражающуюся в ограничении доступа к работам, проводимым в других государствах. По этой причине запрещение участия иностранных компаний в консорциуме SEMATECH (Semiconductor Manufacturing Technology), созданном с целью разработки новых технологий в области производства полупроводников, и в Национальном центре по научным исследованиям в области промышленного производства (National Center for Manufacturing Sciences, Inc. в Энн-Арборе, шт. Мичиган), деятельность которых осуществляется в соответствии с научными программами, частично финансируемыми из государственных фондов, может дорого обойтись США.

Вместо того чтобы ограничивать доступ иностранных ученых и инженеров к результатам научных исследований, проводимых на государственные средства, США должны всячески стремиться к тому, чтобы облегчить американским ученым и инженерам доступ к результатам исследований, выполняемых в зарубежных лабораториях. Кроме того, американские компании должны пристальнее следить за достижениями других стран в области науки и техники и стремиться ускорить внедрение новшеств, основанных на этих достижениях. Экономическому процветанию США протекционизм в сфере научных исследований содействует не больше чем протекционизм в торговой политике.

ПОСКОЛЬКУ быстрое и повсеместное внедрение новых технологий играет ключевую роль в повышении доходов рабочих и служащих и увеличении занятости, как рабочие, так и управляющие выступают за то, чтобы их содействие переходу на более прогрессивные технологии поощрялось. Однако в ряде отраслей американской промышленности это обстоятельство не послужило улучшению взаимопонимания между рабочими и управляющими.

Улучшить ситуацию в этом отношении могли бы новые методы административного руководства. Одной из наиболее серьезных проблем, вызывающих озабоченность у заводских рабочих и конторских служащих, переходящих на новые технологии, является обеспечение гарантий на занятость. Меры, которые могли бы снять эту озабоченность, включают перевод работников на другие рабочие места в той же компании, введение программ, предусматривающих возможность досрочного ухода на пенсию, переподготовку и оказание помощи в трудоустройстве увольняе-

мых рабочих. Без этих мер взаимопонимания между рабочими и управляющими может легко нарушиться.

В то же время профсоюзы должны проявлять большее стремление в пересмотре существующей классификации работ и тарифных ставок, с тем чтобы обеспечить компании необходимую организационную гибкость при внедрении новых технологий. Имеется немало случаев, когда профсоюзы идут на уступки требованиям администрации. Так, в ряде недавно принятых соглашений в автомобильной и аэрокосмической отраслях повышение заработной платы увязывается не с ростом стоимости жизни, а основано на долевом участии рабочих в прибылях. Некоторые американские компании и профсоюзы строят свои отношения на принципе «услуга за услугу»: в обмен на отказ от пересмотра классификации работ и систем оплаты труда и выплат различных пособий, администрация заверяет профсоюзы в том, что она будет стремиться сокращать как можно меньше рабочих и гарантирует им максимальную занятость. Представители администрации и рабочие во многих отраслях могли бы выиграть от подобных взаимных уступок.

Не менее важную роль для рабочих и служащих той или иной компании играет изменение ее организационной структуры, необходимое для успешного перехода на новые производственные процессы. При такой реорганизации на рабочих часто возлагается повышенная ответственность за качество выпускаемой продукции и за управление технологическим процессом. Роль (а возможно, и численность) среднего звена управляющих в этом случае снижается. По этой причине управляющие среднего звена могут оказывать сопротивление организационным изменениям, диктуемым условиями перехода на новые технологии.

Это повышение ответственности означает, что обучение рабочих не должно производиться только тогда, когда на заводе или в учреждении устанавливается новое оборудование. Такое обучение должно быть непрерывным. Если предполагается, что производственные рабочие должны взять на себя многие функции управляющих среднего звена или технического персонала, то их профессиональный уровень должен периодически повышаться по соответствующим программам подготовки рабочих кадров, подобных тем, которые разработаны и действуют в некоторых американских компаниях и рассчитаны на средний управленческий и технический персонал.

Другим фактором, препятствующим внедрению новой технологии на

предприятиях в частном секторе, являются ошибочные решения самого управленческого персонала. Многие американские корпорации при оценке эффективности вложения средств в новую технологию пользуются аналитическими методами, завышающими прямые трудовые затраты (выплаты основным производственным рабочим) и не учитывающими потенциальную экономию на накладных расходах. Следует, однако, иметь в виду, что снижение накладных расходов — это одна из наиболее важных выгод, получаемых от перехода на технологии, основанные на применении вычислительной техники, и от организационных преобразований, сопутствующих внедрению этой новой технологии. Действительно, во многих отраслях японские компании по экономии накладных расходов в большей степени опережают своих американских конкурентов, чем по экономии прямых трудовых затрат.

Кроме того, стандартные методы экономического анализа часто не позволяют учесть в терминах затрат и прибылей последствия усовершенствования качества продукции, снижения товарно-материальных запасов и другие невидимые выгоды, получаемые в результате перехода на прогрессивные методы производства. Поскольку управляющие не определяют количественно размер такой экономии на затратах, они, возможно, также не способны количественно оценить выгоды реорганизации, которая во многих случаях должна сопутствовать внедрению новых производственных процессов.

Подводя итог, можно сказать, что при подготовке управляющих в США их обучают, как представляется, устаревшим методам экономического анализа; действующая методика не ориентирована на обеспечение потенциальных преимуществ в конкурентной борьбе, которая по своей сути требует творческого подхода к применению современной технологии. Разработка новых аналитических методов, которые учитывали бы технологические, организационные и стоимостные показатели нововведений, — давно назревшая задача.

ПЕРЕХОД на новую технологию и сопутствующие ему структурные изменения пронизывают американскую экономику, как и всякую другую динамически развивающуюся экономическую систему. Такие изменения, не снижая общего экономического благополучия в стране, являются существенным фактором обеспечения дальнейшего роста доходов и занятости населения. Возросшая роль международной торговли в амери-

канской экономике и ускоренные темпы ее технического перевооружения привели к тому, что быстрое развитие и внедрение новых технологий стали фактором первостепенной важности в обеспечении конкурентоспособности страны на мировом рынке. Характерные для экономики США 80-х годов бюджетный и торговый дефициты потребуют как от правительства, так и от граждан страны умения жить на собственные средства, повышения экономии и увеличения инвестиционных расходов, а также снижения потребительских расходов. Эти меры окажутся не столь обременительными, если им будет сопутствовать рост производительности труда, темпы которого должны быть выше тех, которые наблюдались в истекшем десятилетии. И в решении этой проблемы ключевая роль опять отводится переходу на новые технологии, но для этого потребуются проведение более прогрессивной политики как в обществе в целом, так и в частном секторе, чтобы справиться с неизбежно порождаемым при этом изменении занятости. Необходимо разработать отвечающие требованиям сегодняш-

него дня меры по оказанию помощи уволенным рабочим, повышению эффективности национальной системы образования, а также укреплению взаимопонимания между рабочими и представителями администрации. Такие меры, призванные исключить нежелательные последствия внедрения новой технологии в экономике, могут содействовать ее распространению во всех отраслях.

У США нет другого выхода, кроме как создать условия, при которых разработка и переход на новые технологии были бы более эффективными и в меньшей степени ущемляли бы интересы рабочих и служащих. Удержание лидирующего положения в реализации новой технологии имеет существенное значение для расширения экономических возможностей в интересах всех членов общества. Действительно, нет оснований сомневаться в том, что с переходом на новые технологии открываются широкие возможности для повышения экономического благосостояния страны при одновременном росте эффективности ее экономики.

Наука и общество

Причина — вирус?

ПРИЧИНА рассеянного склероза — неизлечимого заболевания, которым только в США страдают 250 тыс. человек, до сих пор остается неустановленной. Высказывались предположения об участии инфекционного агента в развитии заболевания. Но нет сколько-нибудь четких гипотез о механизме разрушения миелиновых оболочек отростков нервных клеток, происходящем при рассеянном склерозе. Деструкция миелина приводит к рубцеванию, и с годами развиваются тремор мышц, паралич и различные осложнения, порой с летальным исходом.

Когда нет ясности, ценны любые новые идеи и инициативы. Поэтому понятно оживление, вызванное двумя недавно опубликованными сообщениями о том, что у некоторых больных рассеянным склерозом в ДНК есть последовательности, сходные с участками генома одного из известных вирусов. Можно предположить, что этот или родственный ему вирус играет роль в развитии заболевания. В таком случае появляется мишень для новых стратегий лечения.

В 1985 г. Е. Редди, Х. Копровски и их коллеги из Вистаровского институ-

та анатомии и биологии в Филадельфии и М. Сандберг-Воллхейм из Лундского университета (Швеция) сообщили, что у части больных рассеянным склерозом обнаруживаются антитела, реагирующие с Т-лимфотропным вирусом человека типа I (HTLV-I; от англ. human T-lymphotropic virus type I). А в начале 1989 г. они представили в журнал "Science" прямые доказательства этого: с помощью метода амплификации ДНК в образцах крови шести больных рассеянным склерозом из Швеции выявлены последовательности ДНК, сходные с участками генома HTLV-I. Из 20 здоровых людей только у одного этот анализ дал положительный результат. Копровски считает, что существует тесная связь между вирусными последовательностями в клеточной ДНК и заболеванием и что причиной появления этих последовательностей является HTLV-I или родственный вирус.

О том же говорят данные, полученные С. Гринбергом из Национального института рака, а также Б. Пойежом и Г. Эрлихом из Медицинского центра Университета шт. Нью-Йорк в Сиракьюсе (их статья должна быть опубликована в журнале "Proceedings of the National Academy of Science of

the U.S.A"). Они тоже применили метод амплификации ДНК и нашли последовательности, сходные с одним из фрагментов генома HTLV-I у 6 из 21 человека с рассеянным склерозом, но ни у кого из 35 здоровых человек. Другой фрагмент HTLV-I присутствовал у всех обследованных. По словам Т. Уолдмэна из Национального института рака, под впечатлением этих результатов он и его коллеги пришли к выводу, что иногда рассеянный склероз связан с присутствием в организме неизвестного ранее ретровируса, родственного HTLV-I.

Такое предположение подтверждается рядом косвенных данных. Так, известно, что HTLV-I вызывает по крайней мере еще одно деструктивное поражение нервной системы и одну из форм лейкоза. Другие ретровирусы являются причиной медленно развивающихся заболеваний у животных и СПИДа у человека.

Никто не утверждает, что вирус — единственная причина рассеянного склероза. Д. Макфарлин из Национального института неврологических заболеваний, речевых расстройств и паралича отмечает, что рассеянный склероз более распространен в северных широтах, где HTLV-I встречается редко, и потому сомневается в том, что этот вирус — единственная причина болезни. Существует гипотеза, по которой вирусные последовательности в клеточной ДНК активируются, когда какой-то другой агент вызывает реакцию иммунной системы, и тогда эта реакция может обернуться против самого организма.

Есть и другие источники сомнений. Макфарлин указывает на то, что при такой высокой чувствительности, какую имеет метод амплификации ДНК, даже очень небольшое загрязнение образца может исказить результаты. Кроме того, тропический спастический парализ, вызываемый HTLV-I, трудно отличить от того типа рассеянного склероза, который изучали Гринберг с коллегами.

За прошедшие годы 20 различным вирусам (три из них обнаружил Копровски) приписывалось участие в патогенезе рассеянного склероза. Это, равно как и тот факт, что ретровирусные последовательности имеются в ДНК человека, тоже ослабило энтузиазм по поводу вирусной этиологии заболевания. Б. Ваксман из Национального общества по проблеме рассеянного склероза указал, что нормальный геном человека содержит фрагменты ДНК ретровирусов по крайней мере пяти семейств.

Тем не менее, коль скоро на пути поисков причин рассеянного склероза открытия не иссякают, надежды больных, быть может, оправдаются.

Синтез сверхтяжелых элементов

Тонкие квантовомеханические эффекты стабилизируют ядра, которые намного тяжелее ядер, существующих в природе. Экспериментаторам пришлось пересматривать представления о том, как лучше синтезировать такие сверхтяжелые элементы

ПЕТЕР АРМБРУСТЕР, ГОТФРИД МЮНЦЕНБЕРГ

ВТЕЧЕНИЕ последних 20 лет во многих странах мира внимание физиков привлекала проблема получения сверхтяжелых элементов. В Дармштадте в Институте исследований с тяжелыми ионами (ГСИ) нам удалось добиться определенных успехов, синтезировав ядра элементов 107, 108 и 109. Эти ядра находятся за «порогом» 106-го протона, который отмечает предел для существовавших ранее методов получения и идентификации тяжелых элементов.

Экспериментальные измерения масс ядер и теоретический анализ показывают, что стабильность этих новых элементов обусловлена прежде всего микроструктурой их протонных и нейтронных систем, а не макроскопическими свойствами, определяющими стабильность более легких ядер. Однако мы столкнулись с проблемами, которые до сих пор затрудняют достижение целей, поставленных в конце 60-х годов, когда казалось, что элементы вплоть до 114-го находятся в пределах досягаемости. Преодолевая эти трудности, мы продвинулись в изучении ядерной структуры и динамики реакций слияния ядер.

Нуклеосинтез прошел долгий путь от раннего периода, когда элементы, которые не существуют в природе, получали в ядерных реакторах. Физики применяли все более тяжелые ускоренные ионы для бомбардировки атомов мишени. Последним этапом в этом развитии стал метод «холодного слияния» ядер, в котором массы частиц и энергия бомбардировки должны быть тщательно определены, чтобы возбуждение вновь образующихся ядер было минимальным.

В процессе нашей работы почти все первоначальные представления о синтезе сверхтяжелых элементов пришлось пересмотреть: ядра элементов, которые можно синтезировать, являются деформированными, а не сферическими, как это постулировалось в 1966 г. Для слияния мы использовали

стабильные, широко распространенные в природе, сферические ядра и ускоренные ионы средних масс вместо искусственных наиболее тяжелых радиоактивных ядер и соответственно подобранных легких ускоренных ионов, как предполагалось ранее. Слияние должно происходить при возможно более низкой энергии бомбардировки — как можно «мягче», без применения «грубой силы» в виде избыточной энергии взаимодействия, которая, как полагали ранее, способствует процессу слияния.

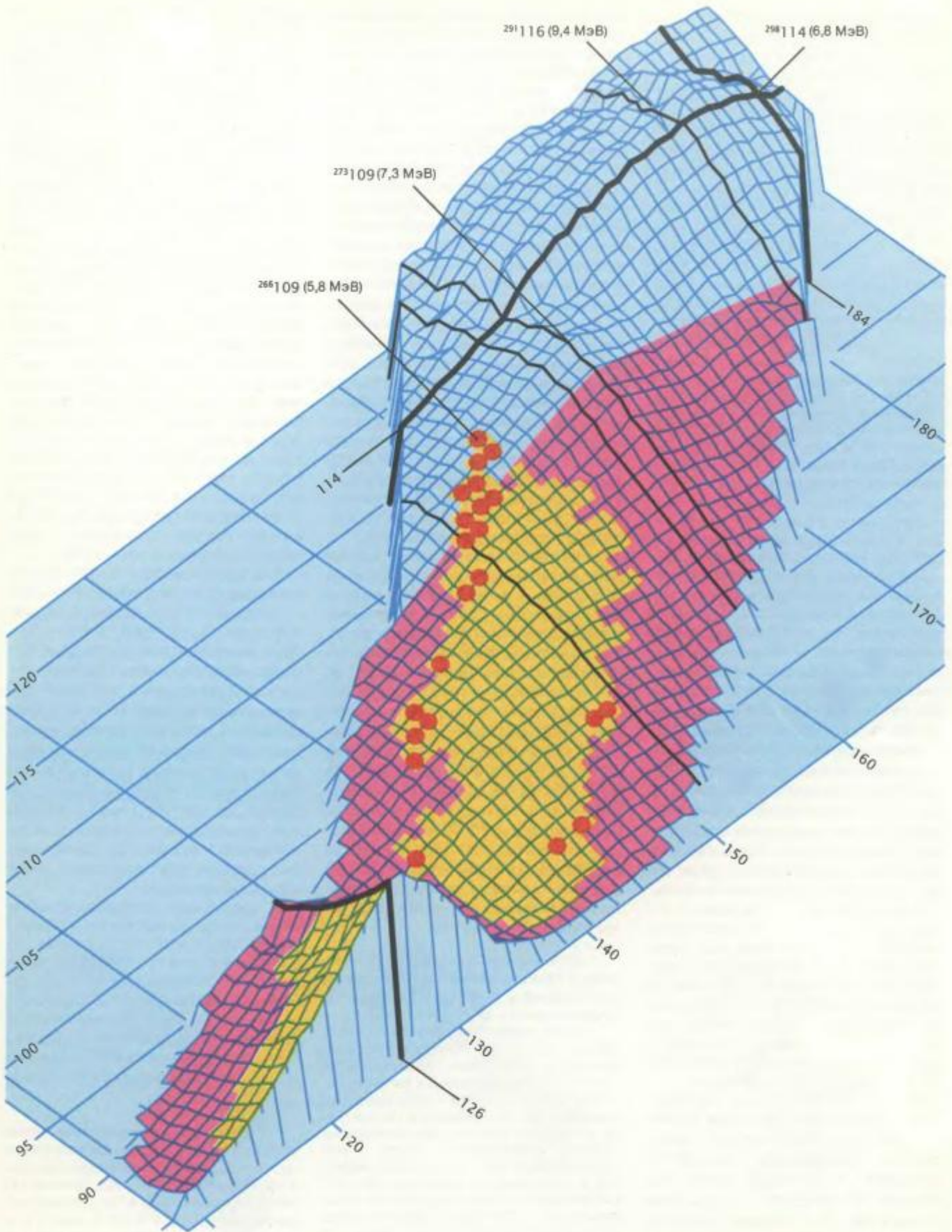
ИДЕЯ синтеза трансурановых элементов (с атомным номером более 92) возникла в 30-х годах. В 1934 г. Энрико Ферми бомбардировал таллий медленными нейтронами, чтобы после бета-распада (распад нейтрона на протон и электрон) получить свинец. В результате захвата нейтронов и последующего бета-распада образовывались элементы с атомными номерами, на единицу превышавшими исходные.

В период между 1940 г. и серединой 50-х годов путем нейтронного облучения были получены элементы 93, 94, 99 и 100. Фермий, элемент 100, неслучайно оказался последним в серии элементов, которые можно было получить методом нейтронного захвата и бета-распада, предложенным Ферми: ни один из его изотопов не испытывает бета-распад. В течение того же периода при облучении альфа-частицами были получены элементы от 95 до 98 и 101-й. В этом процессе тяжелое ядро поглощает два протона и два нейтрона; при этом атомный номер увеличивается сразу на две единицы. Подобно всем тяжелым элементам, трансурановые элементы содержат больше нейтронов, чем протонов; например, плутоний (элемент 94) содержит 145 нейтронов при полной массе 239; наиболее долгоживущий изотоп фермия имеет 157 нейтронов при полной массе 257.

Естественным способом получения элементов выше 100-го считалось слияние ядер наиболее тяжелых элементов с ядрами легких элементов, содержащих больше протонов и нейтронов, чем гелий. Элементы вплоть до 99-го доступны, поскольку их можно синтезировать в весовых макроскопических количествах. В Беркли (США) и Дубне (СССР) были построены ускорители для получения тяжелых ионов с энергией, достаточной для преодоления препятствующих слиянию ядер электростатических сил. В период между 1958 и 1974 гг. эти ускорители тяжелых ионов позволили синтезировать элементы от 102 до 106. Приоритет открытия этих элементов и, следовательно, право их наименования остаются до сих пор предметом дискуссий.

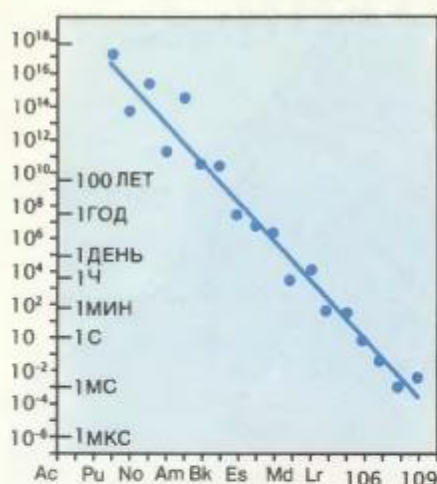
Методы, столь успешно применявшиеся в Беркли и Дубне, оказались неэффективными для получения элементов тяжелее 106-го. Чтобы понять, почему так трудно синтезировать сверхтяжелые элементы и почему некоторые из них могут быть особенно стабильны, необходимо выяснить, как ядра сохраняются как единое целое или же разваливаются и как баланс различных сил, определяющий их стабильность, изменяется с увеличением массы. Эффекты, которыми для более легких ядер можно пренебречь, определяют различие между полной нестабильностью и относительно большими временами жизни сверхтяжелых ядер.

Особенно важным для всех ядер является взаимосвязь сильных ядерных сил, притягивающих как протоны, так и нейтроны, и электростатических сил, отталкивающих протоны. Чем тяжелее ядра, тем больше в них нейтронов, что в некоторой степени компенсирует влияние сил отталкивания между протонами. Тем не менее сила связи между нуклонами достигает максимума у железа (26 протонов и 30 нейтронов), что соответствует ме-



ЗАМКНУТЫЕ ЯДЕРНЫЕ ОБОЛОЧКИ (черные линии) выделяют ядра, у которых числа протонов и нейтронов соответствуют повышенной стабильности. Приведенные здесь оболочечные поправки увеличивают энергию связи ядер и определяют возможность существования изотопов, которые не были бы стабильны, являясь просто каплями «ядер-

ной жидкости». Жидкокапельный барьер деления (розовый цвет) исчезает вблизи элемента 107. Оболочечные эффекты максимальны вблизи свинца (внизу слева) и затем снова возрастают в области сверхтяжелых элементов. Кружками отмечены числа протонов и нейтронов у изотопов, синтезированных в Дармштадте группой авторов статьи.



ВРЕМЕНА ЖИЗНИ радиоактивных элементов быстро уменьшаются с увеличением их массы. Полученные к настоящему времени наиболее тяжелые элементы распадаются почти мгновенно после образования, поэтому для их детектирования и идентификации необходимы новые методы.

нее четверти пути по периодической таблице, а затем она уменьшается.

Расщепление любого ядра тяжелее железа должно сопровождаться выделением энергии, однако энергия, необходимая для расщепления менее массивных ядер, чем свинец, так велика, что такую реакцию можно осуществлять только в особых условиях. Поскольку ядра тяжелее свинца, могут переходить в более устойчивое состояние, испуская даже небольшую часть своих нуклонов, они нестабильны. Существующие в природе изотопы тория и урана распадаются в основном путем испускания альфа-частиц. Только у урана и более тяжелых элементов невозбужденные ядра могут испытывать спонтанное деление.

В основном с ростом атомного номера (число протонов в ядре) нестабильность атомных ядер увеличивается: периоды их полураспада уменьшаются от нескольких тысяч лет до миллионных долей секунды. Однако из теории строения ядра следует, что элементы, лишь немного тяжелее полученных к настоящему времени, будут не менее, а более стабильны.

Ядра с определенными комбинациями нейтронов и протонов имеют особенно большую энергию связи; гелий-4, кислород-16, кальций-40, кальций-48 и свинец-208 очень стабильны по сравнению с соседними элементами. Эти большие значения обусловлены оболочечной структурой — ядерным эквивалентом оболочек, на которых находятся электроны вокруг ядра. Конфигурации нуклонов, образующие полностью заполненные (замкнутые) оболочки, осо-

бенно стабильны. Для свинца оболочечная структура способствует увеличению энергии связи ядра на 11 млн. электронвольт (МэВ) по сравнению с гипотетической ядерной каплей, лишенной структуры и имеющей то же число нейтронов и протонов. Для большинства ядер с энергиями связи до 2 млрд. эВ такое увеличение сравнительно незначительно. Однако для наиболее тяжелых элементов, находящихся на границе стабильности, «оболочечная стабилизация» может приводить к различию между мгновенным распадом и относительно длительным существованием ядер.

Ядра с замкнутыми нейтронными и протонными оболочками особенно стабильны; после свинца такие оболочки появляются при 114 протонах и 184 нейтронах. Успехи теории оболочек в предсказании энергий связи для легких ядер породили надежду, что ядра с массой, близкой к 298, могут быть настолько сильно стабилизированы, что, подобно урану и торью, могут образовать область относительно стабильных элементов. Такие оболочечно-стабилизированные сверхтяжелые элементы в отличие от элементов в области урана—тория должны быть нестабильны как однородные капли ядерного вещества.

Первый из оболочечно-стабилизированных сверхтяжелых элементов, 107-й, свойства которого, как предположил Ферми, должны соответствовать экауранию, был идентифицирован в Дармштадте в 1981 г., спустя 47 лет после этого предсказания*. Затем нами были получены и идентифицированы элементы 108 и 109. Измерения их энергий связи показывают, что мы уже вступили в область сверхтяжелых элементов. В настоящее время мы исследуем ограничения, препятствующие получению еще более тяжелых элементов.

* 107-й элемент был впервые синтезирован в Объединенном институте ядерных исследований в Дубне в экспериментах, проводившихся в 1975—1976 гг.

Термин «сверхтяжелый» используется обычно для более тяжелых нуклидов, близких к следующему за свинцом-208 дважды магическому ядру, которое, согласно теоретическим предсказаниям, должно иметь 114 протонов и 184 нейтрона и является центром гипотетического «острова стабильности». Вместе с тем определяющая роль оболочечных эффектов в стабильности элементов 104—107 («оболочечная стабилизация») была установлена еще в 70-х годах в Дубне на основе экспериментально полученных данных. В этой статье предлагается весьма условная трактовка термина «сверхтяжелый элемент», согласно которой он применим для ряда уже синтезированных элементов, включая и более легкие, чем 107-й. — *Прим. перев.*

СИНТЕЗ тяжелых элементов в реакциях слияния требует от экспериментатора умения «пройти по тонкой грани» между теми методами бомбардировки, в которых слияния не происходит, и теми методами, которые приводят к делению ядра-продукта, вместо того чтобы оставить его в относительно стабильном состоянии. Снижение нагрева вновь образовавшегося ядра представляет собой наиболее важную причину перехода от бомбардировки тяжелых мишеней сравнительно легкими ионами к бомбардировке менее массивных мишеней относительно более тяжелыми ионами (перехода, начатого Ю.Ц. Оганесяном и его сотрудниками из Объединенного института ядерных исследований в Дубне**). Например, при слиянии свинца-208 или висмута-209 с хромом-54 или железом-58 энергия возбуждения нового ядра составляет около 20 МэВ. В то же время слияние тяжелых актиноидных мишеней (кальфорния-249, берклия-249 или кюрия-248) с углеродом-12, азотом-15 или кислородом-18 приводит к энергии возбуждения около 45 МэВ.

Ядро, образованное с использованием легких ионов и мишеней из актиноидов, остывает, испуская четыре нейтрона. В отличие от этого ядро, образованное из свинца или висмута и более тяжелых ионов, остывает, испуская только один нейтрон. Поскольку вероятность того, что ядро охладится, испустив нейтрон, составляет всего несколько процентов вероятности его деления, конечный выход сверхтяжелых ядер значительно снижается на каждой ступени каскада эмиссии нейтронов. Механизм однонейтронной релаксации намного более пригоден для сохранения вновь образованного ядра.

К сожалению, холодное слияние имеет также и недостаток: в данном случае электростатические силы отталкивания между двумя ядрами в большей степени препятствуют их слиянию. Когда два ядра сближаются, часть их кинетической энергии превращается в энергию возбуждения промежуточной системы сталкивающихся ядер и, следовательно, не мо-

** В результате экспериментов, проводившихся с 1973 г. в Дубне с использованием этого метода, названного впоследствии «холодным слиянием», был получен ряд новых изотопов 104-го и 105-го элементов, синтезированы 106-й и 107-й элементы, а также установлена новая закономерность в систематике времен жизни относительно спонтанного деления. В 80-х годах основные результаты этих исследований были подтверждены в Дармштадте группой П. Армбрустера и Г. Мюнценберга. — *Прим. перев.*

жет быть использована для преодоления барьера слияния, что в свою очередь снижает вероятность слияния. В случае холодного слияния с использованием более тяжелых ионов в процессе сближения и прохождения барьера слияния преобразуется больше кинетической энергии и вероятность преодоления этого барьера снижается по сравнению с реакциями между легкими ионами и наиболее тяжелыми мишенями.

Если для компенсации этих потерь увеличивать начальную энергию, энергия возбуждения возрастет и число образующихся ядер уменьшится. В результате только за 106-м элементом проявляются преимущества метода холодного слияния*. Нами было показано, что максимальные сечения реакций образования тяжелых элементов находятся в узком энергетическом диапазоне — примерно на 5 МэВ выше барьера слияния.

ВТО ВРЕМЯ КАК теория получения сверхтяжелых ядер может быть весьма интересна сама по себе, на практике это гораздо более сложная задача. Теоретические расчеты должны сочетаться с конструированием ускорителя и мишени, а также с разработкой системы детекторов, которая сможет зарегистрировать существование сверхтяжелого ядра сразу же, как оно будет синтезировано. Когда в конце 60-х годов идея получения сверхтяжелых элементов завладела

* Однако известно, что, например, сечение типичной реакции «холодного слияния» $^{208}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, 2n)^{254}102$ в несколько раз превосходит сечения всех других реакций, приводящих к образованию 102-го элемента. — Прим. перев.

воображением физиков и химиков, никто в ФРГ не имел опыта проведения нуклеосинтеза. Для начинающих в этой области было открыто много «дверей». Можно было многому научиться на основе экспериментов, проведенных ранее в Беркли и Дубне, однако было ясно, что дальнейшего прогресса нельзя достигнуть путем копирования этих исследований. Были необходимы ускоритель тяжелых ионов, экспрессные методы разделения для выделения новых элементов и соответствующая техника их идентификации. Не было ответа и на вопрос о том, какие именно реакции должны привести к успеху.

В 1969 г. правительство ФРГ совместно с правительством земли Гессен решило финансировать создание нового института для исследований с тяжелыми ионами (Общество исследований с тяжелыми ионами, ГСИ) в Дармштадте. Универсальный линейный ускоритель (УНИЛАК), на котором ведутся эксперименты в ГСИ, начал работать в 1975 г.

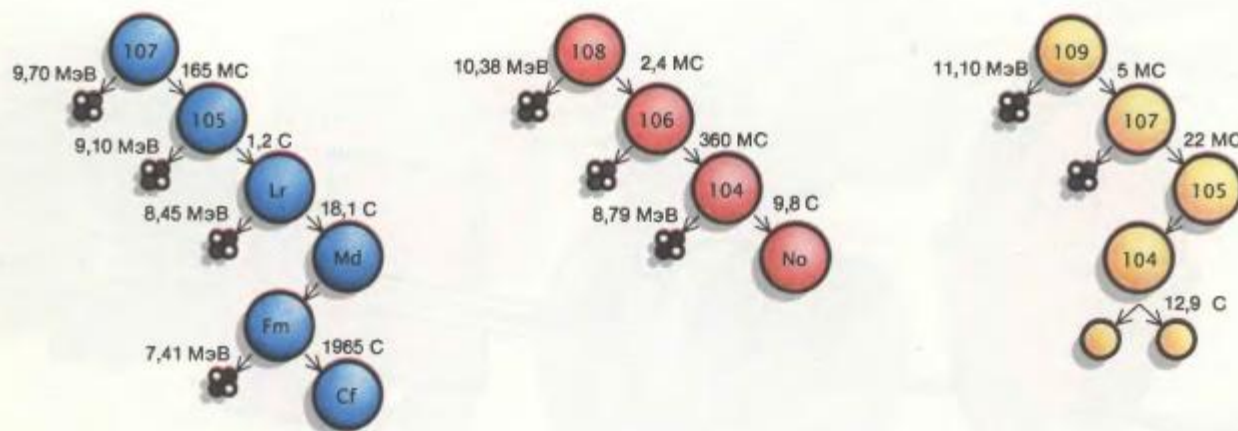
УНИЛАК может ускорять все ионы до урана включительно до энергий, превышающих кулоновский барьер. С самого начала эта установка предназначалась для получения возможно более интенсивных ионных пучков. Особые усилия были направлены на то, чтобы можно было плавно изменять энергию ионов и устанавливать ее на заданном уровне с достаточно хорошей воспроизводимостью. Первоначально проект ускорителя разрабатывался К. Шмельцером и его сотрудниками в Гейдельберге. При этом учитывался уже накопленный опыт других научных групп: ионные источники представляли собой модификацию источников, использовав-

шихся в Дубне для получения высокозарядных ионов, а разработанная в Беркли система Альвареса была использована в высокочастотной системе линейного ускорителя.

Когда УНИЛАК был построен, перед многими учеными был поставлен вопрос: как лучше всего использовать ускоритель? Какие реакции и какие экспериментальные методы должны применяться? В начальный период своего существования УНИЛАК использовался для проверки самых разнообразных идей, однако успешной оказалась единственная стратегия — холодное слияние в сочетании с транспортировкой ядер отдачи (продуктов слияния).

СО ВРЕМЕНИ открытия в 1941 г. плутония было синтезировано около 400 т этого элемента, что соответствует 10^{30} атомов. С другой стороны, было получено и идентифицировано всего несколько атомов 109-го элемента. Почему наиболее тяжелые элементы получают в таких исчезающе малых количествах? Ответ заключается в следующем: для производства плутония тонны нейтронов бомбардируют блоки урана-238 толщиной несколько сантиметров или более, а на УНИЛАКе ускоряется всего 100 мкг железа-58 для бомбардировки мишени из свинца-208 толщиной несколько сотен нанометров. Кроме того, поперечное сечение реакции нейтронного захвата, в которой образуется плутоний-239, приблизительно в 10 триллионов раз больше поперечного сечения реакции слияния, в которой образуется 109-й элемент.

Трудности при получении более тяжелых элементов составляют только часть проблемы. Будучи синтезиро-



СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ 107, 108 и 109 были идентифицированы на основе цепочек распада, наблюдавшихся в Институте исследований с тяжелыми ионами (ГСИ) в Дармштадте. Детекторы регистрировали массу поступившего продукта слияния и затем последовательность актов

испускания альфа-частиц, а в случае элемента 104 — спонтанного деления. Вероятность случайного появления таких коррелированных сигналов составляет менее 10^{-15} ; таким образом, единственная цепочка распада может доказывать существование сверхтяжелого элемента.

ванными, такие элементы, как 109-й, распадаются столь быстро, что синтез «не поспевает» за распадом. Наиболее тяжелые элементы настолько короткоживущи, что к концу облучения все образовавшиеся атомы уже распадаются. Поэтому эти атомы следует детектировать и идентифицировать в процессе их получения.

Методы получения и регистрации элементов вплоть до 106-го основывались главным образом на механических средствах транспортировки образующихся атомов из зоны реакции к детекторам. Время транспортировки между образованием и детектированием продуктов реакций определялось скоростями их переноса в потоке газа, временем их диффузии из твердых поверхностей или скоростью вращающихся мишеней. Эти методы, однако, были недостаточно хороши для регистрации элементов тяжелее 106-го, вынуждая идти на неприемлемый выбор, между скоростью и точностью детектирования, так что, используя более быстрые методы, оказалось невозможно надежно идентифицировать новые изотопы.

Для транспортировки образующихся ядер к детекторам мы выбрали методику, основанную на использовании скорости отдачи, которую продукты реакции приобретают от тяжелых ионов. Когда тяжелый ион сталкивается с атомом мишени и сливается с ним, образовавшееся ядро движется по направлению первоначального движения иона со скоростью, составляющей около нескольких процентов скорости света. В результате

можно детектировать ядра с периодами полураспада до 100 нс.

Хотя методика транспортировки ядер отдачи позволяет детектировать и идентифицировать очень короткоживущие ядра, техника детектирования становится при этом более сложной. Из зоны реакции с высокой скоростью выходят не только отдельные ядра, образовавшиеся в реакции слияния, но и триллионы тяжелых ионов, а также тысячи атомов, выбитых из мишени. Чтобы отделить сверхтяжелые ядра от остаточного пучка, мы построили специальный фильтр скоростей — сепаратор продуктов реакций с тяжелыми ионами SHIP (Separator for Heavy-Ion Reaction Products), разработанный совместно со специалистами Второго физического института Университета в Гиссене. На основе кинематики столкновения и слияния ядер скорость отдачи продуктов слияния можно рассчитать заранее. Следовательно, их можно выделить относительно простым способом.

Фильтр скоростей состоит из двух ступеней, каждая из которых включает как электрическое, так и магнитное поля. Эти два поля отклоняют заряженные частицы в противоположных направлениях; только для ядра, имеющего определенную скорость, влияние полей взаимно исключается, и оно продолжает движение в медианной плоскости установки. Такой фильтр-транду уменьшает число ускоренных ионов, попадающих в область детектирования, в 100 млрд. раз, а число выбитых ядер мишени — в 1000 раз.

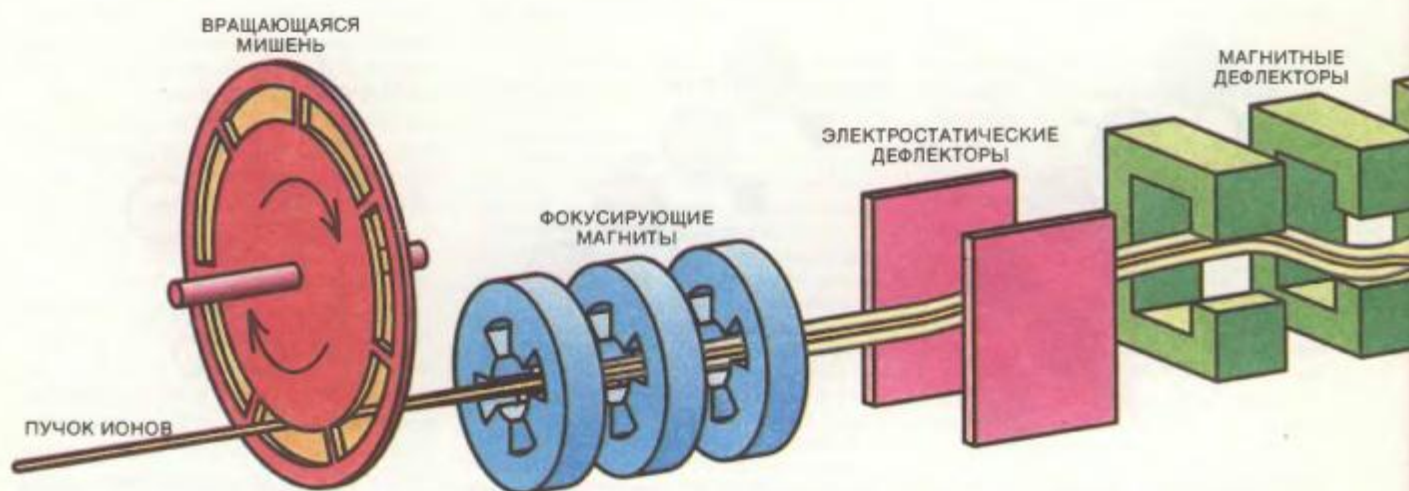
Исключая из пучка почти полно-

стью все нежелательные частицы, спектрометр SHIP пропускает более 40% продуктов слияния. Детекторы, расположенные за спектрометром, регистрируют цепочки распада частиц, прошедших через спектрометр, что позволяет однозначно идентифицировать продукты слияния.

Первым элементом детектирующей системы является время-пролетное устройство, которое позволяет измерить скорость частицы в третий раз (первые два измерения заложены в принципе действия фильтра скоростей). После прохождения этого устройства частица имплантируется в позиционно-чувствительные кремниевые поверхностно-барьерные детекторы, которые регистрируют ее энергию и место попадания. Поскольку комбинация времени пролета и энергии дает возможность приблизительно определить массу частицы, можно отличать продукты слияния от рассеянных ионов и выбитых ядер мишени.

Для надежной идентификации ядра необходимо тем не менее установить корреляцию его распада с распадом его радиоактивных дочерних продуктов*. Акты распада, обусловленные

* Такой способ непригоден для ядер, испытывающих главным образом спонтанное деление, в результате которого образуются осколки с широким распределением по массам и зарядам. В этом случае для идентификации используются другие способы, например классический метод перекрестных реакций, а также определенные угловых и энергетических характеристик продуктов ядерных реакций. — Прим. перев.



ЭФФЕКТИВНЫЙ ФИЛЬТР имеет особенно важное значение для детектирования и идентификации сверхтяжелых элементов. Фильтр SHIP (сепаратор продуктов реакций с

тяжелыми ионами) в ГСИ состоит из двух ступеней электростатических и магнитных дефлекторов, пропускающих только ионы с определенной скоростью. Ионы, не соот-

одним и тем же ядром, должны иметь одинаковые пространственные координаты, а тип, энергия и период полураспада дочерних ядер известны из предшествующих измерений.

Устанавливая такие коррелированные акты распада, можно однозначно идентифицировать каждое ядро — продукт слияния. Хотя случайное ядро, попавшее в одно и то же место с исследуемым продуктом слияния, может испытывать распад и вызвать пространственно коррелированный сигнал, весьма маловероятно, чтобы его энергия распада, период полураспада и тип распада совпали с ожидаемыми для продукта слияния. Мы наблюдали такие цепочки распада вплоть до четвертого поколения; вероятность того, что подобные серии коррелированных событий случайны, составляет от 10^{-15} до 10^{-18} . Если коррелированные события, обусловленные исследуемым изотопом, наблюдаются раз в сутки, то случайного появления событий, имитирующих четыре поколения актов распада, можно ждать в течение времени, в 100 раз превышающего возраст Земли. В результате даже одиночное событие может однозначно указывать на существование данного сверхтяжелого изотопа.

В ПЕРИОД между 1981 и 1986 гг. совместно с нашими коллегами П. Хессбергером, З. Хофманом, М. Лейно, В. Райсдорфом и К.-Х. Шмидтом мы использовали УНИЛАК, SHIP и его систему детектирования для синтеза и идентификации элементов

107—109. В этих экспериментах было синтезировано 14 изотопов элементов 104—109 (пять из которых были известны ранее), а также еще два изотопа 107-го и 108-го элементов с массовыми числами 261 и 264 соответственно.

В 1981 г. нами был получен изотоп 107-го элемента с массовым числом 262 путем бомбардировки висмута-209 ионами хрома-54. Для нечетно-нечетного изотопа 107-го элемента (имеющего нечетное число протонов, и нейтронов) мы установили пять значений энергии альфа-частиц, что дает представление об энергетических ядерных уровнях; мы можем сообщить также, что этот изотоп имеет изомер (долгоживущее возбужденное состояние).

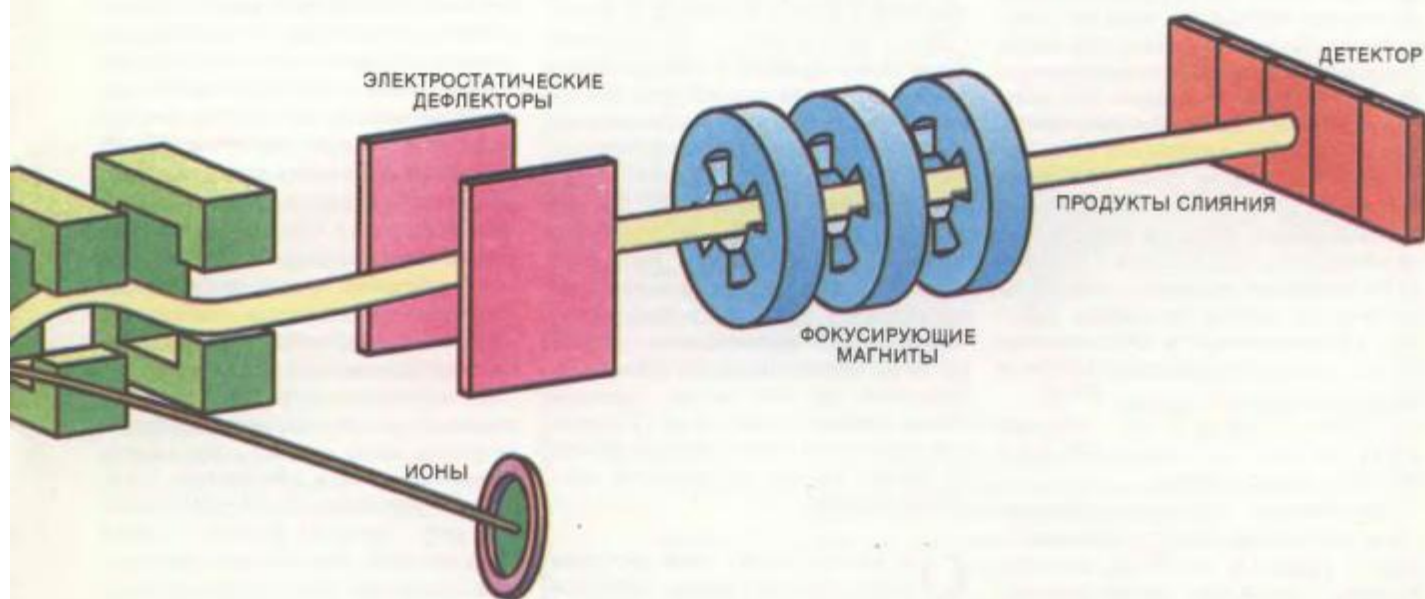
109-й элемент был идентифицирован на основе наблюдения единственной цепочки распада, зарегистрированной в 16 ч 10 мин 29 августа 1982 г. в реакции между железом-58 и висмутом-209. Ядро $^{266}109$ существовало 5 мс, прежде чем испустить альфа-частицу с энергией 11,1 МэВ; образовавшееся при этом ядро 107-го элемента распалось на 105-й элемент через 22 мс; 105-й элемент распался на 104-й элемент с последовавшим через 12,9 с спонтанным делением его ядра. Из этого единственного события можно было, хотя и с ограниченной точностью, определить энергию распада, период полураспада и поперечное сечение реакции. Еще две цепочки распада наблюдались в начале 1988 г. — через шесть лет после идентификации 109-го элемента. Они под-

твердили интерпретацию события, зарегистрированного в 1982 г.

В 1984 г. мы идентифицировали три цепочки распада изотопа $^{265}108$ в реакции между железом-58 и свинцом-208. Два идентифицированных изотопа 107-го и 109-го элементов являются нечетно-нечетными и вероятность их деления сильно снижена, однако изотоп 108-го элемента имеет четное число протонов и нечетное число нейтронов. Хотя у четно-нечетных изотопов вероятность деления значительно выше, изотоп $^{265}108$ также испытывает альфа-распад.

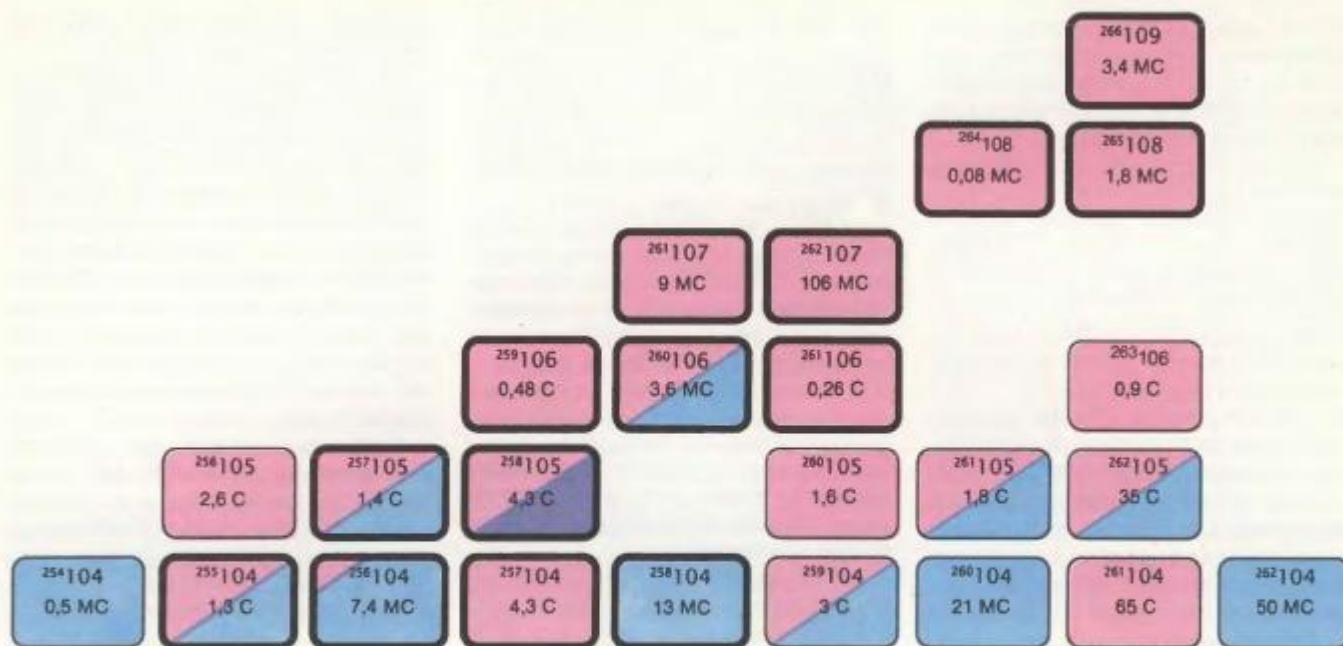
Особенно интересно, что ни один из изотопов элементов 107—109 не делится спонтанно, а все четно-четные изотопы $^{265}104$, $^{260}106$ и $^{264}108$ имеют примерно одинаковую стабильность относительно спонтанного деления*. Приблизительно постоянный уровень

* Преобладание альфа-распада в конкуренции со спонтанным делением — наиболее яркое проявление стабилизирующего влияния оболочек у ядер элементов 106—109, которое, особенно в случае четно-четных изотопов, нельзя объяснить в рамках жидко-капельной модели ядра. Впервые этот эффект был экспериментально установлен в Дубне у нечетно-нечетного изотопа $^{261}107$ (1967 г.), а затем у четно-четных изотопов $^{260}106$ (1983 г.) и $^{264}108$ (1984 г.). Вместе с тем спонтанное деление также может играть заметную роль, составляя десятки процентов от полной вероятности радиоактивного распада этих ядер. Так, например, вероятность спонтанного деления изотопа $^{261}107$ составляет по данным, полученным в Дубне, около 20%. — *Прим. перев.*



ветствующие характеристикам ожидаемых продуктов слияния, отклоняются от траектории ионного пучка. Фильтр SHIP уменьшает число тяжелых ионов в пучке в 10^{11} раз, а

число рассеянных ядер мишени — в 10^3 раз. Однако сверхтяжелое ядро более чем в двух случаях из пяти имеет возможность достичь детектора.



СВЕРХТЯЖЕЛЫЕ ИЗОТОПЫ отличаются своей устойчивостью по отношению к делению (голубой цвет). Вместо деления они распадаются путем испускания альфа-частиц (розовый цвет) или электронного захвата (процесса, в котором один протон превращается в нейтрон, при этом

атомный номер ядра уменьшается на единицу). В отличие от основной тенденции снижения стабильности с увеличением атомного номера время жизни 109-го элемента, больше чем у 108-го. Изотопы, выделенные в черные рамки, синтезированы группой авторов статьи в Дармштадте.

стабильности показывает, как стабилизирующие оболочечные эффекты конкурируют с общим падением стабильности при увеличении массы ядер.

ЗА 104-м и 105-м элементами находится небольшой «остров» ядер, которые при испускании альфа-частиц распадаются с образованием известных изотопов более легких элементов. Такие акты альфа-распада позволяют определить энергию связи этих сверхтяжелых элементов. Если энергия связи дочернего ядра известна, то на каждой стадии по энергии альфа-распада можно рассчитать энергию связи материнского ядра. Если известна энергия связи конечного продукта, то по цепочке актов альфа-распада можно прийти в энергии связи начального ядра цепочки. Поскольку был зарегистрирован распад 108-го и 104-го элементов (по одному событию в каждом случае) и 106-го элемента (по нескольким событиям), можно реконструировать цепочку $^{264}_{108} \rightarrow ^{260}_{106} \rightarrow ^{256}_{104} \rightarrow ^{252}_{102}$. Энергии связи этих ядер составляют 120, 106 и 94 МэВ соответственно.

Оболочечная поправка к энергии связи постепенно растет у всех изотопов от урана-232 до $^{264}_{108}$, которые связаны процессом альфа-распада; соответствующие значения увеличиваются от 1—2 до 6—7 МэВ. Фактически все элементы от урана до 108-го элемента имеют одинаково высокие

барьеры деления — около 6 МэВ. В отличие от урана, еще стабильного, как ядерная капля, стабильность 106-го и 108-го элементов полностью обусловлена квантовомеханической структурой их многочастичных фермионных систем. В последних теоретических работах предсказываются барьеры деления, которые согласуются с нашими измерениями.

Время жизни элемента относительно деления определяется в основном высотой и шириной барьера деления. Оболочечные поправки увеличивают времена жизни 106-го и 108-го элементов на 15 порядков величины. На логарифмической шкале наблюдаемые времена жизни находятся в середине диапазона между *собственным* ядерным временем (примерно 10^{-21} с для распада несвязанной нуклонной системы) и возрастом Вселенной (10^{18} с). Новые элементы нестабильны только по сравнению с продолжительностью человеческой жизни ($2 \cdot 10^9$ с). Чтобы соответствовать стабильности по этой шкале, времена жизни должны возрасти на 12 порядков величины. Однако ядерная физика не базируется на человеческом масштабе времени.

ОБНАРУЖЕННЫЙ нами «остров» альфа-радиоактивных изотопов является прямым следствием их стабилизации благодаря оболочечным эффектам. Таким образом, предсказанная в конце 60-х годов стабилизация

сферических сверхтяжелых ядер вблизи 114-го элемента начинается намного раньше, чем ожидалось, и постепенно нарастает. В узкой области нестабильности за свинцом, между элементами 83 и 90, оболочечные эффекты ослабляются. Однако в интервале между 92-м и 114-м элементами величина оболочечной поправки медленно и монотонно возрастает.

Даже в окрестностях «острова» сверхтяжелых ядер происходит стабилизация вследствие квантовомеханической структуры фермионных систем, в то время как на «материке» стабилизация ядер обусловлена макроскопическими жидкокапельными свойствами. Ядра элементов 107-109 находятся на «дамбе» между «островом» и «материком», поэтому новые изотопы можно отнести и к «острову», и к «материке». В любом случае — подобно сверхтяжелым элементам — их удалось наблюдать только благодаря оболочечной стабилизации их основных состояний.

Из последних теоретических предсказаний для оболочечных поправок к энергиям связи следует, что между элементами 106 и 126 должна быть область примерно из 400 сверхтяжелых ядер, имеющих барьеры деления выше 4 МэВ. Все эти изотопы должны иметь периоды полураспада более 1 мкс; если их удастся синтезировать, то детектировать их можно будет существующими методами. Особенно стабильные области предпола-

гаются вблизи изотопов $^{273}109$ и $^{291}115$. При числе нейтронов около 166 деформация основного состояния изменяется. Изотопы с меньшим числом нейтронов деформированы, в то время как более тяжелые изотопы имеют сферическую форму.

В ТЕЧЕНИЕ последних 20 лет все попытки получить изотопы вблизи ожидаемого центра стабильности — ядра $^{298}114$ — оказались безуспешными. Зарегистрировать эти сверхтяжелые изотопы не удалось ни в реакциях слияния, ни в любых других реакциях с участием тяжелых ионов. Тем не менее основная идея о возможности существования оболочечно-стабилизированных нуклонных систем, кроме стабильных ядерных капель, подтверждена экспериментами, описанными выше. Теоретически же сохраняются все основания верить в экстраполяцию к еще более тяжелым элементам.

Теперь возникает интересный вопрос: что в конечном счете препятствует созданию этих «хрупких» объектов? Некоторые важные разъяснения удалось получить в наших интенсивных исследованиях реакций слияния. Оболочечно-стабилизированное ядро, сферическое в основном состоянии, может быть разрушено даже при столь малой энергии возбуждения, как 15 МэВ, это было экспериментально продемонстрировано К.-Х. Шмидтом еще в 1979 г., в то время как деформированные ядра могут сохраняться при энергии возбуждения до 40 МэВ. Даже в реакции между кальцием-48 и кюрием-248 (наиболее подходящей из доступных реакций) энергия возбуждения составляет около 30 МэВ. Отсюда следует, что можно получить сверхтяжелые элементы только с деформированными ядрами. Однако до настоящего времени такие попытки были успешными лишь для элементов с атомными номерами меньше 110*.

Как отмечалось ранее, слияние двух ядер, приводящее к образованию сверхтяжелого ядра, с самого начала осложняется необходимостью преодолеть барьер слияния. Для данного ядра-продукта этот барьер минимален, когда наиболее тяжелые мишени бомбардируются по возможности более легкими ионами. Несмотря на это преимущество, такая наиболее асимметричная комбинация имеет недостаток, заключающийся в максималь-

ном нагреве ядра-продукта, что приводит к большим потерям вследствие деления в процессе девозбуждения. Чем менее асимметрична комбинация, тем меньше потери на стадии охлаждения. Наилучший компромисс между малыми потерями на конечной стадии и большой вероятностью образования на начальной представляющей собой более симметричные комбинации с ядрами мишени вблизи свинца.

Применение свинца и висмута в качестве мишеней дает двойную пользу от оболочечного эффекта в этих ядрах: сильная связь в этих ядрах с их дважды замкнутыми оболочками приводит к уменьшению более чем на 10 МэВ энергии, передаваемой ядру-продукту, и соответствующему уменьшению потерь из-за деления. Кроме того, вероятность преодолеть барьер слияния увеличивается, если в реакции используются сферические, сильно связанные и относительно жесткие ядра. Здесь снова проявляются сильные оболочечные эффекты у свинца, однако на этот раз в динамике процесса.

Теперь мы начинаем понимать, почему будет очень трудно получить еще более тяжелые элементы. Только

сочетание оболочечных поправок у партнеров реакции слияния, имеющих замкнутые оболочки, оболочечных эффектов в динамике и повышенной устойчивости возбужденных деформированных сверхтяжелых ядер позволило нам синтезировать несколько изотопов наиболее легких из сверхтяжелых элементов. Мы должны были распространить первоначальный вопрос о существовании оболочечно-стабилизированных ядер на эффект оболочечных поправок на всех стадиях реакции. Особенно важно при создании этих сложных и «хрупких» объектов ввести уже существующий порядок в процесс слияния, избежав ненужного беспорядка.

Как получить следующие сверхтяжелые элементы? Для 110-го и 111-го элементов можно будет применить разработанные нами методы в реакциях между никелем-62 и свинцом-208 или висмутом-209. Если только эти элементы образуются, для их детектирования потребуются не столько принципиально новые знания, сколько обеспечение потребностей в обогащенном изотопе и терпение для того, чтобы научиться владеть нашей аппаратурой и проводить эксперименты в течение нескольких месяцев.

Вниманию гипотетелей!

БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ МЛЕКОПИТАЮЩИХ. МЕТОДЫ

Перевод с английского
Под ред. М. Манк

В методическом руководстве, созданном авторитетными авторами из Великобритании и США, освещена вся совокупность подходов, применяемых при изучении ранних эмбрионов млекопитающих (в том числе и человека). Книга относится к зарекомендовавшей себя серии «Методы», издаваемой «ИРЛ Пресс».

В руководстве описаны следующие методы: содержание различных линий мышей; манипуляции с эмбрионами и их культивирование; получение химер; анализ мейотических и митоти-

ческих хромосом; анализ активности ферментов; оценка изменения состава белков на первых этапах раннего эмбрионального развития; создание кДНК-библиотек, выделение иРНК и клонирования кДНК; получение трансгенных животных; методы длительного сохранения ооцитов и эмбрионов мыши; получение ооцитов человека и оплодотворение *in vitro*; культивирование ранних эмбрионов человека.

Для эмбриологов, молекулярных биологов, студентов-биологов старших курсов.

1990, 30 л. Цена 4 р. 80 к.

На книги, выходящие в 1990 г.,
заказы принимают магазины научно-технической литературы.
Издательство заказы не принимает.

* Вместе с тем в последнее время в результате экспериментов, проводившихся в Дубне, получены данные, указывающие на образование ядер 110-го элемента в реакциях тория-232 с кальцием-44 и урана-235, 236 с аргоном-40. — *Прим. перев.*



Топобиология

Этим термином охватываются биологические взаимодействия, определяемые пространственным расположением.

Такие взаимодействия ярко проявляются в развивающемся зародыше.

Их исследование дает ключ к разгадке происхождения иммунной системы

ДЖЕРАЛД М. ЭДЕЛЬМАН

ОДНА из наиболее приятных особенностей занятия наукой заключается в том, что невозможно предсказать, куда приведет то или иное направление исследований. Интенсивное изучение чего-то одного может неожиданно осветить совсем другую проблему, долгое время остававшуюся загадкой. Такая неожиданная связь возникла недавно между двумя областями биологии, которым я посвятил большую часть своей научной деятельности. Первой областью было исследование структуры антител — молекул иммунной системы, которые распознают чужеродные агенты и приводят к их разрушению. Эта работа достигла своего апогея в конце 1960-х годов, когда, наконец, выяснилась сложная структура антител.

Затем, в начале 70-х годов, стало ясно, что антитела вместе с некоторыми другими молекулами иммунной системы составляют эволюционно родственную группу — так называемое сверхсемейство иммуноглобулинов. Хотя это было замечательным открытием, я, признаюсь, заинтересовался им гораздо меньше, чем если бы оно было сделано на несколько лет раньше. К тому времени меня уже занимала другая проблема: каким образом в развивающемся зародыше взаимодействуют клетки и в результате возникает новый организм. Эта новая работа привела к открытию молекул клеточной адгезии (CAM, от англ. cell-adhesion molecules), которые представляют собой белки, опосредующие взаимодействие клеток в зародыше.

Изучение CAM и родственных им молекул заложило фундамент молекулярной эмбриологии, связывающей форму и функцию эмбриональных тканей с эволюцией и генетикой. Данная статья посвящена в основном именно этим исследованиям, но в конце ее я вновь вернусь к предмету моей более ранней работы. По иронии судьбы открытие и исследование

CAM позволили решить давнюю проблему эволюционного происхождения сверхсемейства иммуноглобулинов. Недавно выяснилось, что гены CAM и гены иммуноглобулинов так сходны по последовательности ДНК, что наверняка эволюционно родственны. Кроме того, CAM распространены во всем животном царстве, а адаптивная иммунная система есть только у позвоночных. Поэтому весьма вероятно, что молекулы иммунной системы возникли из генов системы межклеточной адгезии — замечательный пример того, как эволюция использует уже существующее для создания нового.

ИАНТИТЕЛА, и молекулы клеточной адгезии проявляют себя на поверхности клеток. Взаимодействие между поверхностями клеток может приводить к изменениям экспрессии генов, формы клеток, их движения и функционирования. Какой именно будет реакция на межклеточное взаимодействие, в значительной степени зависит от «истории» данных клеток, а именно от того, с какими клетками они взаимодействовали в прошлом. Более того, поскольку эти взаимодействия зависят от того, какими клетками окружена данная клетка, их реакции различаются в разных частях организма. Такие взаимодействия, определяемые пространственным расположением, происходят и в иммунной системе, но особую роль они играют в эмбриональном развитии. Судьба клетки, т. е. чем она станет в зрелом организме, самым существенным образом зависит от ее положения и ближайшего окружения в зародыше.

Эмбриологи давно понимали, что положение клетки в эмбрионе играет важную роль в определении ее судьбы. Но мне представлялось необходимым четко обозначить эту область исследований, чтобы яснее были ее задачи, и года два назад я предложил назвать изучение взаимодействий,

происходящих на поверхности клеток, осуществляющих регуляцию их жизнедеятельности и зависящих от пространственного расположения, термином топобиология (от греч. topos — «место»).

Как стало ясно после открытия CAM, одним из основных факторов, определяющих положение клетки в эмбрионе (и тем самым форму и расположение тканей), являются молекулы клеточной адгезии. В последние годы было показано, что в адгезии клеток и сходных межклеточных взаимодействиях участвуют несколько семейств молекул (см. статью: Дж. Эдельман. Молекулы адгезии клеток и их роль в эмбриональном развитии, «В мире науки», 1984, № 6). Помимо самих CAM, это молекулы адгезии к субстрату (SAM — от англ. substrate-adhesion molecules) и молекулы клеточных контактов (CJM — от англ. cell-junctional molecules). В то время как CAM всегда находятся на клеточной поверхности и опосредуют межклеточные взаимодействия, SAM секретируются клетками в межклеточную среду, где входят в состав сложного матрикса, к которому клетки могут прикрепляться. CJM участвуют в формировании сложных структур, соединяющих клетки в тканях, в частности так называемых плотных контактов, щелевых контактов и адгезионных контактов.

Все известные CAM, SAM и CJM представляют собой сложно устроенные белки; структура некоторых из них уже довольно хорошо изучена. Сейчас основное внимание уделяется тому, как функционируют эти белки в зародыше и взаимосвязаны ли функции различных молекул. Установлено, что почти все известные CAM взаимодействуют друг с другом по так называемому гомофильному механизму: CAM одной клетки связывается с CAM того же типа, расположенной на соседней клетке. Между разными CAM есть и различия: они обладают неодинаковой специфичностью

связывания и по-разному зависят от ионов, в частности от ионов кальция.

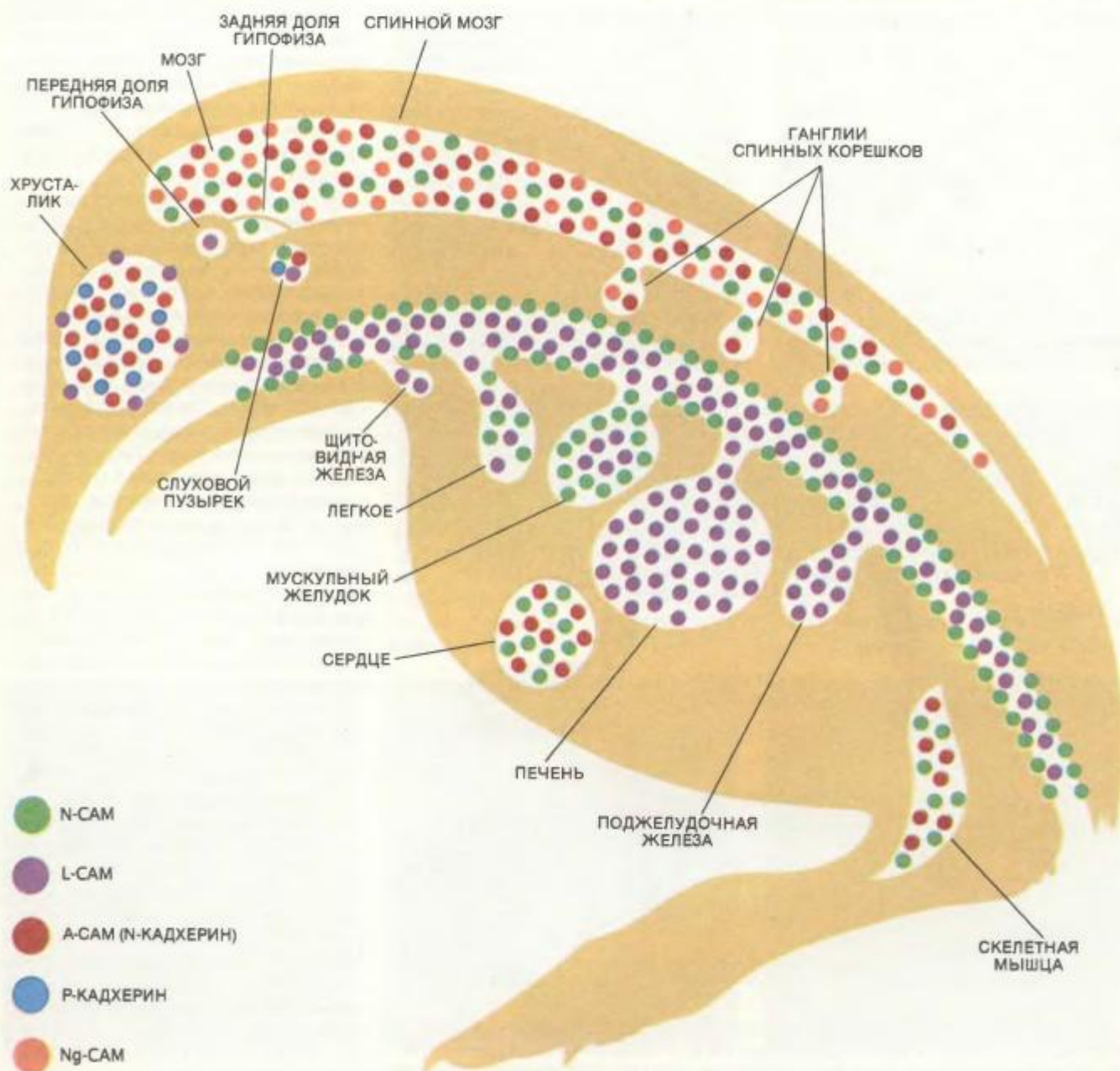
ВХОДЕ эмбрионального развития многократно происходит превращение эпителия в мезенхиму и наоборот. Мезенхима представляет собой группу подвижных клеток, не связанных друг с другом или подвижных клеток, не организованных как-либо в пространстве. Эпителий, напротив, — это пласт клеток с высокой степенью организации, причем клетки своими основаниями обычно соединены с внеклеточным матриксом. Соединение эпителия с матриксом осуществляется SAM, а между собой эпи-

телиальные клетки соединены специализированными контактными структурами, построенными из различных СМ. Поскольку превращение одной ткани в другую — это ключевой процесс эмбрионального развития, важно выяснить, какие из этих молекул ответственны за первичное превращение мезенхимы в эпителиальный пласт.

Недавно в моей лаборатории было показано, что на первых этапах формирования эпителия основную роль играют SAM, а формирование щелевых или адгезионных контактов определяется связыванием SAM между собой. В этих экспериментах осу-

ществлялась трансфекция: в культивируемые клетки, не имеющие SAM, вводили ДНК, кодирующую эти молекулы. Были выбраны SAM двух типов — нервной ткани (N-CAM) и печени (L-CAM); эти белки названы так по тем тканям (N от «nerve», L от «liver»), в которых их впервые обнаружили, но теперь известно, что они представлены в эмбрионе гораздо шире.

До введения ДНК N-CAM клетки были отделены друг от друга и напоминали мезенхиму, а после трансфекции они объединились в пласт, напоминающий эпителиальный. Когда пласт сформировался, между клетка-



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЯТИ ИЗВЕСТНЫХ молекул клеточной адгезии (SAM) в курином эмбрионе перед вылуплением. Распределение SAM, каждая из которых имеет свою специфичность связывания, позволяет предполагать, что они

участвуют в формировании зародыша. Их локализация меняется со временем: на более ранних стадиях участки, занимаемые различными SAM, перекрывались и охватывали большую часть зародыша.

ми возникли щелевые и адгезионные контакты. Похоже, что в результате действия генов SAM происходит сборка предсуществующих CJM в контактные структуры, т. е. этот процесс зависит прежде всего от SAM. Более того, добавление фрагментов антител против L-SAM, блокирующих гомофильное связывание между этими молекулами, приводило к распаду пласта и заметному уменьшению числа контактов между клетками.

Эти результаты указывают на значение SAM в эмбриональном развитии. Как уже отмечалось, превращение эпителия в мезенхиму и обрат-

но — один из важнейших процессов в эмбриональном развитии. Но это не единственный такой процесс. Так, например, весьма существенны некоторые точно организованные перемещения тканей и формирование новых границ между тканями. Роль SAM в этих пространственных перемещениях демонстрируется тем фактом, что SAM с разной специфичностью распределены по-разному. В развивающемся зародыше каждый из этих типов SAM имеет свою меняющуюся во времени картину распределения.

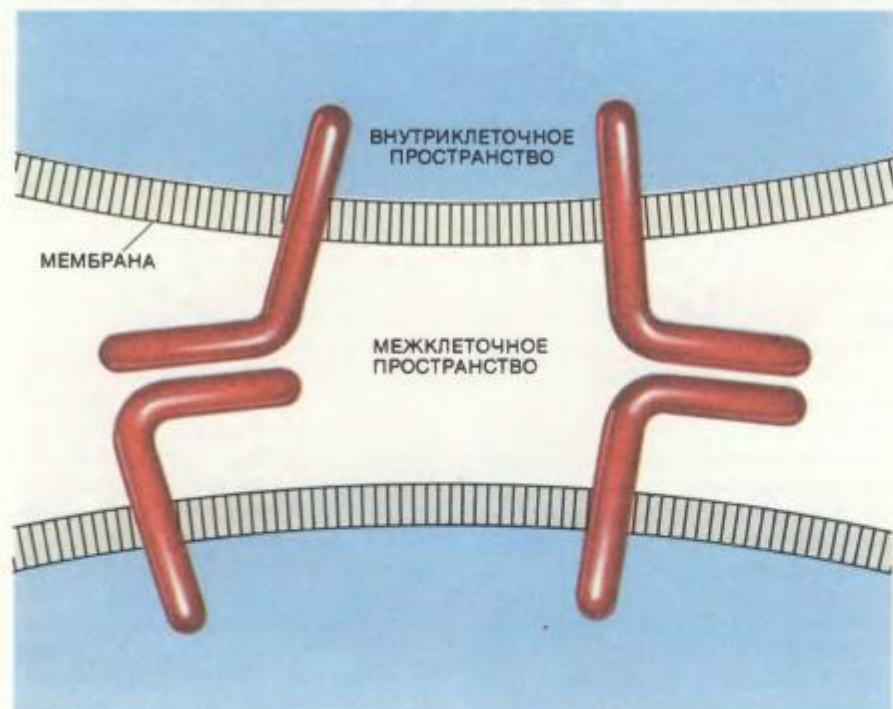
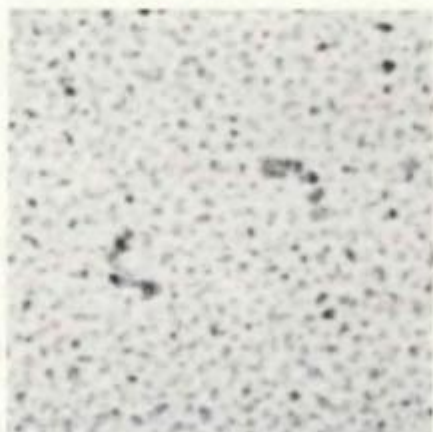
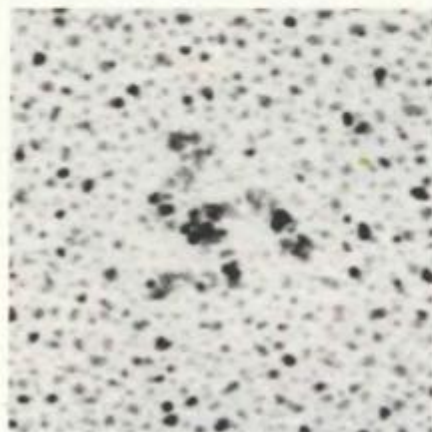
ПРЕКРАСНЫЙ пример осуществления всех этих топобиологиче-

ских процессов — формирование перьев у куриного эмбриона. Перья образуются в результате последовательных координированных процессов, включающих движение и размножение клеток, их запрограммированную гибель, прикрепление друг к другу и дифференцировку. На ранних этапах развитие перьев определяется взаимодействием двух типов эмбриональной ткани — мезодермы и эктодермы. Мезодерма дает начало большей части костей и мышц, а эктодерма — коже и нервной системе. Первым шагом к образованию перьев является индукция в специализированной эктодермальной ткани, называемой эпидермисом, особых структур — перьевых зачатков. Для их появления требуется обмен химическими сигналами между эктодермой и лежащей под ней мезодермой. Как выясняется, обмен сигналами зависит от SAM; это можно наблюдать, помещая кусочки кожи эмбриона в культуру ткани.

Недавно в моей лаборатории был проведен ряд экспериментов с целью нарушить связи между SAM и выяснить, как это сказывается на пространственных параметрах процесса образования перьевых зачатков. В нормально развивающемся эмбрионе индукция перьевых зачатков начинается вдоль средней линии тела, а затем распространяется в стороны, причем зачатки располагаются в гексагональном порядке. Такое распределение характерно и для плакод — предшественников перьевых зачатков, из которых впоследствии формируются структуры зрелого пера, и для сгущений дермы — подстилающих мезодермальных клеток. Сгущения дермы являются источником индукционного сигнала, необходимого для формирования плакод в вышележащем эпидермисе.

Клетки эпидермальных плакод связаны между собой L-SAM и не содержат N-SAM. Сгущения дермы, наоборот, содержат N-SAM, но не L-SAM. Мы предположили, что для правильного распределения перьевых зачатков необходимы сигналы не только от мезодермы к эпидермису, но и от эпидермиса к мезодерме, причем эта «сигнальная петля» как-то зависит от SAM. Поэтому мы добавили в культуру антитела к L-SAM. Эти антитела могли действовать только на межклеточные связи в эпидермисе, но не должны были влиять на сгущения дермы. Тем не менее после добавления антител распределение сгущений дермы также изменилось (см. верхний рисунок на с. 29).

Результат этого эксперимента указывает, что нарушение связей между



КЛЕТКИ СОЕДИНЯЮТСЯ молекулами клеточной адгезии, связывающимися гомофильно. SAM одной клетки взаимодействует с такой же SAM на другой клетке. Изображения вверху получены с помощью электронного микроскопа после напыления SAM платиной. Слева: три молекулы клеточной адгезии из нервной ткани (N-SAM), соединенные теми участками, которые выступают из клеточной мембраны наружу. Справа: одиночные молекулы клеточной адгезии из печени (L-SAM). SAM представляют собой гибкие линейные молекулы. Внизу показаны два предполагаемых механизма связывания N-SAM.

SAM в одном слое клеток влияет на «сигнальную петлю», от которой зависит нормальное распределение зачатков. При этом могут меняться как реакция эпидермальных клеток на сигналы от мезодермы, так и их собственные сигналы. В любом случае в итоге получается одно и то же: нарушается нормальный процесс пространственной организации. Интересно, что это длительный эффект. Даже через 10 дней после удаления антител из культуры характер развития перьев оставался нарушенным. Таким образом, правильная пространственная организация зависит от связи между клеточными ответами на индукционные сигналы и взаимодействиями, обеспечиваемыми SAM.

Эта связь сохраняет свое значение по мере развития перьев. Зрелое перо представляет собой сложную структуру, в которой от центральной оси (стержня, или стебля пера) отходят более мелкие лучевидные образования, называемые бородавками I порядка. Бородавки сцеплены друг с другом отходящими от них еще более короткими нитями — бородавками II порядка с крючочками. Все эти образования построены из фибриллярного белка кератина. Кератин производится в клетках пера, которые к концу созревания пера умирают. Бородавки I и II порядка формируются в так называемых перьевых стебельках из складок, носящих название бородавковых валиков (см. рисунок на с. 28). Складки отделяются от стебельков, образуя цилиндрические структуры, которые и есть бородавки I порядка, соединенные бородавками II порядка.

Клетки бородавковых валиков возникают из предшественников, которые исходно продуцируют как L-CAM, так и N-CAM. Однако по мере разви-

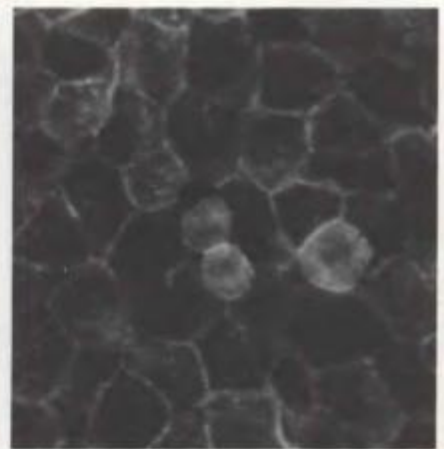
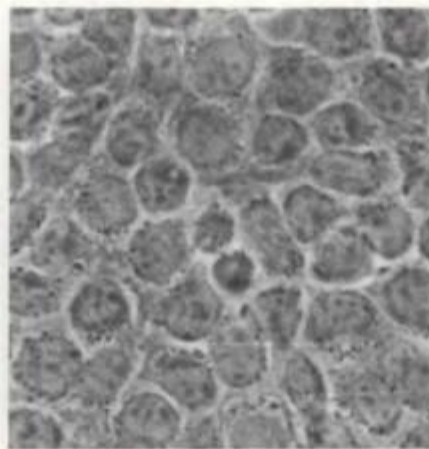
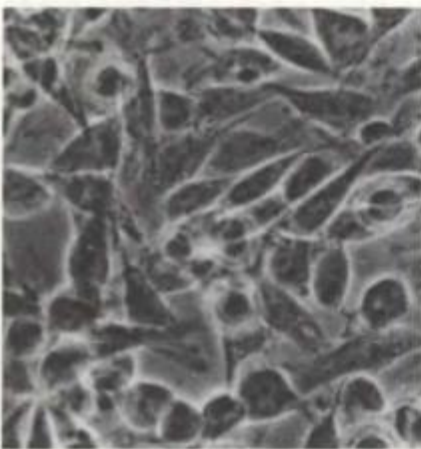
тия валиков происходит специализация, отделяющая валики от бороздок между ними. По мере созревания валиков в них исчезает N-CAM. Клетки же в бороздках в какой-то момент теряют L-CAM и, продуцируя только N-CAM, начинают размножаться, что приводит к образованию так называемых краевых пластинок, ограничивающих каждый валик. Вскоре после этого все клетки, продуцирующие L-CAM, начинают синтезировать кератин, а все клетки с N-CAM погибают. В результате границы между первыми и вторыми становятся границами новых структур — бороздок I и II порядка.

ИТАК, присутствие специфических SAM в сочетании с дифференцировкой и запрограммированной гибелью клеток может привести к морфогенезу. Было бы ошибкой, однако, думать, что SAM — единственные морфорегуляторные молекулы. Недавно в моей лаборатории получены данные, показывающие, что SAM тоже могут участвовать в процессе формообразования в зародыше. Речь пойдет о клетках, из которых возникают ганглии спинных корешков — пучков нервов, расположенных в позвонках. Сами позвонки формируются из мезодермы, клетки которой образуют симметричные парные скопления, называемые сомитами. Каждый сомит соответствует одному позвонку. Сомиты дают начало также другим структурам: например, сгущения дермы птичьего пера образуются из мезенхимы, возникающей в сомитах. Ганглии спинных корешков формируются из эктодермальных клеток, мигрирующих в виде мезенхимы из участка эктодермы, называемого нервным гребнем.

Для того чтобы образование ганглиев происходило правильно, клетки нервного гребня должны проникать только в мезенхимную часть сомита (склеротом) с его передней стороны. Как направляется движение этих клеток? Эксперименты, проведенные ранее Ж.-П. Тьери из Национального центра научных исследований в Париже, показали, что клетки нервного гребня мигрируют по «путям», образуемым фибронектином (и рядом других молекул). Фибронектин относится к SAM. Мои коллеги и я обнаружили, что другой представитель SAM, цитотактин, также имеет характерное распределение в развивающемся эмбрионе. Цитотактин способен связываться с фибронектином и с еще одной SAM — протеогликаном, связывающим цитотактин (СТВР — от англ. cytotactin-binding proteoglycan). Мы попытались выяснить, связан ли характер распределения клеток нервного гребня, мигрирующих в склеротом, с распределением трех различных SAM в сомитах.

На ранних стадиях эмбриогенеза цитотактин, фибронектин и СТВР в каждом сомите распределены равномерно. Затем распределение SAM изменяется: фибронектин остается расположенным более или менее равномерно, цитотактин концентрируется в передней части каждого сомита, а СТВР — в задней части (последнее происходит несколько позднее). Такое чередование SAM возникает как раз в тот момент, когда мигрирующие клетки проникают в склеротом, причем все эти молекулы синтезируются не попавшими в сомит клетками нервного гребня, а клетками самого сомита.

Мы попытались определить, как влияют различные SAM на форму



ИЗМЕНЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУПП КЛЕТОК под влиянием SAM видно на этих микрофотографиях, полученных в лаборатории автора. Культивируемые клетки, не имеющие гена L-CAM, формируют рыхлые скопления, похожие на мезенхиму эмбриона (слева). Если в такие клетки ввести

ген L-CAM и активировать его, их пространственная организация становится более упорядоченной, напоминающей структуру эпителия (в середине). При этом на клеточной поверхности с помощью флуоресцентной метки выявляются L-CAM (светлые участки на фотографии справа).

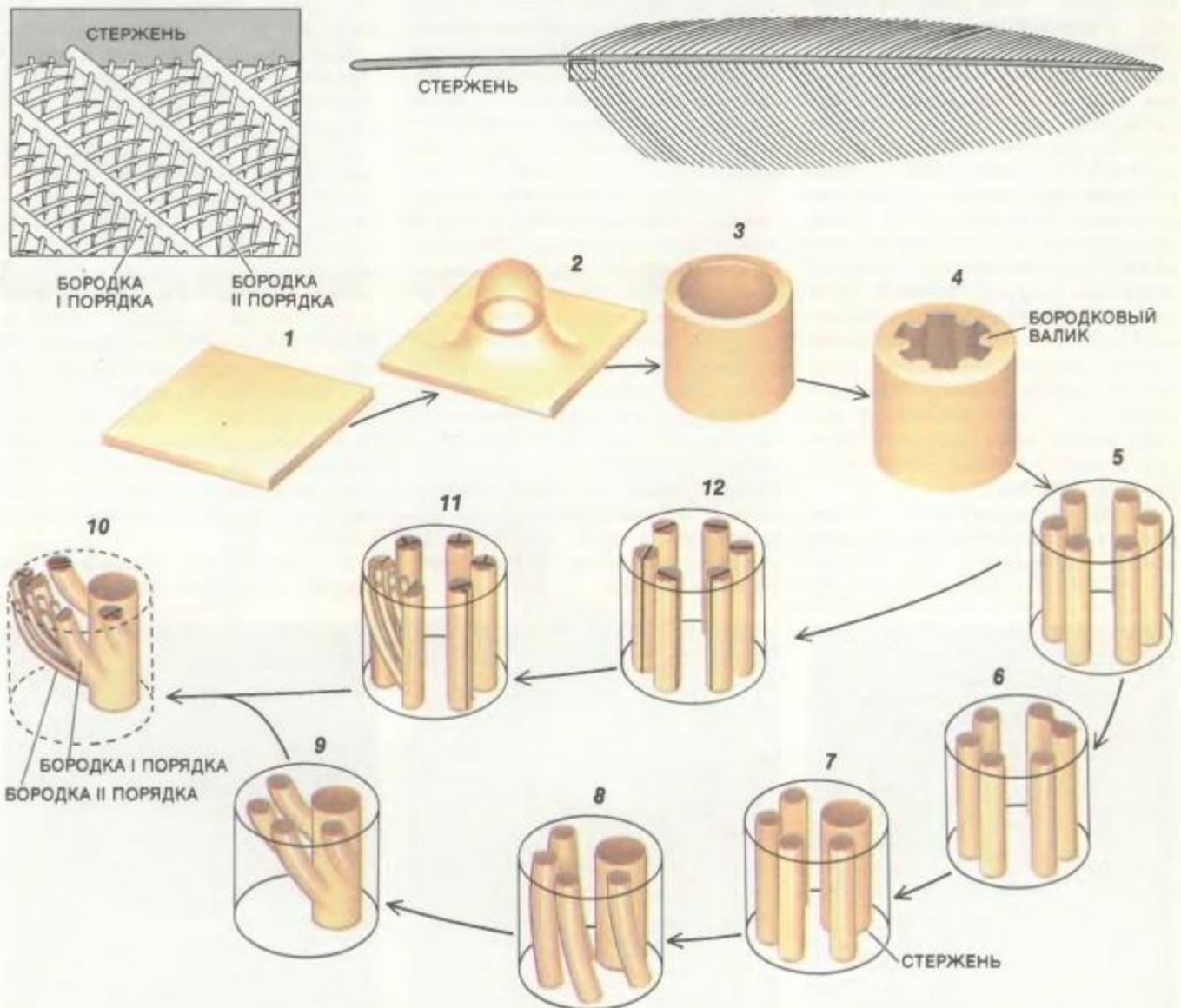
клеток и их движение. Опыты в культуре ткани показали, что цитотактин и СТВР вызывают округление клеток нервного гребня и подавляют их движение. Более того, такие округленные клетки не мигрируют в ткань, содержащую эти SAM. Если же субстрат был покрыт только фибронектином, то на нем клетки нервного гребня имели более распластанную форму и легко перемешались. На смеси фибронектина с любой из двух других SAM наблюдалась промежуточная картина. Хотя в деталях это явление еще не ясно, можно сделать вывод, что разные сочетания связывающихся друг с другом SAM по-разному влияют на поведение клеток и их движение в эмбрионе.

Важно, что такие процессы с уча-

стием SAM пространственно согласованы с продуцированием CAM: мигрирующие клетки нервного гребня в процессе движения теряют N-CAM, но, когда они начинают образовывать в сомите ганглии спинных корешков, на их поверхности вновь появляются эти молекулы. (N-CAM есть на поверхности практически всех нервных клеток в зрелом дифференцированном состоянии.) Очевидно, CAM и SAM в ходе развития регулируются координированно; оба типа молекул могут влиять на расположение тканей. Как отмечалось выше, прежде чем возникнут клеточные контакты, образованные CJM, клетки должны связаться друг с другом с помощью CAM. По-видимому, в ходе развития организма идет постоянная

«игра» взаимных влияний между тремя типами морфорегуляторных молекул.

ХОТЯ взаимодействия морфорегуляторных молекул и сложны, их недостаточно для объяснения эмбрионального развития. Для дифференцировки и превращения эмбриональных тканей в зрелые необходим синтез тканеспецифических белков: в печеночных клетках нужны одни белки, в мышечных клетках — другие и т. д. Такие белки и молекулы клеточной адгезии кодируются совершенно разными генами. Однако гены этих двух типов действуют координированно. Для объяснения связи между ними я предложил так называемую морфорегуляторную гипотезу.



ПЕРЬЯ У ЭМБРИОНА ПТИЦ развиваются из так называемых плакод. Мезенхимные клетки мезодермального происхождения мигрируют под пласт эпидермиса (1) и образуют сгущения, из которых посылается сигнал, индуцирующий в эпидермисе образование плакоды. В этом месте пласт вы-

пячивается, образуя почку (2), которая удлиняется, формируя эпидермальную трубку (3). В ней появляются эпителиальные валики, называемые бородковыми валиками (4), которые затем разделяются, так что получается ветвистая структура, характерная для зрелого пера (5—12).

Согласно этой гипотезе, клетки управляются механохимическими циклами экспрессии генов CAM и окружающими SAM. В качестве примера можно привести изменение формы и движения клеток нервного гребня в результате их прикрепления к различным SAM. Экспрессия генов CAM и SAM определяет форму клеток и их реакцию на внешние сигналы, регулируя образование групп клеток, обменивающихся между собой сигналами. Таким образом экспрессия генов CAM и SAM влияет на экспрессию других генов, в том числе и генов, кодирующих тканеспецифические белки. По топобиологической концепции механохимические силы, создающие группы клеток, регулируются взаимодействием клеточных поверхностей. Образование этих групп сопровождается изменением сигналов, подаваемых клетками, и их уровня дифференцировки. Такое влияние на клетки со стороны CAM и SAM должно играть важнейшую роль в формообразовании животного организма и в пространственной организации тканей.

ИСХОДЯ из морфорегуляторной гипотезы, мои коллеги и я сконцентрировали свое внимание на генах, кодирующих морфорегуляторные молекулы, в частности CAM. Мы с Б. Каннингэмом выяснили структуру генов N-CAM и L-CAM, установив нуклеотидную последовательность ДНК, кодирующей эти белки. Оказалось, что N-CAM и L-CAM определяют каждый одним геном, причем данные два гена существенно различаются. Скорее всего, N-CAM и L-CAM не родственны друг другу в эволюционном смысле.

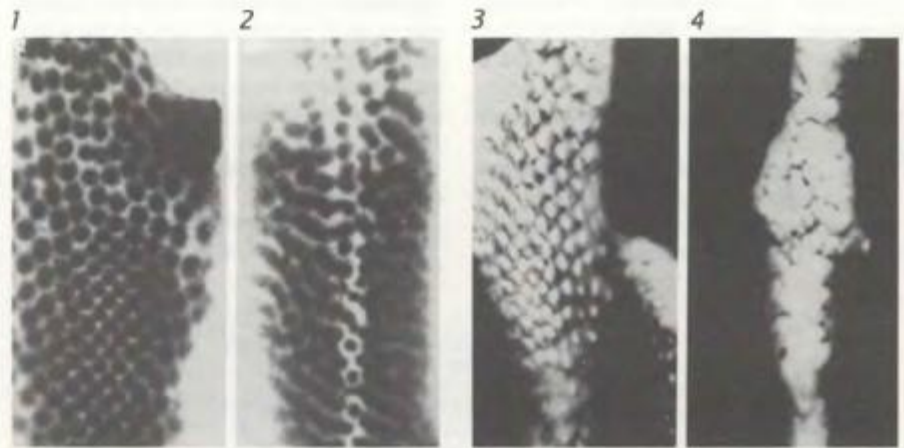
Различия между генами N-CAM и L-CAM обусловлены отчасти тем, как происходит процессинг транскрибируемой с них РНК. Почти все гены млекопитающих содержат помимо кодирующих последовательностей ДНК, называемых экзонами, некодирующие участки — интроны. После транскрипции гена происходит сплайсинг образовавшейся РНК: некодирующие участки удаляются, а кодирующие соединяются, в результате чего получается матричная РНК (мРНК), по которой затем синтезируется белок. Если возможны альтернативные варианты сплайсинга, то могут образовываться разные белки. Именно так происходит образование N-CAM: 19 (или даже больше) экзонов соединяются несколькими разными способами, так что получаются белки, различающиеся по тому участку молекулы, которым она присоединяется к клеточной мембране. Изменения этого участка могут сказываться на проч-

ности связывания N-CAM друг с другом и с цитоскелетом — внутренним скелетом клетки. А для L-CAM, хотя его ген тоже состоит из множества экзонов, альтернативный сплайсинг не известен.

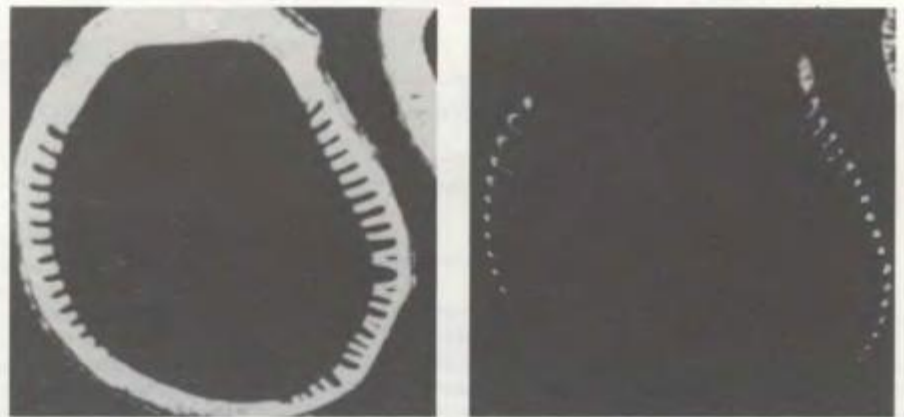
Следует отметить, что альтернативный сплайсинг, наблюдаемый при экспрессии гена N-CAM, не влияет на специфичность гомофильного связывания: взаимодействие молекул этого белка друг с другом не зависит от того, как происходил сплайсинг РНК. Альтернативный сплайсинг приводит только к изменению общей прочности связывания между клетками: меняются число и расположение молекул CAM, что связано с изменением характера прикрепления их к клеточной мембране. Этот факт согласуется с

предположением о том, что существует всего несколько десятков CAM с разной специфичностью связывания, но регуляция их активности на клеточной поверхности различными способами может приводить к самым разнообразным изменениям характера и силы связывания.

Нам удалось выявить некоторые другие члены этого небольшого семейства молекул. Вскоре после того, как Каннингэм и я сообщили о своих результатах, рядом исследований было обнаружено сходство между N-CAM и еще одним белком, присутствующим в нервной ткани. Сейчас предполагается, что этот белок — гликопротеин, ассоциированный с миелином (MAG — от англ. myelin-associated glycoprotein), — то-



УЧАСТИЕ МОЛЕКУЛ КЛЕТОЧНОЙ АДГЕЗИИ в формировании пера демонстрируется экспериментами, в которых нарушалось образование плакод. Обычно мезодермальные клетки образуют симметрично расположенные «узелки» под плакодами (1). Если ткань культивировать в присутствии антител против L-CAM, то образуются «полосы» (2). Антитела мешают только связям с участием L-CAM (между клетками эпидермиса), но не N-CAM (между мезенхимными клетками). Тем не менее мезодерма распределяется иначе (4), чем в норме (3), что указывает на существование «сигнальной петли» между этими двумя тканями.



ЧЕРЕДОВАНИЕ L-CAM и N-CAM в ходе развития бородковых валиков. Здесь представлены поперечные срезы развивающегося перьевого фолликула, окрашенные флуоресцентными антителами против L-CAM (слева) или же N-CAM (справа). L-CAM соединяют клетки валиков, а N-CAM — клетки, расположенные между валиками. Вскоре после этой стадии в клетках, продуцирующих L-CAM, образуется фибриллярный белок кератин, а клетки с N-CAM отмирают.

же является молекулой клеточной адгезии. М. Такети и его коллеги из Университета в Киото показали, что другие CAM, названные кадхеринами, сходны с L-CAM по нуклеотидной последовательности, но имеют совсем другое распределение в эмбриональных тканях.

ВСЕ эти данные о генетической структуре CAM очень интересны, но еще более замечательным представляется открытие структурной гомологии между N-CAM и молекулами антител. Когда в 1969 г. мы с коллегами завершили анализ аминокислотной последовательности молекулы антитела, стали очевидны многие структурные, генетические и эволюционные закономерности (см. статью: G. Edelman. The Structure and Function of Antibodies, "Scientific American", August, 1970).

На основе этих закономерностей в 1969 г. была сформулирована «доменная» гипотеза, согласно которой иммуноглобулины состоят из двух типов структурных и функциональных субъединиц длиной около 100 аминокислотных остатков: переменных (V) доменов, различающихся

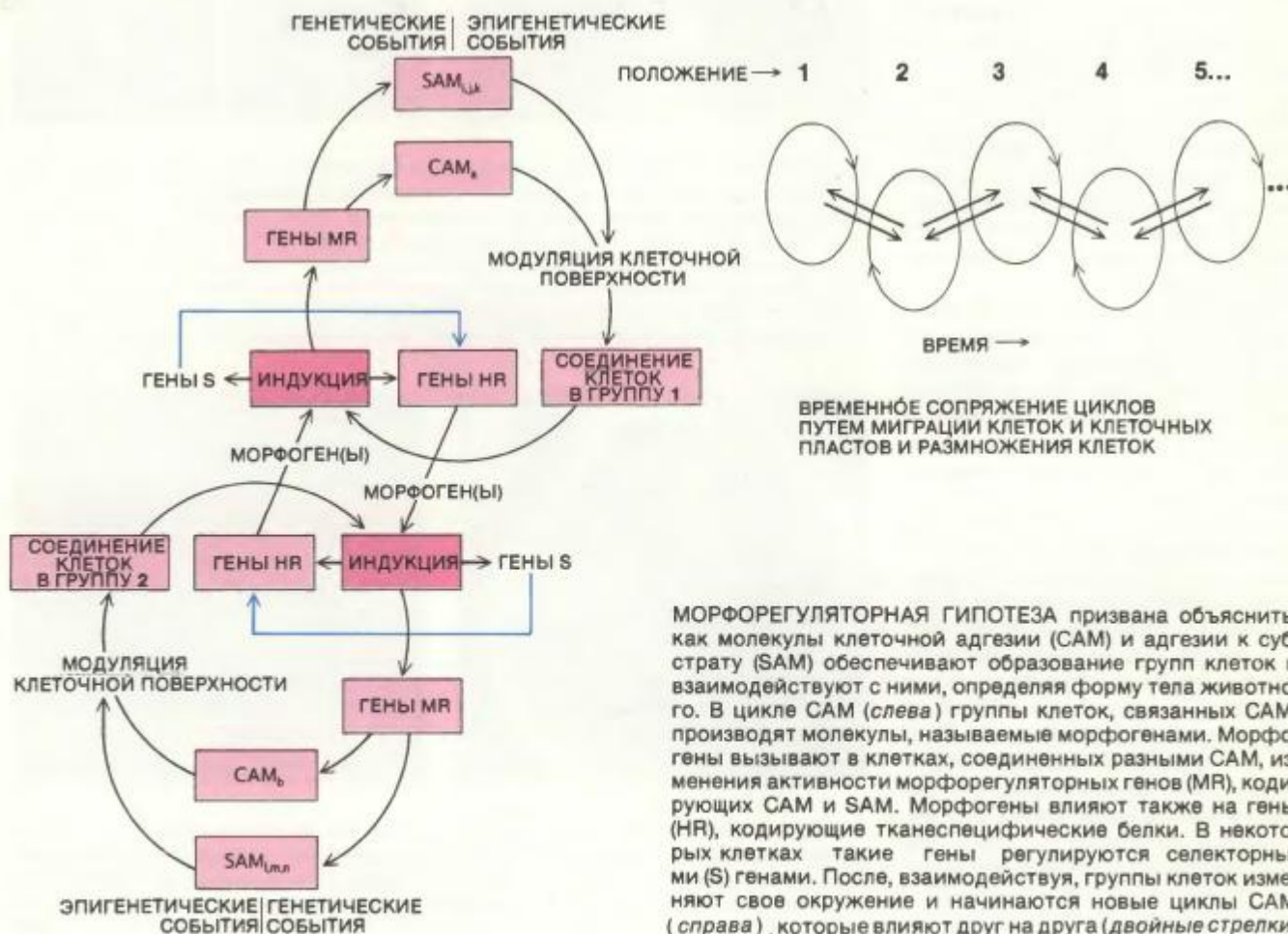
у разных молекул одного функционального класса, и константных (C) доменов, различающихся у молекул разных классов, но одинаковых в пределах класса. Молекула антитела, имеющая характерную Т-образную форму, образована двумя «легкими» полипептидными цепями, содержащими по одному переменному и одному константному домену, и двумя «тяжелыми» цепями, в каждой из которых один переменный домен и три константных. V-участки ответственны за связывание с антигеном, а C-участки выполняют различные «эффекторные» функции (в частности, способствуют поглощению связавшегося с антителом чужеродного белкового антигена клетками иммунной системы, называемыми макрофагами). Все домены, как V, так и C, имеют определенную гомологию в аминокислотной последовательности и поэтому предполагалось, что в ходе эволюции они возникли в результате повторной дубликации некоего гена-предшественника, кодирующего участок, не превышающий по размеру один домен.

Доменная гипотеза полностью подтвердилась. Обнаружились новые

члены постулированной ею группы родственных молекул, называемой суперсемейством иммуноглобулинов: рецепторы факторов роста и антигены тканевой совместимости, определяющие некоторые важные взаимодействия между клетками иммунной системы. Но вопрос о том, как эта разнородная группа возникла, оставался открытым.

Тот факт, что N-CAM гомологична членам суперсемейства иммуноглобулинов позволяет дать вероятный ответ на него. Я предположил, что вся адаптивная иммунная система, характеризующаяся наличием суперсемейства иммуноглобулинов, возникла из более древней системы клеточной адгезии. Эта гипотеза основывается на том, что адаптивная иммунная система есть лишь у позвоночных, т. е. сложилась на поздних этапах эволюции, а система молекул клеточной адгезии распространена, судя по всему, гораздо шире.

Некоторые новые данные подтверждают мою точку зрения. Т. Кауфман и М. Сигер из Индианского университета обнаружили в геномном комплексе *antennapedia* плодовой мушки *Drosophila melanogaster* последо-



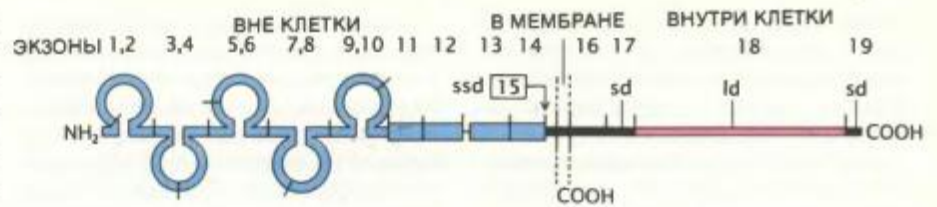
МОРФОРЕГУЛЯТОРНАЯ ГИПОТЕЗА призвана объяснить, как молекулы клеточной адгезии (CAM) и адгезии к субстрату (SAM) обеспечивают образование групп клеток и взаимодействуют с ними, определяя форму тела животного. В цикле CAM (слева) группы клеток, связанных CAM, производят молекулы, называемые морфогенами. Морфогены вызывают в клетках, соединенных разными CAM, изменения активности морфорегуляторных генов (MR), кодирующих CAM и SAM. Морфогены влияют также на гены (NR), кодирующие тканеспецифические белки. В некоторых клетках такие гены регулируются селекторными (S) генами. После, взаимодействуя, группы клеток изменяют свое окружение и начинаются новые циклы CAM (справа), которые влияют друг на друга (двойные стрелки).

вательность ДНК, гомологичную приблизительно двум с половиной доменам гена N-CAM; она кодирует белок под названием амальгам. Затем К. Гудмэн и его коллеги из Калифорнийского университета в Беркли показали, что последовательность обнаруженного в нервных клетках *Drosophila* фасцилина II, который, как предполагается, является молекулой клеточной адгезии, также гомологична N-CAM. Поскольку у насекомых есть молекулы, сходные с N-CAM, а иммунная система, основанная на антителах, свойственна только позвоночным, то вполне вероятно, что гены молекул адаптивной иммунной системы возникли из генов CAM, имевшихся у общего предка насекомых и позвоночных.

Ряд фактов помогает составить схему эволюции молекул клеточной адгезии и возникших из них белков, согласующуюся с доменной гипотезой и являющуюся ее продолжением. В отличие от молекул клеточной адгезии каждый иммуноглобулин кодируется многими генами переменных и константных участков, возникшими в ходе эволюции в результате дупликации исходного предшественника. Семейства дуплицированных генов у разных видов позвоночных гомологичны. Но независимые мутации, накапливающиеся в разных генах такого семейства, должны разрушать гомологию между видами, если только нет специального механизма, благодаря которому она сохраняется. Что же это за механизм?

В 1969 г. я и мой коллега Дж. Гэлли предположили, что семейства генов могут эволюционировать параллельно у разных видов, если гены участвовали в процессе, названном нами «демократичной геной конверсией». Описание деталей этого гипотетического процесса выходит за рамки данной статьи, но суть его заключается в том, что гены одного семейства рекомбинируют между собой таким образом, что становится возможной коэволюция. Более того, семейства могут служить своего рода ловушкой для мутаций, благодаря чему полезные мутации распространяются среди членов семейства. Поскольку мутации, полезные для адаптивной иммунной системы у одного вида, скорее всего ценны и для другого вида, такой процесс в совокупности с давлением отбора может обеспечить сохранение гомологии в семействах иммуноглобулиновых генов. Идея эта приложима к эволюции не только антител, но и всех мультигенных семейств.

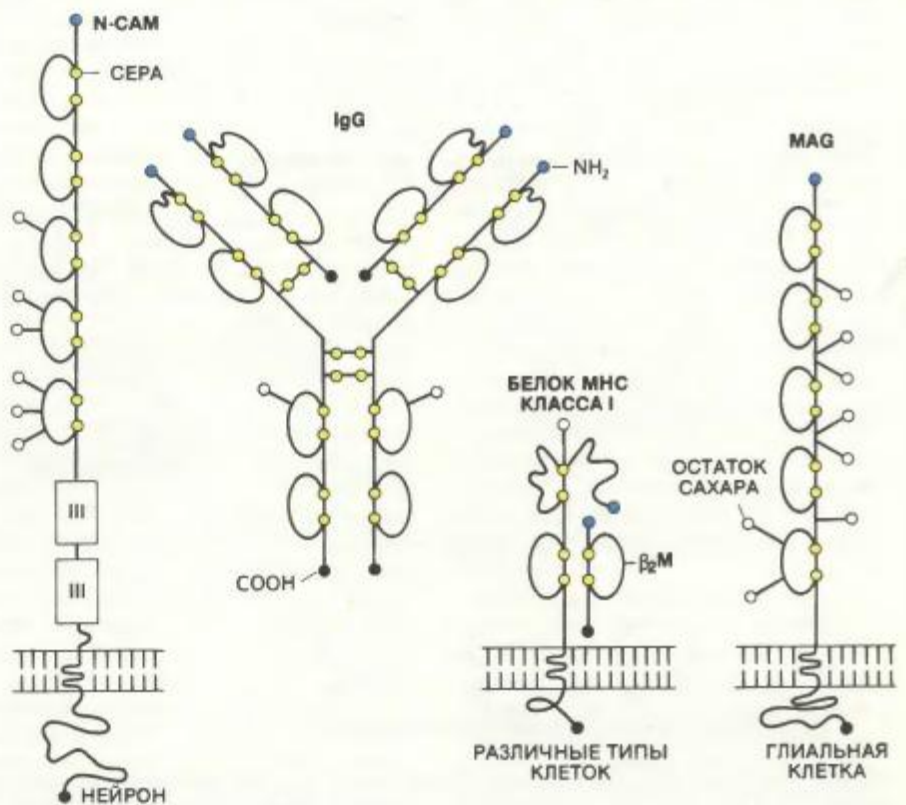
Функциональная связь между молекулами клеточной адгезии и антите-



СТРУКТУРА N-CAM была выяснена в результате химического анализа белка и определения нуклеотидной последовательности его гена. В этом гене кодирующие последовательности, называемые экзонами (здесь показано 19 экзонов, но сейчас их известно больше), разделены некодирующими участками и возможен альтернативный сплайсинг РНК. Поэтому существует несколько вариантов N-CAM. Во всех известных вариантах белка полипептидная цепь образует пять петель, скрепленных дисульфидными связями (слева). На этом рисунке изображены три варианта: *ssd* кончается на экзоне 15 и не имеет трансмембранного участка, *sd* не содержит экзона 15, но включает экзоны 17 и 19, в *ld* также нет экзона 15, но есть экзон 18.

лами демонстрируется тем, что разнообразные лимфоциты, относящиеся к числу важных эффекторных клеток иммунной системы, для выполнения своих функций нуждаются в механизме адгезии. Т. Спрингер из Меди-

цинской школы Гарвардского университета недавно во многих типах клеток обнаружил молекулы, названные I-CAM, которые гомологичны N-CAM. Оказалось, что I-CAM связывается с молекулой, известной под



СВЕРХСЕМЕЙСТВО ИММУНОГЛОБУЛИНОВ, включающее и молекулы клеточной адгезии, объединяет белки, различающиеся по структуре и функциям. Каждый из них содержит несколько доменов. Антитела класса IgG циркулируют в жидкостях тела и связываются с чужеродными веществами. Белки главного комплекса тканевой совместимости (МНС) класса I, имеющиеся почти во всех клетках животного организма, соединяются с определенным образом измененными антигенами, что необходимо для представления антигенов Т-лимфоцитам. Короткая цепь белка МНС класса I — это один домен, так называемый β_2 -микроглобулин (β_2 M). В мембране глиальных клеток нервной ткани присутствует гликопротеин, ассоциированный с миелином (MAG), который тоже, по-видимому, участвует в клеточной адгезии. Глиальные клетки (и MAG) играют роль в образовании миелиновой оболочки отростков некоторых нейронов.

названием LFA-1, которая присутствует на лимфоцитах. LFA-1 напоминает молекулы клеточной поверхности, называемые интегринами, которые служат рецепторами SAM.

Если всю эту информацию объединить в общую схему, то получается прекрасный пример того, как в ходе эволюции уже существующие структуры используются для новых функций. Вначале имелся фрагмент ДНК, кодирующий примерно половину домена N-CAM. Анализ структуры гена N-CAM показал, что такой предшест-

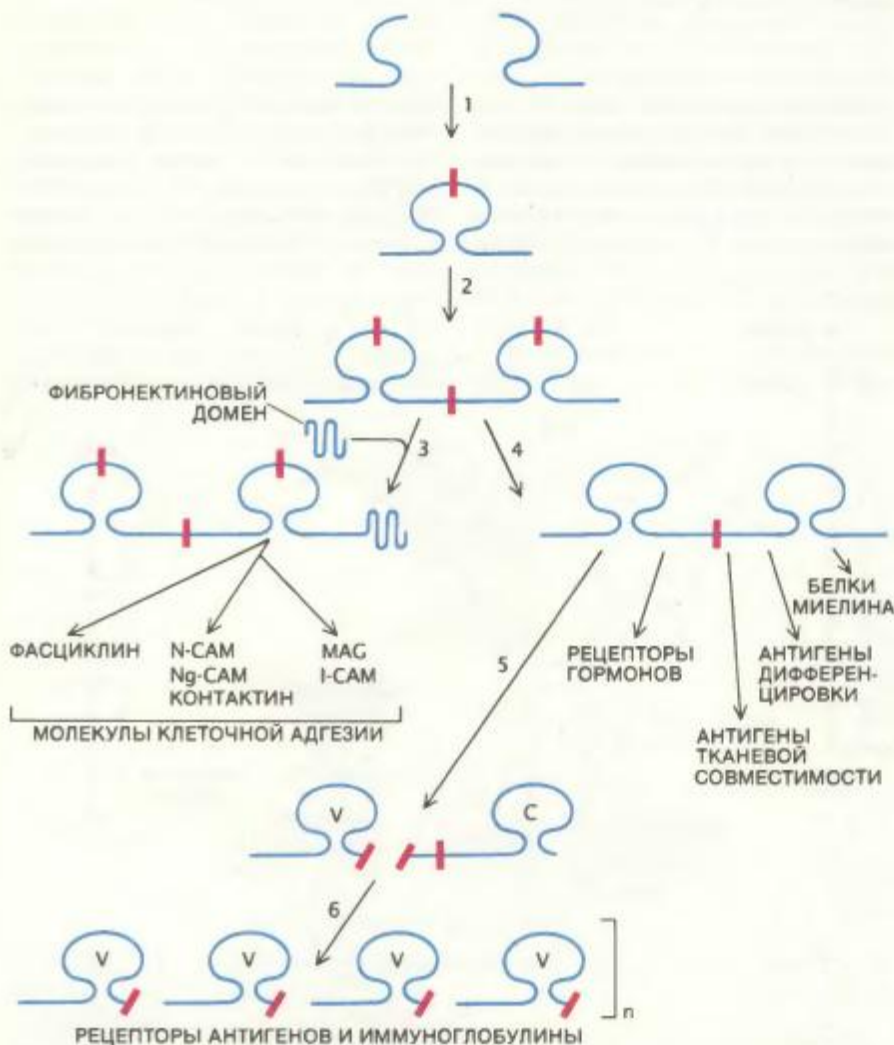
венник дублировался у предков насекомых и позвоночных и в результате возникли гены типа гена N-CAM. Вследствие перекомбинации экзонов в геноме образовались последовательности ДНК, кодирующие SAM, такие как фибронектин. Ген адгезионной молекулы типа N-CAM затем дублировался, дав начало другим родственным SAM, в том числе действующим в центральной нервной системе, например MAG.

Функции всех таких молекул были связаны с морфогенезом. Но у каких-

то древних позвоночных (или их непосредственных предков) один из генов этого семейства переключился на другую функцию. В результате дубликации участка ДНК, кодирующего SAM, возникли переменные и константные участки иммуноглобулиновых генов, рецепторы одного из типов лимфоцитов и антигены тканевой совместимости. Впоследствии гены V-участков многократно дублировались и образовались семейства генов, которые оставались похожими друг на друга в результате демократичной геновой конверсии. Сходные конверсионные события происходили и в семействе генов тканевой совместимости. Возникли специальные SAM, такие как I-CAM, служащие местом прикрепления для LFA-1 — независимо от возникшего рецептора, располагающегося на поверхности лимфоцитов.

Итак, основные функции адаптивной иммунной системы возникли из более ранней системы клеточной адгезии, функция которой заключалась в том, чтобы регулировать движение клеток и пространственную организацию тканей, определяя тем самым строение животного. Хотя лимфоциты не участвуют в формообразовании, их функции основываются на регулируемых взаимодействиях между клетками. Эта регуляция в свою очередь зависит от специфических механизмов связывания, ведущих свое происхождение от древней системы клеточной адгезии. Во всех участках связывания иммуноглобулинов, а возможно и SAM, белковые молекулы имеют характерную структуру, называемую β -складчатым слоем; в иммуноглобулиновом домене два таких слоя образуют как бы сэндвич. Быть может, β -складчатый слой — это остатки древнего «языка» связывания и клеточной регуляции, доставшиеся адаптивной иммунной системе в наследство от ее предшественников типа молекул клеточной адгезии.

Часто иммунную систему отождествляют с реакцией между антигеном и антителом, которая может происходить и «в пробирке» — в жидкой среде и независимо от пространственной ориентации. Не следует, однако, забывать, что иммунная система состоит не только из жидких тканей (таких, как кровь), но и из плотных (таких, как лимфатические узлы). Даже среди циркулирующих в крови лимфоцитов есть популяции, имеющие сродство к определенным плотным тканям. Хотя иммунные реакции одиночных клеток могут происходить и «в пробирке», весьма вероятно, что пространственное расположение играет в иммунном ответе



СХЕМА, показывающая, как адаптивная иммунная система развилась из древней системы молекул клеточной адгезии. Экзоны, кодирующие два «полудомена», соединились и образовали ген одного домена — функциональной единицы белка (1). В результате дубликации этого гена возник ген мультидоменного белка — древней N-CAM (2). Перекомбинация экзонов привела к объединению доменов типа фибронектина с доменами типа N-CAM (3). Вследствие дубликации генов и дивергенции появилось множество различных SAM. Другие гены утратили интроны (некодирующие последовательности ДНК) внутри доменов, но не между ними (4). В этой группе генов дивергенция привела к возникновению других членов суперсемейства иммуноглобулинов. Встраивание нового генетического элемента (возможно, вирусного происхождения) обусловило разнообразие белков в различных лимфоцитах (5). Наряду с этими изменениями увеличивалось число переменных участков (V), что обеспечило создание огромного множества различных антител (иммуноглобулинов) и рецепторов антигенов в течение жизни организма (6).

столь же большую роль, как и в морфогенезе. Недаром анализ морфогенетических молекул и иммуноглобулинов показывает, что эти две системы тесно связаны друг с другом как генетически, так и эволюционно.

ПОЖАЛУЙ, в заключение не будет лишним сказать несколько слов о путях развития науки. Вся идеология, связующая молекулы иммунной системы и молекулы клеточной адгезии, была бы невозможна в пределах узкоспециализированных исследований в той или иной области. Для того чтобы решить проблему, поставленную одним исследованием — о про-

исхождении иммуноглобулинов, — потребовалась длительная кропотливая работа в, казалось бы, совсем другой области — изучение клеточной адгезии. Эта идеология была бы гораздо беднее, если бы возникла в рамках какой-то одной области — эмбриологии или иммунологии. Только рассматривая биологию с широких эволюционных, генетических и эмбриологических позиций и в то же время проводя специализированные исследования, удастся соединить то, что на первый взгляд кажется несвязанным, в непротиворечивое целое, доставляющее наслаждение самому исследователю.

Джеймс и в отношении свидетельств употребления огня в Чжоукоудяне в Китае. Чжоукоудянь — это знаменитая пещерная стоянка, где в 1920-х гг. был обнаружен «пекинский человек» (одна из разновидностей *H. erectus*). 50-метровые пещерные отложения содержали обгоревшие кости, золу, древесный уголь и каменные орудия; это рассматривалось как доказательство того, что огонь был повседневным атрибутом жизни групп *H. erectus*, обитавших там 400—500 тыс. лет назад. Действительно, представления о том, что *H. erectus* приручил огонь, утвердилось окончательно благодаря находкам в Чжоукоудяне.

Однако повторный анализ образцов из более древних слоев пещеры Чжоукоудянь, проведенный недавно Льюисом Р. Бинфордом из Университета шт. Нью-Мексико, ставит под сомнение общепринятую интерпретацию находок. Там нет не только хорошо очерченных очагов или кострищ, но некоторые слои, образованные, как полагали, из золы, на самом деле могли состоять из смеси свиного помета, экскрементов гиен и других образований, обожженных в результате естественно возникавших пожаров.

Самое раннее свидетельство намеренного использования огня гоминидами, которое Джеймс склонен признать (хотя бы в порядке рабочей гипотезы), обнаружено на песчаной отмели в Ницце. Здесь на стоянке, названной Терра-Амата, во время раскопок 1960-х гг. было обнаружено нечто вроде остатков хижины с очагом в ее центре. Недавняя датировка, полученная с помощью новых методов, указывает, что возраст стоянки составляет около 230 тыс. лет. Если эта цифра верна, то очаги принадлежали предковым формам неандертальцев, ранней разновидности *H. erectus*, позже вытесненной человеком современного типа.

«Я, конечно, не исключаю возможности использования огня *Homo erectus* или другими нашими предшественниками, — сказал недавно Джеймс, — но многие ранние притязания на роль «прометеев» были недостаточно хорошо обоснованы. Их нужно рассматривать с осторожностью. Картина меняется: сегодня имеется много свидетельств, что ранние гоминиды не были охотниками, а питались падалью, и это обстоятельство делает менее вероятным применение ими огня. Антропологи напридумывали историй, объясняющих раннее использование огня — и все они построены по одному образцу: охотники сидят вокруг костра и делят мясо. Однако археологические находки говорят о другом».

Наука и общество

Кто был «Прометеем»?

В ОДНОМ из последних номеров журнала "Nature" двое исследователей сообщают о своей находке, являющейся, по их мнению, древнейшим доказательством использования огня человеком: в южноафриканской пещере ими были обнаружены фрагменты обуглившейся кости какого-то животного, древность которых, возможно, превышает 1 млн. лет. Как утверждают авторы, дичь поджарили на огне предки *Homo sapiens*, вероятнее всего, представители вида *H. erectus*.

Однако обзор известных данных, свидетельствующих о раннем использовании огня человеком, заставляет с осторожностью относиться к подобным утверждениям. В своей статье в журнале "Current Anthropology" Стивен Р. Джеймс, работающий над докторской диссертацией в Университете шт. Аризона, рассматривает доказательства использования огня из тех мест, где их связывали с *H. erectus*, и заключает, что все они могут объясняться естественными причинами. По словам Джеймса, первые неоспоримые свидетельства того, что человек овладел огнем, относятся ко времени всего около 200 тыс. лет назад. Поскольку в это время уже присутствовали древние формы *H. sapiens*, возможно, что *H. erectus* вообще никогда не использовал огонь.

Основные местонахождения, которые рассматривает Джеймс, расположены в Восточной Африке, Южной Африке, Европе и Китае. В каждом регионе, как утверждает Джеймс, сходные процессы привели к тому, что свидетельства в пользу раннего

употребления огня были сильно преувеличены. Некоторые образцы, прежде считавшиеся обгоревшими, на самом деле подверглись воздействию других факторов, например окрасились марганцем, содержащимся в почве. Без специальных химических анализов, недоступных во времена первых экспедиций, подобное окрашивание было трудно отличить от воздействия огня.

Даже если древнейшие остатки действительно несут на себе следы огня, связать их с гоминидами все равно трудно. Например, обгоревшая глина, обнаруженная вместе с каменными орудиями и фрагментами костей в центральной части долины Аваш в Восточной Африке, служила доказательством употребления огня ранними гоминидами немногим более 1 млн. лет назад. По предположению некоторых антропологов, жившие там предки человека поджигали пни, как это и по сей день делают индийские фермеры, чтобы поддерживать огонь во время работы вне дома.

Такие объяснения, говорит Джеймс, во многом несостоятельны. Сходные куски обожженной глины находят повсеместно в этом районе без всякой связи с орудиями или костями. Кроме того, там ни разу не были найдены обгоревшие остатки животных, и археологические находки в большинстве случаев не обнаруживают непосредственной связи с обожженной глиной. Самое простое объяснение, по мнению Джеймса, заключается в том, что глина обгорела во время естественного пожара или вследствие вулканической активности.

Не менее скептически настроен

Динамика полярных сияний

Взаимодействие солнечного ветра с магнитным полем Земли создает огромный генератор, дающий энергию для возбуждения полярных сияний. Аналогичный механизм может лежать в основе и других астрофизических явлений

СЮН-ИТИ АКАСОФУ

НЕКОТОРЫЕ ранние наблюдения северных сияний строились на предположении, что эти светящиеся картины на арктическом небосводе вызваны преломлением солнечного света в атмосфере, подобно возникновению радуги. Мерцание светящихся форм наблюдатели приписывали движению воздуха. В настоящее время специалисты, изучающие физику полярных сияний, знают, что эти свечения, возникают в результате соударений атомов и молекул в ионосфере Земли с электронами солнечного ветра. Видимое движение полярных сияний*) обусловлено не атмосферной турбулентностью, а изменениями электромагнитных условий, под действием которых движутся заряженные частицы (так же как движение на экране телевизора — это иллюзия, создаваемая изменениями магнитного поля, направляющего электроны из катодной трубки на экран).

Что играет роль катодной трубки в случае полярного сияния? Где расположен источник энергии? Почему эта энергия флуктуирует, заставляя сияния мерцать и струиться? Более 20 лет назад было установлено, что эмиссии полярных сияний (авроральные эмиссии) возбуждаются в результате бомбардировки ионосферы пучками электронов, генерируемых благодаря сложному взаимодействию солнечного ветра с магнитной оболочкой Земли (см.: Syun-Ichi Akasofu. The Aurora, "Scientific American", December, 1965). Геомагнитная природа сияний хорошо подтверждается наблюдениями из космоса. Вокруг обоих геомагнитных полюсов расположены яр-

ко светящиеся овалы, существующие постоянно. Вокруг Северного полюса наблюдаются северные сияния, с противоположной стороны — южные.

Мои коллеги и я нашли численное соотношение между солнечным ветром и генерацией энергии, которая питает полярные сияния и другие возмущения геомагнитного поля. Мы также более подробно изучили влияние активности Солнца на солнечный ветер. В результате появилась возможность создать численный метод предсказания уровня авроральной активности. Поскольку сияния могут вносить заметные помехи в радиосвязь, связь со спутниками, в работу линий электропередач, а также некоторых систем противовоздушной обороны, предсказание интенсивности становится все более необходимым теперь, когда деятельность человека распространилась на полярные районы Земли и космос.

Генератор в магнитосфере

Выяснение механизма возникновения полярных сияний было связано с коренными изменениями существующих представлений о магнитном поле Земли. Долгое время ученые считали, что магнитное поле Земли является дипольным, как у намагниченного стержня, силовые линии которого выходят из Южного полюса и входят в Северный, образуя петли симметрично относительно магнитной оси. Однако Земля расположена не в вакууме. Она постоянно обдувается солнечным ветром — истекающей из солнечной короны разреженной плазмы, состоящей из электронов и ионов водорода (протонов).

Под действием солнечного ветра магнитное поле Земли принимает кометовидную форму — это так называемая магнитосфера. С обращенной к Солнцу стороны солнечный ветер «поджимает» магнитосферу к Земле до расстояния около 10 земных радиусов. С противоположной стороны поток солнечной плазмы ограничивает объем магнитосферы обла-

стью внутри носового конуса ударной волны, внутри которого образуется так называемый магнитосферный хвост — структура, простирающаяся более чем на 1000 земных радиусов. Магнитосфера заполнена разреженной плазмой с разной плотностью и температурой, источником которой являются солнечный ветер и ионосфера (см. статью: Эдвард В. Хоунс-младший. Хвост магнитосферы Земли, «В мире науки», 1986, № 5).

В начале 60-х годов специалисты по физике Солнца установили, что солнечный ветер может вытягивать корональное магнитное поле, которое затем заполняет всю Солнечную систему, образуя межпланетное магнитное поле. Дж. Данджи из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне предположил, что это поле может соединяться с силовыми линиями магнитного поля Земли, происходящими из полярных областей. Этот процесс, называемый магнитным пересоединением, протекает наиболее эффективно, когда магнитное поле солнечного ветра ориентировано на юг, т. е. в направлении, антипараллельном магнитному полю Земли.

Ранее было широко распространено мнение, что пересоединение должно быть стабильным процессом, но 10 лет назад К. Рассел из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе обнаружил, что это не так. При пересоединении образуются «связки» или скрученные «канаты» силовых линий, которые «отрываются» от магнитосферы и уносятся в магнитосферный хвост. Такие неустойчивости могут возникать даже при постоянной южной ориентации межпланетного магнитного поля. В действительности же его сила и направление постоянно меняются. Эти сложные процессы изучались с помощью компьютерного моделирования Л.-Ч. Ли из Университета шт. Аляска в Фэрбенксе.

Когда частицы солнечного ветра движутся вдоль границы магнитосферы (называемой магнитопаузой), они пересекают пересоединенные силовые линии. Поскольку ионы и электроны имеют противоположные заряды,

*) При визуальных наблюдениях различают несколько форм полярных сияний, смена которых обычно происходит в определенной последовательности и отражает физику этого явления: однородные дуги, лучистые дуги, отдельные лучи и группы лучей (которые при появлении в зените образуют красивую корону), диффузные полосы, пульсирующие пятна. В настоящей статье автор не делает различия форм сияния. — Прим. перев.

они отклоняются в разные стороны (согласно известному правилу правой руки) и при этом генерируют электрический ток (см. рисунок справа на с. 37). Это такой же процесс, как и в магнитогидродинамическом (МГД) генераторе. Вся магнитосфера представляет собой гигантский генератор, который превращает кинетическую энергию частиц солнечного ветра в электрическую, давая при этом мощность, превышающую 1 млн. мегаватт (МВт). Этот механизм называют магнитосферным, или авроральным генератором.

Продольные токи

Генераторный механизм переносит положительные ионы к «утренней»

стороне экваториальной плоскости магнитопаузы, создавая нечто подобное положительно заряженной пластине; электроны «вечерней» переносятся к стороне, или к отрицательной пластине. В разреженной плазме, пронизанной силовыми линиями, аналогичными магнитосферным, электроны движутся по спиральным траекториям, навиваясь на силовые линии. Процесс генерации этих так называемых продольных токов был детально разработан А. Хасегавой из AT&T Bell Laboratories и другими учеными. Т. Потемра из Университета Джонса Гопкинса, Т. Иидзима из Токийского университета и другие подтвердили существование продольных токов с помощью установленных на спутниках магнитометров.

Продольные токи связывают маг-

нитопаузу с ионосферой. Утренняя сторона магнитопаузы при этом проектируется на утреннюю половину аврорального овала (овала полярных сияний), а вечерняя сторона магнитопаузы — на вечернюю сторону овала. В результате утренняя сторона овала приобретает положительный заряд, а вечерняя — отрицательный, и поперек овала возникает разность потенциалов около 100 кВ.

Вклад электронов в продольные токи больше, чем протонов, так как электроны более подвижны. В описанном выше сценарии на вечерней стороне аврорального овала электронные токи текут вниз, а на утренней — вверх. Поскольку сияния появляются, когда электроны вторгаются в ионосферу сверху, возникает вопрос, почему же на утренней стороне



ДВИЖУЩИЙСЯ К ЗАПАДУ ИЗГИБ на активной фазе сияния, который наблюдался на вечернем небосводе над Фербенксом (шт. Аляска). Беловатое свечение обусловлено атомами кислорода. Розовая кайма внизу сияния вызывается излучением возбужденных молекул азота. Внизу слева показана планетарная картина овала полярных сияний над Северным полюсом в условных цветах. Изображение получено со спутника «Dynamics Explorer» с расстояния, равного трем земным радиусам. Спутник регистрировал излучение атомов кислорода с длиной волны 130 нм. Яркий серп слева — это освещенная сторона Земли. Снимок предоставлен Л. Франком из Университета шт. Айова.

овала тоже наблюдается свечение? Оказалось, что на высоте ионосферы овал обладает высокой проводимостью, поэтому между внутренней и внешней границами овала течет ток. Затем ток возвращается вверх вдоль магнитных силовых линий, так что возникает вторичный ток в направлении, противоположном первоначальному. Эти вторичные электронные токи и возбуждают авроральные эмиссии на утренней стороне овала.

Авроральные свечения (эмиссии) возникают, когда падающие пучки электронов передают энергию ионосфере, возбуждая или ионизируя атомы и разбивая молекулы с образованием возбужденных атомов. Когда возбужденные атомы переходят в состояние с меньшей энергией или когда ионы соединяются со свободными электронами, они испускают излучение в

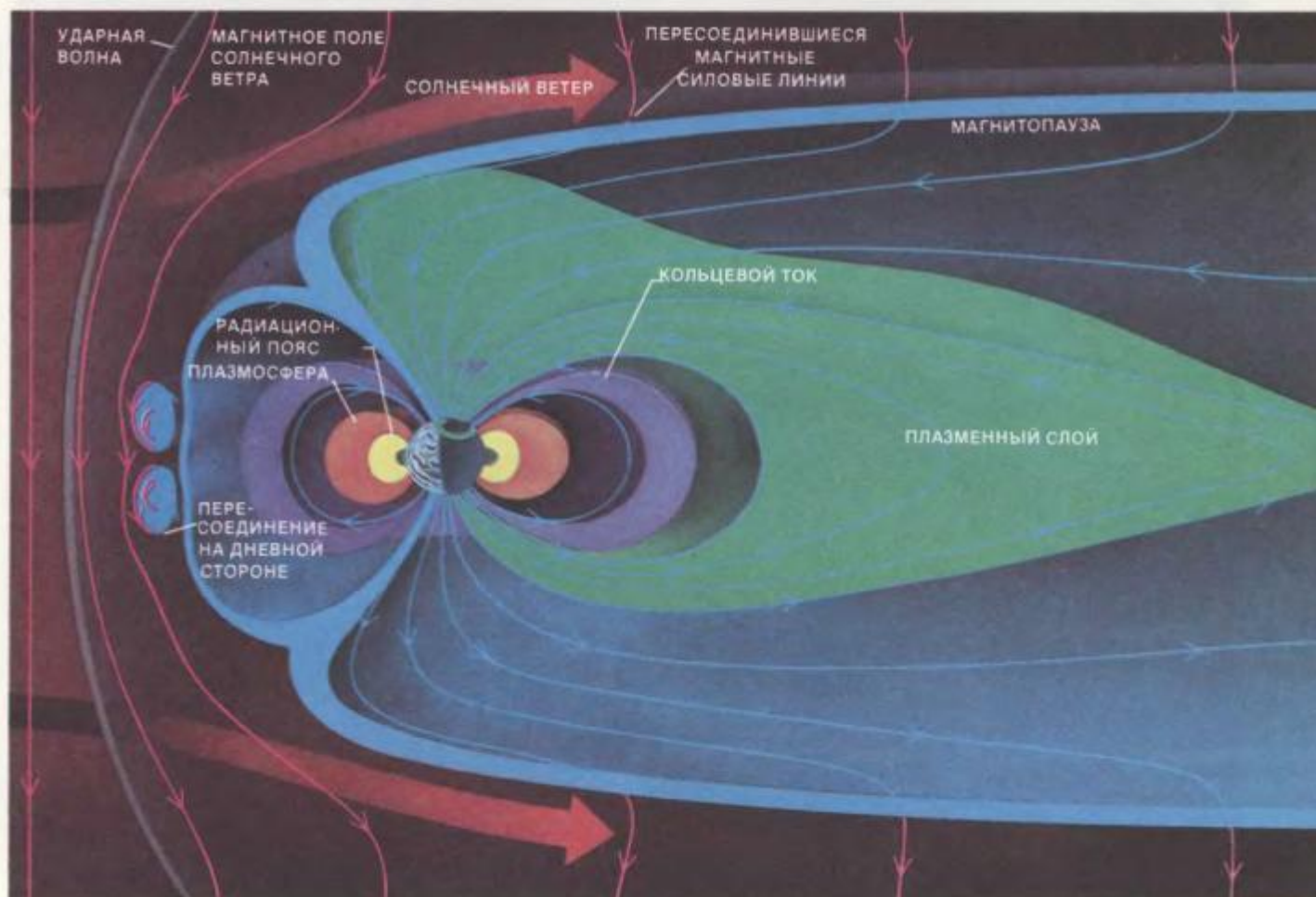
широком диапазоне длин волн (от дальней ультрафиолетовой до инфракрасной области спектра).

Самая распространенная авроральная эмиссия — это беловато-зеленое излучение с длиной волны 557,7 нм, обусловленное атомами кислорода. Красивое розовое свечение на нижней кромке сияния обусловлено возбужденными молекулами азота. Различные атомы и молекулы в ионосфере излучают авроральные эмиссии в дальней ультрафиолетовой и инфракрасной областях, но они не могут наблюдаться с Земли, так как поглощаются атмосферой. Планетарные картины сияний, полученные в дальней ультрафиолетовой области спектра со шведского спутника «Викинг», показывают, что на стороне, освещенной Солнцем, полярные сияния удивительно активны, часто более активны, чем на темной стороне.

Почему сияния имеют форму занавеса?

С поверхности Земли сияние выглядит как светящийся занавес, прочерченный яркими лучами. Этот занавес начинается с высоты нескольких сот километров и кончается на высоте около 100 км, где атмосфера становится столь плотной, что она останавливает большинство вторгающихся сверху электронов. Поперечная толщина этого слоя не превышает 1 км, а вдоль овала полярных сияний он часто простирается на тысячи километров. Почему так происходит?

Удивительно уже то, что пучки электронов вдоль магнитного поля вообще достигают нижней ионосферы. В спиральном движении электронов вдоль магнитных силовых линий, как и в случае других заряженных частиц радиационных поясов, питч-угол



СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР — разреженная плазма, состоящая из электронов и протонов, истекающих из Солнца, — заключает магнитное поле Земли в полость, имеющую форму кометы, которая называется магнитосферой. С освещенной стороны этот поток «поджимает» магнитосферу к Земле до расстояния 10 земных радиусов. На ночной стороне солнечный ветер «вытягивает» земное магнитное поле в

длинный магнитосферный хвост, который простирается на расстояние по крайней мере 1000 земных радиусов. Граница магнитосферы называется магнитопаузой. Солнечный ветер содержит магнитное поле (красные линии). Когда это поле направлено к югу, как показано здесь, оно может эффективно «пересоединиться» с магнитным полем Земли (синие линии). Магнитные силовые линии в север-

частицы возрастает при приближении к Земле (где поле сильнее). Действительно, траектория из спирали превращается в круговую орбиту гораздо выше ионосферы. В этой области электроны отражаются обратно в направлении вверх. Однако появление сияний свидетельствует о том, что электроны способны проникать глубоко в ионосферу.

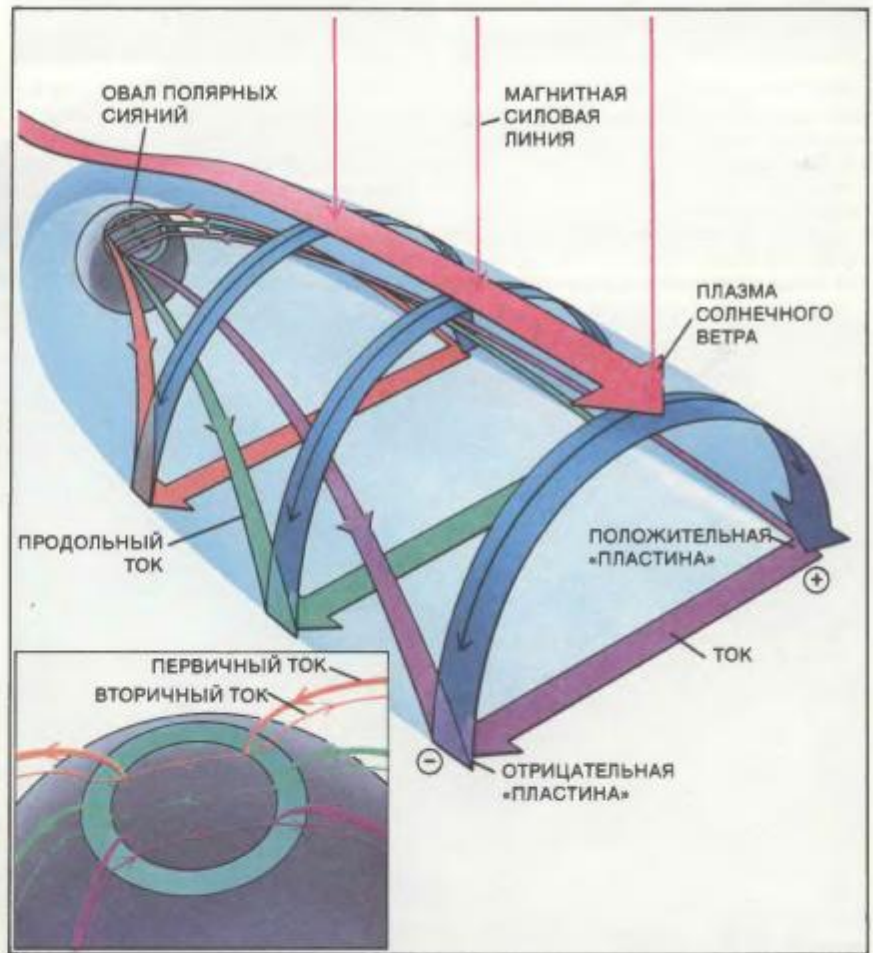
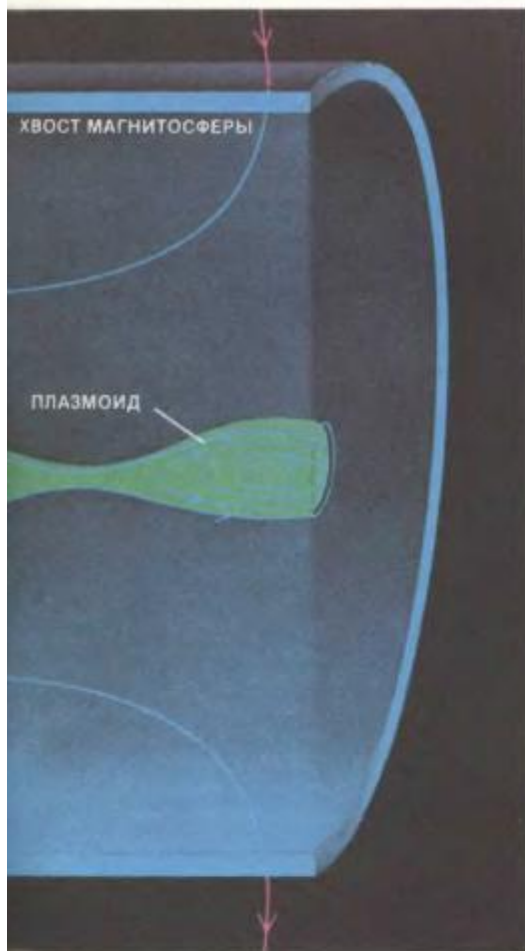
По-видимому, процесс начинается с того, что электроны в продольных токах образуют тонкослойные пучки. Каким-то способом, который пока непонятен, когда в магнитосферу «закачана» достаточная мощность и когда тонкослойные пучки достигают достаточно высокой интенсивности, на высотах между 10 000 и 20 000 км вокруг них развивается специфическая картина электрического поля, называемая авроральной структурой потенциала. Область внутри этой

структуры, по-видимому, разделяется на положительно и отрицательно заряженные слои и между ними возникает сильное электрическое поле (см. рисунок сверху на с. 38). Х. Альфвен из Королевского технологического института в Стокгольме первым высказал предположение о существовании «двойного слоя» над сияниями.

Известно, что структура, напоминающая двойной слой, образуется у поверхности электрода в неоновой лампе, но природа такого слоя в верхней атмосфере пока не выяснена окончательно. По-видимому, электроны ускоряются в направлении вниз электрическим полем, связанным с двойным слоем. Дойдя до нижней границы авроральной структуры электрического потенциала, электроны ускоряются до нескольких тысяч электронвольт — такая энергия позволя-

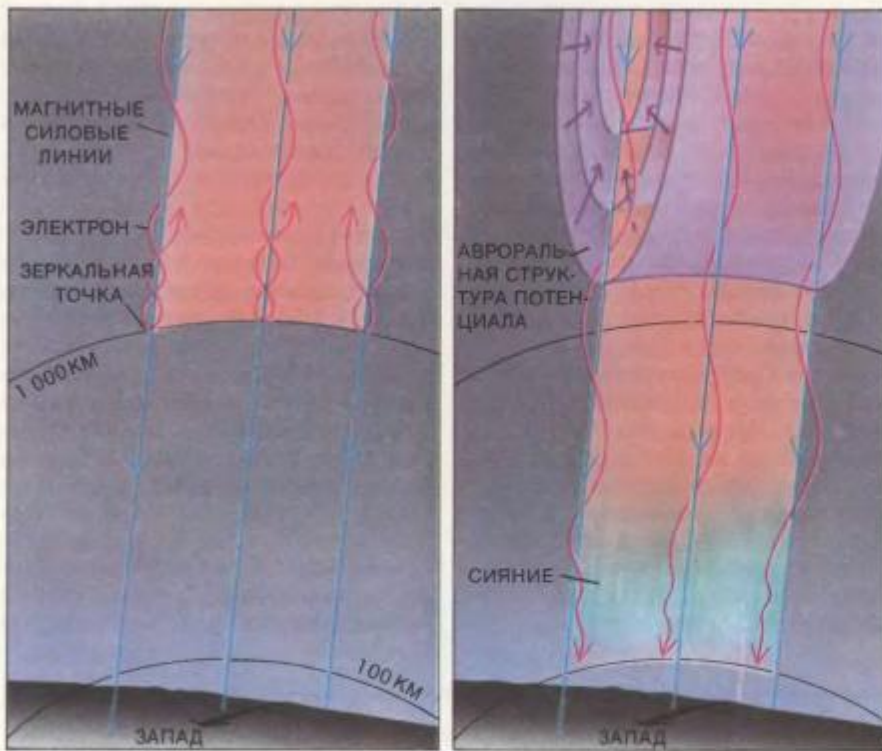
ет им проникнуть до слоев верхней атмосферы, имеющих достаточную плотность, чтобы авроральное свечение можно было наблюдать невооруженным глазом. Тонкослойная форма авроральной структуры потенциала придает сиянию вид занавеса.

Лучи, пронизывающие занавес, в действительности являются серией вихрей, образующихся, когда антипараллельные электрические поля (связанные с авроральной структурой потенциала) по обеим сторонам занавеса заставляют электроны двигаться в противоположных направлениях. Можно вспомнить, как на границе между двумя потоками воды, текущими в противоположных направлениях, образуются водовороты. Изображения таких вихрей в сияниях были получены с Земли с помощью высокоскоростных телевизионных

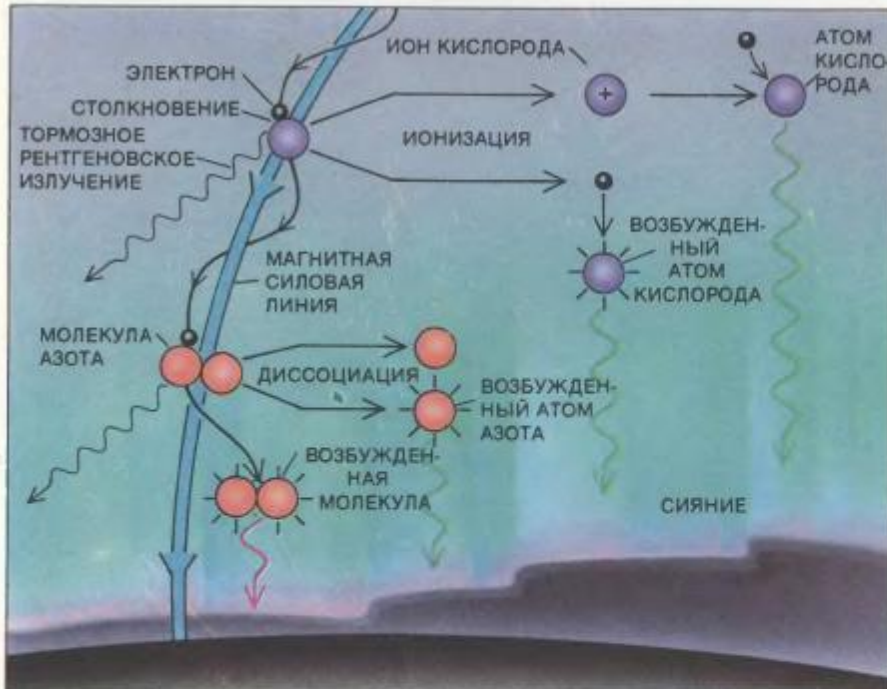


ной доле магнитосферного хвоста направлены к Земле, а в южной — от Земли. При пересоединении силовых линий в магнитосферном хвосте могут образовываться сгустки горячей плазмы, называемые плазмоидами, которые выбрасываются из хвоста назад.

КОГДА ПЛАЗМА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА пересекает силовые линии на магнитопаузе, протоны отклоняются к утренней стороне магнитосферного хвоста, а электроны — к вечерней. Между этими двумя областями течет ток, причем большая его часть течет поперек магнитосферного хвоста, а другая — вдоль силовых линий к авроральному овалу в ионосфере и от него. Этот продольный ток переносится электронами, которые возбуждают авроральные эмиссии. Параллельно этим первичным токам текут вторичные (см. вставку внизу слева).



ЭЛЕКТРОНЫ ПРОДОЛЬНОГО ТОКА движутся по спиральным траекториям вокруг магнитных силовых линий. Когда они спускаются к ионосфере, их pitch-угол возрастает до тех пор, пока они снова не начинают отражаться вверх (слева). В определенных ситуациях (справа) вокруг силовых линий развивается специфическая картина электрического поля, называемая авроральной структурой потенциала. Электроны, ускоряемые вниз в этой структуре, могут проникать в более глубокие области ионосферы. В направлении с севера на юг эта структура очень тонка, а с запада на восток она тянется на тысячи километров, что придает сияниям характерный вид занавеса.



АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ в нижней ионосфере излучают свет, когда испытывают соударения с электронами, ускоренными в авроральной структуре потенциала. Электроны, замедляющиеся при этих столкновениях, испускают «тормозное» рентгеновское излучение. При столкновении электронов с молекулами они распадаются на возбужденные атомы, которые при переходе на более низкое энергетическое состояние испускают излучение. Электроны, выбитые при столкновениях, сталкиваются с атомами и возбуждают их; такие возбужденные атомы также излучают. Кроме того, эти электроны ионизируют атомы, которые испускают излучение при рекомбинации со свободными электронами.

камер, находящихся непосредственно под занавесом при наблюдении вверх. Кроме того, точно такие же структуры были получены при математическом моделировании этих вихрей.

Многие ученые (Л. Франк из Университета шт. Айова, Дж. Барч из Юго-Западного исследовательского института, П. Райф из Университета Райса и Б. Хултквист с коллегами по шведской программе «Викинг») изучали зависимость энергии авроральных электронов от формы и расположения авроральной структуры потенциала в экспериментах с помощью ракет и спутников. Исследователи из Lockheed Missiles and Space Company подтвердили, что авроральная структура потенциала, кроме того, ускоряет положительные ионы в направлении вверх; действительно, такие ионы становятся иногда существенной частью магнитосферной плазмы.

В авроральной структуре потенциала происходит также взаимодействие частиц и электромагнитных волн, что приводит к интенсивному радиоизлучению. По словам Д. Гарнета из Айовы это излучение так интенсивно, что представители внеземной цивилизации обнаружили бы вначале именно его, а не оптическое излучение Земли. Оно не вносит помех в радиопередачи, потому что отражается ионосферой в направлении вверх, так же точно, как излучение земных радиопередатчиков отражается ионосферой в направлении вниз.

Существование авроральной структуры потенциала представляет большой интерес для астрофизиков, специалистов по физике Солнца и физике полярных сияний, потому что до сих пор широко распространено мнение, что вдоль магнитных силовых линий в разреженной плазме не может образоваться сколько-нибудь значительного электрического поля и, следовательно, заряженные частицы не могут ускоряться подобным образом. Данные наблюдений такого поля в сияниях могут найти широкое применение для анализа различных астрофизических явлений, например, в Крабовидной туманности, плотность и энергия плазмы в которой такие же, как в магнитосфере.

Электроджеты и суббури

Авроральный генератор вносит энергию в ионосферу главным образом через два тока, называемых западным и восточным электроджетами. Эти токи текут в нижней ионосфере вдоль аврорального овала и вызывают интенсивный разогрев, который

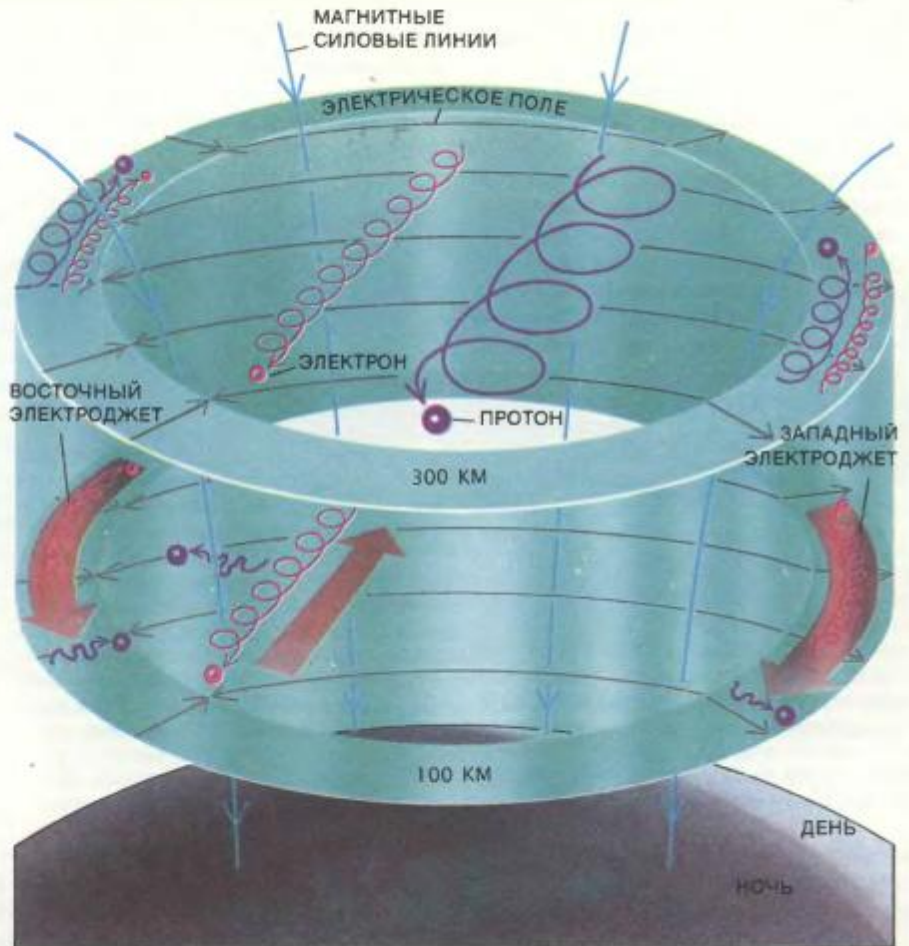
вносит свой вклад в генерацию крупномасштабных ветров в верхней атмосфере высоких широт.

Как возникают электроджеты? Нужно вспомнить, что продольные токи текут между внутренней и внешней границами аврорального овала. Эти токи индуцируют электрическое поле, параллельное поверхности Земли и, следовательно, перпендикулярное магнитному полю Земли на полюсах (см. рисунок вверху справа). В присутствии этих двух взаимно перпендикулярных полей — магнитного и электрического — заряженные частицы испытывают так называемый дрейф в скрещенных полях ($E \times B$ дрейф), в котором и положительные, и отрицательные частицы дрейфуют вдоль аврорального овала в одном направлении, с ночной стороны на дневную.

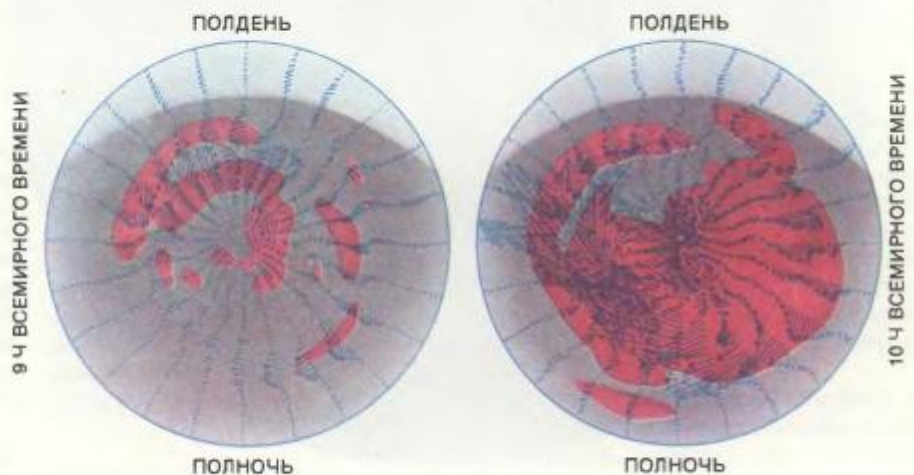
В верхней ионосфере дрейфующие частицы движутся с одинаковой скоростью, так что электрического тока не возникает, однако они передают импульс нейтральным частицам, участвуя тем самым в генерации ветра. В нижней же ионосфере ионы сталкиваются с нейтральными частицами более часто и «выпадают» из $E \times B$ дрейфа. В результате ток вдоль аврорального овала определяется только дрейфом электронов в ионосфере. Таким образом, возникает электрический ток, направленный на восток в вечернем секторе и на запад в утреннем.

Наблюдения с помощью специальных фотокамер всего неба во время Международного геофизического года (1957—1958 гг.) выявили ранее неизвестную закономерность в авроральной активности над полярными областями — авроральную суббурию. Первый признак суббурии — внезапное увеличение яркости авроральных форм в предполуденное время. Эта вспышка быстро распространяется вдоль всего занавеса в обоих направлениях, так что всего за несколько минут весь занавес вдоль аврорального овала в ночном полушарии становится ярким.

Яркие формы начинают двигаться к полюсу в полуденном секторе со скоростью несколько сот метров в секунду; при этом в занавесе образуется крупномасштабная выпуклость. Около западного края этой выпуклости появляются различные волновые движения, которые распространяются на запад со скоростью около 1 км/с. На полпути к полюсу в утреннем секторе полосы сияния распадаются на множество «пятен». Движение к полюсу в полуденном секторе продолжается обычно полчаса-час. Затем, когда достигается максимальная для данного случая широта, авроральная активность начи-



ПРОДОЛЬНЫЕ ТОКИ индуцируют электрические поля поперек аврорального овала, перпендикулярные геомагнитному полю. В такой ситуации электроны и ионы переносятся в одном направлении в процессе так называемого дрейфа в скрещенных полях ($E \times B$ дрейф). Над полярной шапкой и авроральным овалом дрейф протекает в противоположных направлениях, поскольку электрические поля в этих областях направлены по-разному. В верхней ионосфере электроны и ионы движутся с одной скоростью и ток не возникает. В нижней ионосфере ионы претерпевают множество соударений, которые отклоняют их от направления $E \times B$ дрейфа и заставляют двигаться вдоль электрического поля. Таким образом, ток переносится электронами, которые создают электроджеты.



ИОНОСФЕРНЫЕ ТОКИ, измеренные 18 марта 1978 г. во время суббурии (справа), были гораздо сильнее, чем токи, зарегистрированные за час до этого (слева). Представлено изображение сверху со стороны Северного магнитного полюса, дневная сторона находится наверху, ночная — внизу. Стрелки показывают направление токов, а их длина указывает силу тока. Во время суббурии западный электроджет был зарегистрирован в ночном секторе, а восточный — в послеполуденном. Количество выделяющегося при этом тепла показано разной густотой красного цвета.

нает спадать. Суббури обычно длится от одного до трех часов.

Авроральная суббури — это проявление так называемой магнитосферной суббури; каждый день происходит четыре-пять таких суббурь. К другим проявлениям магнитосферных суббурь относится усиление электроджетов, вызывающее в свою очередь сильные геомагнитные возмущения, известные как полярные магнитные суббури. Одна из таких бурь, разыгравшаяся 18 марта 1978 г., была очень тщательно исследована в ходе международного эксперимента, в котором использовалось более 70 магнитометров, расположенных в арктической области вдоль шести «спиц», выходящих из Северного магнитного полюса. Обработка полученных данных на мощных компьютерах позволила Й. Камиде из Университета г. Киото и Я. И. Фельдштейну из Института земного магнетизма и распространения радиоволн АН СССР реконструировать картину электриче-

ских токов по наземным магнитным измерениям*. Они смогли также оценить скорость роста тепловой энергии верхней атмосферы, обусловленную этими токами.

Динамика суббурь

Многие исследователи, включая Р. Мак-Феррона из Калифорнийского

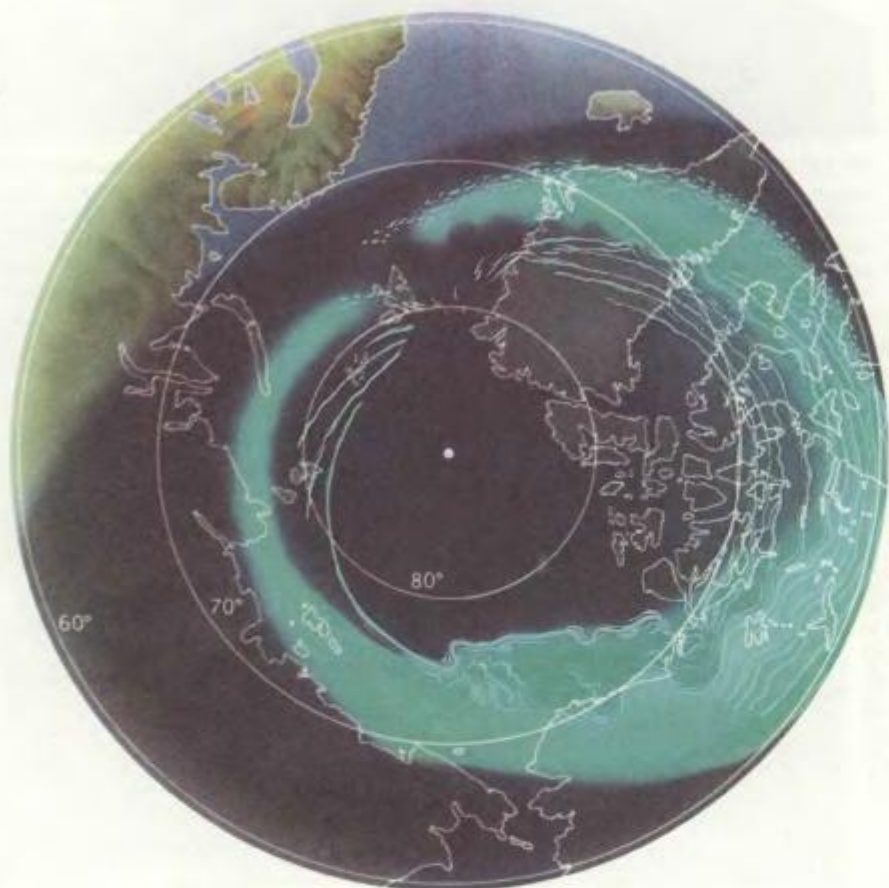
* Методика восстановления параметров электромагнитного комплекса в полярной ионосфере по данным планетарной сети наземных высокоширотных магнитных обсерваторий была разработана В.М. Мишиным и его сотрудниками из Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (г. Иркутск), Ю. Камидой и его коллегами из Университета г. Киото, а также Я. И. Фельдштейном, А.Е. Левитиным и их сотрудниками из Института земного магнетизма ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (г. Москва) и в настоящее время широко используется специалистами. — *Прим. ред.*

университета в Лос-Анджелесе и Д. Бейкера из Голлардовского центра космических полетов НАСА, считают, что суббури вызваны процессами, протекающими внутри хвоста магнитосферы Земли. Магнитосферный генератор возбуждает две «петли» токов, текущих в противоположных направлениях вокруг северного и южного пучков силовых линий, которые образуют северную и южную доли хвоста магнитосферы. Эти опоясывающие токи индуцируют по всей длине хвоста антипараллельные магнитные поля. Общепринято мнение, что такие антипараллельные поля могут спонтанно и взрывообразно пересоединяться, высвобождая при этом энергию, питающую магнитосферную суббурию.

Однако становится все яснее, что развитие и затухание магнитосферных суббурь частично определяются ростом и ослаблением мощности самого генератора. В начале 70-х годов мой студент-дипломник П. Перро и я попытались связать мощность генератора с различными характеристиками солнечного ветра. Мы предположили, что полная измеренная энергия, рассеиваемая во внутренней магнитосфере, равна мощности, которую солнечный ветер инжектирует в магнитосферу. Затем мы попытались проверить, существует ли корреляция между флуктуациями этой мощности и изменениями определенных характеристик солнечного ветра, измеренных с помощью спутников.

Мы установили, что мощность, диссипирующая во внутренней магнитосфере, пропорциональна произведению скорости солнечного ветра на квадрат напряженности его магнитного поля и на синус в четвертой степени половины полярного угла (измеряемого от Северного полюса) между направлением магнитного поля солнечного ветра и направлением магнитного поля Земли. Другими словами, мощность равна нулю, если магнитное поле солнечного ветра направлено на север, поскольку при этом полярный угол равен нулю, так что синус тоже равен нулю. Напротив, мощность максимальна, когда поле солнечного ветра направлено на юг, поскольку полярный угол при этом равен 180° и синус половины этого угла максимален.

М.И. Пудовкин и его сотрудники из Ленинградского университета, а также другие ученые вывели эту формулу теоретически, предположив, что магнитосфера ведет себя как МГД-генератор. Патриция Райф и ее коллеги показали, что измеренные вариации перепада электрического потенциала через полярную шапку (обусловлен-



ДЕТАЛЬ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА, наблюдаемого сверху, со стороны Северного полюса. Диффузные сияния занимают внешнюю часть однородной полосы между вечерним и полуночным секторами. Овал имеет однородную светимость в вечернем секторе и часто так широк, что заполняет все поле зрения наблюдателя на Земле. Дискретные сияния типа полос наблюдаются к полюсу от диффузных сияний. Во время пика суббури яркие формы в полуночном секторе начинают двигаться к полюсу. В утреннем секторе диффузное свечение распадается на множество структур типа полос и пятен на внешней границе овала.

ного таким авроральным генератором) тесно связаны с величиной мощности, вычисленной с помощью нашего уравнения. Кроме того, каждое большое увеличение мощности (превышающее 10 000 МВт) связано не только с увеличением перепада потенциала, но и с интенсификацией авроральных суббурь.

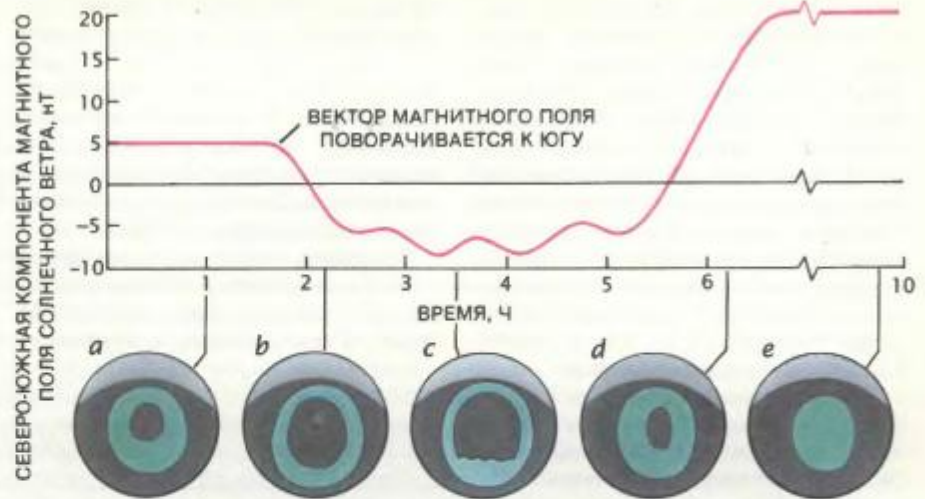
Мы обнаружили, что авроральный овал сужается и расширяется в зависимости от величины мощности, поступающей от аврорального генератора, которая в свою очередь зависит от северо-южной компоненты межпланетного магнитного поля. Эти данные наблюдений указывают на то, что суббури происходят особенно часто, когда вектор магнитного поля солнечного ветра поворачивается на юг — это решающее свидетельство в пользу того, что суббури «контролируются» солнечным ветром, а не спонтанными явлениями внутри магнитосферы.

Некоторые другие проблемы

До сих пор не вполне ясно, что представляет собой «спусковой механизм» для суббури. В частности, увеличение мощности самого генератора не может привести к внезапному возрастанию яркости полярных сияний. Дж. Кан из Университета шт. Аляска в Фэрбенксе считает, что такие вспышки яркости вызваны тем, что продольные токи усиливаются благодаря эффектам, возникающим в ионосфере, когда дрейф в скрещенных полях $E \times B$ становится более интенсивным из-за всплеска мощности генератора.

Что происходит, когда магнитное поле солнечного ветра в течение длительного времени направлено не на юг, а на север? При уменьшении мощности аврорального генератора сияния тускнеют, а электроджеты слабеют. В таких условиях наблюдается неожиданное поведение авроральных форм. Несколько полос вытягиваются через полярную шапку параллельно полуденному меридиану и слабые светящиеся пятна «дрейфуют» через полярную шапку в том же направлении. Эти сияния полярной шапки нельзя объяснить, если исходить только из уменьшения мощности генератора.

Модель аврорального генератора мощности, которую я описывал до сих пор, основана на процессе пересоединения на лобовой (обращенной к Солнцу) области магнитосферы. По-видимому, пересоединение может происходить и в магнитосферном хвосте в процессе, который возбуждается и отчасти определяется магни-



КОГДА ВЕКТОР МАГНИТНОГО ПОЛЯ солнечного ветра направлен к северу, авроральный овал невелик и почти весь заполнен слабым свечением (а). Когда поле поворачивается на юг, яркость овала возрастает и он быстро расширяется. Слабое свечение исчезает всюду, кроме узкого кольца внутри овала (b). Примерно через час начинается суббури и яркие полосы смещаются к полюсу. Суббури достигает пика через один-два часа после своего начала (c). После того как вектор магнитного поля солнечного ветра снова поворачивается к северу, сияние тускнеет, а в полярной шапке появляются полосы, вытянутые в направлении полдень—полночь (d). Когда поле солнечного ветра в течение многих часов имеет большую величину и направлено на север, овал может исчезнуть, и над всей полярной областью будет наблюдаться слабое свечение (e).

тосферным генератором. Дж. Славин и Б. Сурутани из Лаборатории реактивного движения недавно получили свидетельства в пользу того, что скорость потока плазмы от Земли на расстоянии, равном примерно 200 земных радиусов, коррелирует с интенсивностью авроральных электроджетов. Предполагают, что поток плазмы, направленный к Земле, поддерживается энергией, высвобождаемой при магнитном пересоединении в хвосте магнитосферы.

Когда яркость сияний возрастает, плазменный слой в хвосте становится сначала очень тонким, а затем через короткий промежуток времени в хвосте магнитосферы начинают происходить различные активные процессы. Предполагают, что они каким-то образом связаны с авроральной динамикой во время суббурь. В настоящее время близка к завершению разработка Международного проекта по солнечно-земной физике, включающего проведение измерений с помощью большого числа спутников, осуществление которого позволит найти ответы на эти вопросы.

Другие явления

Мощность аврорального генератора в конечном счете определяется активностью Солнца, в частности, такими явлениями, как солнечные вспышки и мощные выбросы корональных газов, которые генерируют

ударные волны, распространяющиеся в солнечном ветре. Сразу за фронтом ударной волны скорость солнечного ветра достигает 500—1000 км/с, магнитное поле сжимается и вследствие этого усиливается. Когда ударная волна сталкивается с магнитосферой, мощность генератора может возрасти до 10 млн. МВт или даже более, при условии, что магнитное поле солнечного ветра направлено на юг.

Эта ситуация может привести к геомагнитной буре. Во время такой бури авроральный овал очень сильно расширяется к экватору. При этом он может исчезнуть с неба Аляски и появиться на широте границы США и Канады или даже еще южнее. В таких сияниях очень возрастает интенсивность красной кислородной линии с длиной волны 630 нм, что, по-видимому, объясняется возбуждением атомов кислорода нагретыми электронами. В это же время усилившиеся в радиационных поясах токи создают сильные магнитные поля даже на довольно низких широтах в магнитосфере и на Земле.

В последнее время мои коллеги, занимающиеся физикой Солнца, и я попытались понять, как солнечные ударные волны влияют на магнитосферу. Вспышка в центре диска Солнца может генерировать ударную волну, распространяющуюся к Земле вдоль линии Солнце — Земля. При этом волновой фронт столкнется с магнитосферой почти точно в ее «носовой» части, межпланетное поле

подвергнется сильному сжатию и поэтому возрастет по величине. Это в свою очередь резко увеличит мощность аврорального генератора. Если же вспышка произойдет вблизи края солнечного диска, то ударная волна от нее будет распространяться в направлении, перпендикулярном линии Солнце — Земля, и поэтому она лишь скользнет по «носовой» части магнитосферы, вызвав только небольшое сжатие. В такой ситуации даже интенсивная вспышка может и не привести к появлению сильного сияния.

Другое явление, которое воздействует на авроральную активность, — это корональные дыры — области, свободные от солнечных пятен. Такие дыры генерируют высокоскоростные потоки в солнечном ветре. Они особенно хорошо развиты на спаде солнечного цикла. Часто две большие дыры появляются одновременно: — одна — в Северном полушарии Солнца, а другая — диаметрально противоположно — в Южном полушарии. Каждая корональная дыра испускает широкий поток солнечного ветра.

Поскольку Солнце вращается по отношению к Земле с периодом около 27 дней, наблюдается эффект сегнера колеса: один поток достигает Земли, а через две недели за ним следует другой. Земля находится внутри каждого потока приблизительно одну неделю. В течение этого времени мощность генератора высока и переменна. Корональные дыры обычно сохраняются в течение многих месяцев и поэтому на спаде солнечного цикла в этот период каждые 27 дней будут наблюдаться по два интервала повышенной авроральной активности длительностью неделю каждый. По-видимому, солнечный ветер испускается с большей скоростью из высокоширотной области корональной дыры; вероятно, этим можно объяснить тот факт, что авроральная активность возрастает вблизи осеннего и весеннего равноденствий, когда Земля находится на самых высоких гелиографических широтах.

Ключ к пониманию некоторых солнечных событий могут действительно дать исследования полярных сияний. Как и сияния, солнечные вспышки обусловлены излучением возбужденных атомов и выглядят как яркие образования типа аврорального занавеса; несомненно, они обусловлены аналогичными физическими процессами. Уже давно было высказано предположение, что солнечные вспышки получают энергию в результате пересоединения силовых линий магнитного поля Солнца. Теория требует существования так называемых бесиловых полей, которые идентич-

ны продольным токам в земной магнитосфере. Поэтому очень важно найти генераторный механизм, способный дать энергию для создания бесиловых полей и солнечных вспышек. Возможно, необходимую энергию генерируют движения газа на видимой поверхности Солнца, которую можно сравнить с земной ионосферой.

Я надеюсь, что изучение полярных сияний внесет вклад в объяснение природы различных астрофизических явлений. В конце концов, разреженная

плазма, пронизанная магнитными полями, существует в большинстве астрономических объектов; взаимодействие потоков замагниченной плазмы и атмосферы таких намагниченных небесных тел, как звезды, планеты и кометы, может быть широко распространено. Из всех таких процессов только сияния дают в наше распоряжение готовую «лабораторию», в которой ученые могут проверять и подтверждать свои теории прямыми наблюдениями.

Наука и общество

Производство двойников

ЧТО произошло с идеей клонирования человека? Не так давно перспектива производства двойников из одной клетки так много дискутировалась, что появилась даже серия мультфильмов на эту тему с популярным персонажем, а вышедшую в 1978 г. книгу Д. Рорвика "In his Image: The Cloning of a Man" издатель сопроводил скептическим предисловием. Сейчас, когда биологи больше знают о механизмах размножения млекопитающих, они лучше понимают границы собственных возможностей.

Если такие методы, как искусственное осеменение, оплодотворение *in vitro* и внутриутробный генетический анализ, стали практикой, то другим технологическим изобретениям пришлось отойти в область научной фантастики. Опыты К. Илмензее, бывшего эмбриолога Женевского университета, являются доказательством этого. В конце 70-х годов К. Илмензее, работавший тогда в Женевском университете, сообщил в журнале "Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.", что получил так называемых гиногенетических мышей, удалив из оплодотворенной яйцеклетки мужские хромосомы и искусственно удвоив женские хромосомы. В 1981 г. в журнале "Cell" этот исследователь объявил о клонировании мышей путем замещения ядер оплодотворенных яйцеклеток ядрами из клеток бластулы (ранняя стадия развития эмбриона). В 1982 г. в "PNAS" он описал мышей, развившихся из оплодотворенных яйцеклеток, ядра которых были замещены ядрами клеток партеногенетических эмбрионов (т. е. эмбрионов, развившихся из яйцеклетки без участия мужских гамет).

Другие исследователи пытались воспроизвести результаты Илмензее, но безуспешно. М. Азим Сурани и его коллеги из Института физиологии

животных и генетических исследований при Совете по научным исследованиям в области сельского хозяйства и производства продуктов питания в Кембридже написали в журнал "Science", что им не удалось получить гиногенетические и партеногенетические мышечные эмбрионы, которые бы дожили до середины срока беременности. Д. Солтер и Дж. Макграт из Вистаровского института анатомии и биологии заявили на страницах того же журнала, что эмбрионы, полученные путем трансплантации ядер из бластулы, не будут развиваться до нормального завершения беременности. Между тем обвинения со стороны сотрудников лаборатории Илмензее вызвали расследование его деятельности и в итоге в 1987 г. он ушел с работы.

Однако результаты опытов Илмензее выглядели правдоподобно, так как они теоретически возможны. Целое растение может регенерировать из единственной клетки, и из оплодотворенной яйцеклетки лягушки, в которую перенесли ядро клетки головастика, может развиваться взрослая особь. «В любой клетке есть вся информация, необходимая для создания взрослого двойника донора», — говорит «безумный» герой романа Дж. Левена "Creator", пытаясь добиться регенерации своей ушедшей жены; но он обнаруживает, что хромосомы млекопитающих подвергаются изменениям на ранних стадиях развития, что делает записанную в них информацию недоступной.

Почему происходит инактивация генетического материала стало «вопросом на миллион долларов» в биологии развития XX в. У различных видов млекопитающих она происходит на разных этапах развития. Например, у крупного рогатого скота хромосомы сохраняют способность управлять развитием эмбриона дольше, чем ядра из эмбрионов мыши

(этот факт установлен в результате работ С. Вилладзена из фирмы Alta Genetics Inc. в Калгарии, занимавшегося клонированием высокопородного крупного рогатого скота и овец). Этот исследователь брал отдельные клетки 4-, 8- или даже 16-клеточных эмбрионов, культивировал их в течение нескольких дней и помещал в «приемную» мать. Ему также удалось осуществить перенос ядра путем слияния отделенных эмбриональных клеток с оплодотворенными яйцеклетками, лишенными оболочек.

Вилладзен не сомневается, что клонирование найдет широкое применение в сельском хозяйстве. Изучение партеногенеза и трансплантации ядер когда-нибудь, быть может, повлияет и на размножение человека. Одним из побочных результатов таких исследований явилось открытие процесса своего рода импринтинга, — различия в эмбрионе материнских и отцовских хромосом. Механизм этого процесса неизвестен. По-видимому, он участвует в координации управляющих развитием команд обоих наборов хромосом. Этот «импринтинг», возможно, играет роль также при злокачественном перерождении клеток, что недавно обсуждалось в статье о предрасположении к раковому поражению костной ткани, которая опубликована в журнале "Nature".

Многие биологи считают, что у млекопитающих «импринтинг» — причина того, что для нормального развития яйцеклетки необходимы именно мужские, а не любые хромосомы. Он может быть также причиной потери генами соматических клеток способности управлять развитием. «Если удастся открыть механизм импринтинга, то можно будет направлять его вспять», — сказал Сураки. Но, по его словам, это весьма далекая перспектива. Поэтому книга Рорвика в Нью-Йоркской городской библиотеке хранится на полке, предназначенной для трудов по оккультным наукам.

Развитие домостроения

ИНДУСТРИЕЙ, позабытой капитализмом», называют в США домостроение — одну из наиболее раздробленных и децентрализованных отраслей промышленности. Еще лучше было бы назвать ее «индустрией», почти позабывшей об исследованиях. Однако, похоже, оба эти определения скоро уйдут в прошлое. Конкуренция со стороны иностранных фирм почти во всех областях домостроения — от производства материалов до сборки домов — побуждает

американских предпринимателей серьезно отнестись к жилищу будущего.

По нерадивости правительства да и самих строителей, угроза иностранной конкуренции начинается с материалов, даже таких как фанера и гипс. Если в 1981 г. в США имелся избыток строительных материалов на сумму 700 млн. долл., то в 1987 г. США имели дефицит в 2,34 млрд. долл.

Недостаток капиталовложений в исследования и разработки не позволяет надеяться на быстрые перемены к лучшему. В большинстве отраслей американской промышленности ежегодные затраты на исследования и разработки составляют примерно 2,6% от прибылей. «Как ни оценивая этот показатель в области домостроения, он далек от среднего уровня», — говорит Генри Келли, руководитель программы в Бюро по оценке технологии. Большая часть примерно 80 млн. долл., отпущенных правительством на исследования по гражданскому строительству, ушла на то, чтобы повысить эффективность использования энергии в домах. «Мы провели превосходные исследования по технологии остекления и освещения домов, создание систем, эффективных с точки зрения сбережения энергии», — говорит Келли, — однако это лишь часть проблем.

Иностранцы производители вторгаются во все области — от разработок новых конструкций домов до сложной аппаратуры. «Забудьте о домах прошлого», — говорит руководитель программы по строительным системам Шведского торгового совета. — Теперь мы делаем дома на фабриках».

По словам Мононена, двадцать лет назад меньше половины домов в Швеции собиралось из модулей, изготавливаемых на фабриках. Энергетический кризис 1973 г. заставил шведское правительство утвердить общенациональные строительные стандарты по эффективности использования энергии. (В отличие от этого в США существует четыре типа стандартов, в которые вносятся тысячи поправок в соответствии с местными условиями.) В результате около 95% всех новых односемейных домов в Швеции сейчас целиком производятся на фабриках. Как говорит Мононен, «сколоченные на месте» дома не удовлетворяют требованиям экономии энергии и уступают по качеству модулям фабричного производства.

Импортеры уверены, что прочность шведских конструкций и их эффективность с точки зрения сбережения энергии произведут впечатление и в США. Компоненты дома, такие как

стены или полы, доставляются из Швеции морем и могут быть собраны квалифицированными рабочими за три дня; вся постройка дома, включая установку оборудования, занимает около восьми недель, говорит Джеймс Э. Метивье, взявший подряд на размещение 175 двухквартирных домов шведского производства в Лаконии, шт. Нью-Гэмпшир. Дома эти не дешевы; по словам Метивье, потребителям они обойдутся по 150 000 долл.

Хотя дома фабричного производства стали обычными и в Японии, директор лаборатории архитектуры и планирования Массачусетского технологического института Майкл Л. Джорофф больше обеспокоен конкуренцией со стороны японских производителей в области производства таких элементов дома, как автоматика и электронные системы. «В Америке оболочку дома строят одни, а оборудуют дом внутри другие», — говорит он. — В Японии конечным продуктом является готовый дом, и производитель продает его непосредственно потребителю». По словам Джороффа, хотя японские компании не имеют намерения строить дома для США, они готовы оборудовать их.

Одна из обнадешивающих перспектив в области автоматизации жилья в США — это программа «удобного дома», начатая Национальной ассоциацией домостроителей около четырех лет назад. В рамках этой программы более 100 североамериканских предпринимателей разрабатывают систему распределения электропитания и связи по всему жилищу через единый кабель. Это значит, что любой прибор — лампу, телефон или кабельную телесистему — можно будет подключить к любой розетке в стене. Домовладелец сможет запрограммировать систему включения и выключения в определенное время различных приборов — ламп, нагревателей, будильников и т. д. В систему можно будет встроить компьютер, который «изучит» привычки жильцов и будет в соответствии с ними контролировать работу приборов.

«Умные дома — это великое дело», — говорит Стивен Уинтер, основатель Консультативной группы Стивена Уинтера в Вашингтоне. «Неясно, победит ли американский «удобный дом» на рынке», — сомневается Дэвид Энджел, аналитик из Отдела домостроительства и городского развития. Джорофф предсказывает, что первые автоматические системы в дома введут японцы. «Тот, кто победит в этой войне, — говорит Энджел, — завоеует будущий строительный рынок Америки».

Прошлое и будущее Амазонии

История Амазонских дождевых лесов свидетельствует о том, что эта экосистема легко приспосабливается к естественным нарушениям климата. Сможет ли она столь же гибко реагировать на вмешательство человека?

ПОЛЬ А. КОЛИНВО

ДОЖДЕВЫЕ леса, занимающие огромный бассейн Амазонки, с самолета кажутся ровным зеленым ковром, прорезанным местами полосками воды. На самом деле лес этот совсем не однороден. «Ковер» — это лесной полог, образованный широкими листьями гигантских деревьев самых разных видов и представляющий собой лишь верхний слой экосистемы, включающей наибольшее — по сравнению с другими районами земного шара — количество видов растений и животных. В дождевом лесу обитает около 80 тыс. видов растений (одних только пальм — 600 видов), а также около 30 млн. видов животных, главным образом насекомых.

Высказывалось предположение, что огромное видовое разнообразие является следствием устойчивого теплого и влажного климата. Теоретически в отсутствие таких «возмущений», как ежегодные краткие зимние похолодания или длительные оледенения в этом тропическом регионе, который обычно называют просто «Амазонией», число видов должно расти. Однако данные исследований показывают, что Амазония подвергалась климатическим возмущениям самого разного временного масштаба, включая последнее оледенение, когда ледники заняли более северные районы. Более того, умеренные климатические нарушения не только не были губительны для жизни в Амазонии, но даже могли способствовать формированию здесь огромного разнообразия видов.

Влияние климата на видовое богатство в экосистеме Амазонии в прошлом — это далеко не академическая проблема: изучение ее дает бесценную информацию о вероятных изменениях дождевых лесов в будущем. Уничтожение человеком растительности на огромных пространствах приводит к быстрому исчезновению огромного числа видов. Странам, на территории которых произрастают дождевые ле-

са, — Бразилии, Венесуэле, Колумбии, Эквадору и Перу — необходимо выработать план действий, направленных на спасение как можно большего числа видов и в то же время совместимых с требованиями экономического развития. Те, кто разрабатывает эти стратегии, должны учитывать все факторы, влияющие на видовое разнообразие. Поэтому так важно выяснить, какие потрясения испытала данная экосистема в прошлом.

ПРЕЖНЕЕ представление о том, что многообразие видов в Амазонии объясняется постоянством климата, возникло, как это ни странно, в ходе исследований морских глубин. Ховард Л. Сандерс из лаборатории морской биологии в Вудс-Холе обнаружил, что на больших глубинах в донном иле, несмотря на холод, темноту и низкую биологическую продуктивность, обитает множество видов. Он доказал, что влияние этих неблагоприятных факторов компенсируется постоянством условий обитания. При отсутствии значительных колебаний состояния среды, вымирание видов, приспособившихся к такой среде, замедляется. Вместе с тем, поскольку эволюция продолжается, скорость образования новых видов превышает скорость вымирания старых, что и приводит к увеличению видового разнообразия.

Сандерс высказал предположение, что ситуация в лесах Амазонии и других тропических лесах напоминает ситуацию на больших глубинах в океане: здесь в условиях постоянной влажности и температуры вымирание видов — редкость. Эта точка зрения, казалось бы, подтверждалась отсутствием зимних похолоданий и оледенений и данными, свидетельствующими о том, что в бассейне Амазонки размером 1000 на 3000 км дождевые леса существуют уже 30 млн. лет, а может быть, и дольше.

В 1969 г. появились данные, которые заставили усомниться в правильности гипотезы постоянства климата в Амазонии. Юрген Хаффер, работавший в корпорации Mobil, заметил, что для различных районов бассейна Амазонки характерны свои собственные изолированные орнитофауны, несмотря на то что лесной покров тянется практически непрерывно с запада на восток — до берегов Атлантического океана. Хаффер и другие биологи заметили также дизъюнкции (разобщенность) видовых ареалов у бабочек и у некоторых других групп. Подобная картина немало озадачила ученых: действительно, каким образом оказались изолированы популяции, если среда их обитания была непрерывной?

Хаффер выдвинул настолько ясное и логичное объяснение, что многие из нас испытали досаду от того, что не додумались до этого объяснения сами. Он предположил, что причины современной изолированности популяций следует искать в последнем ледниковом периоде. Обнаружив, что области со своими видами расположены главным образом на возвышенностях, более влажных, чем низменности, Хаффер пришел к выводу, что во время оледенений низменности в Амазонии превращались в засушливые полупустыни, тогда как возвышенности становились «островами» влаги и служили, таким образом, рифугиями («убежищами») для животных и растений дождевых лесов. Популяции, когда-то бывшие однородными, разобщались и, приспособившись к своей среде обитания на своей возвышенности, навсегда отделялись друг от друга.

Эта гипотеза весьма привлекательна, поскольку объясняет не только дизъюнкцию ареалов в бассейне Амазонки, но и необычное видовое разнообразие. В «убежищах» ледникового периода существовавшие виды спасались от вымирания, а периодическая

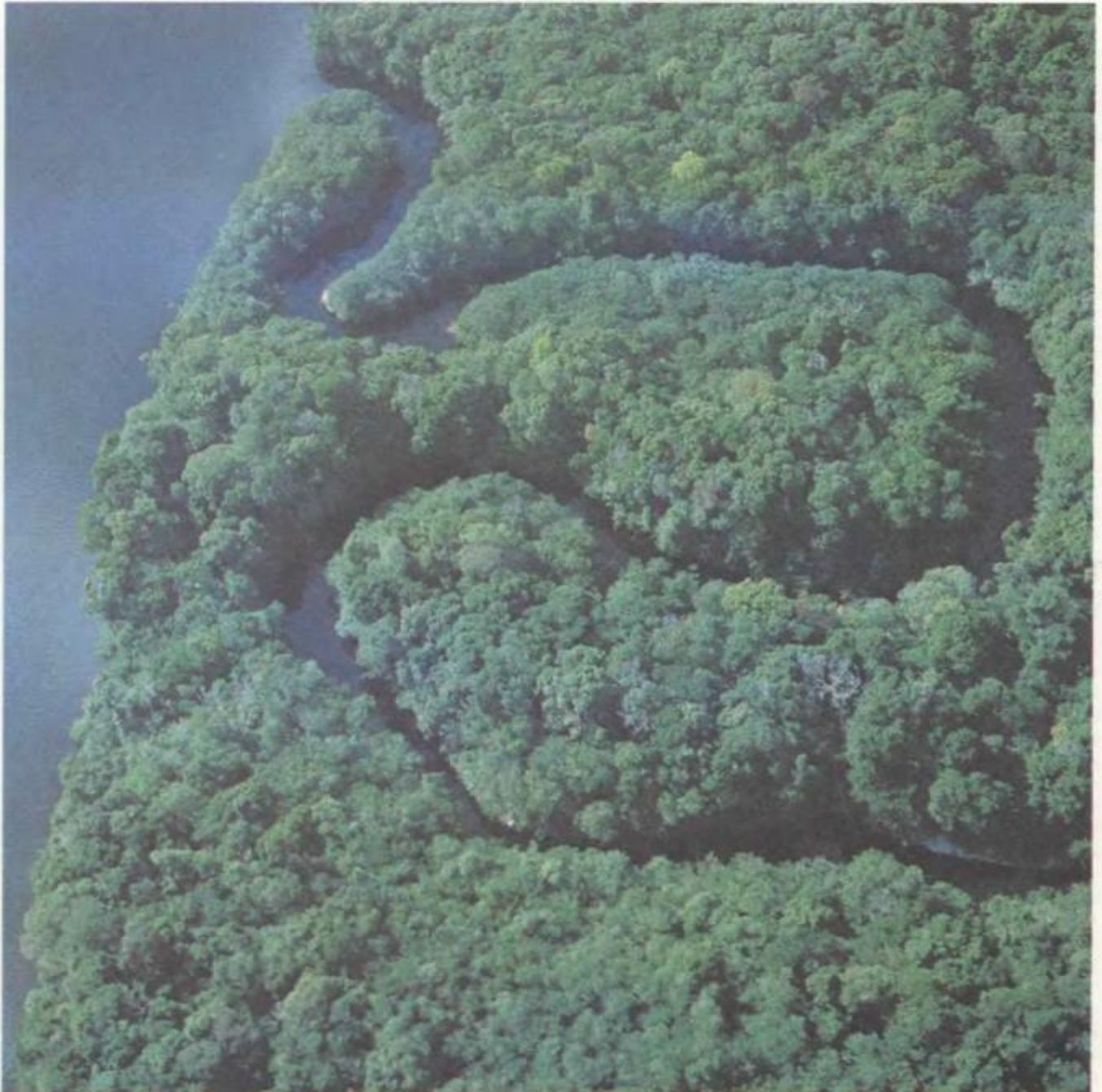
географическая изоляция родственных популяций (всего Земля пережила к настоящему времени 13 ледниковых эпох) способствовала все возрастающей их дивергенции.

СТОРОННИК гипотезы рефугий должен предоставить доказательства того, что низменности Ама-

зонии, где сейчас произрастают влажные тропические леса, действительно высыхали в ледниковый период. До сих пор никто еще не нашел неопровержимые свидетельства того, что в бассейне Амазонки климат был действительно аридным (сухим), хотя косвенные подтверждения этого предположения давали расчеты по

моделям, а также анализ образцов осадочных пород, собранных в некоторых районах тропиков.

Так, например, Джон Е. Кутибак и Питер Дж. Гьюттер из Висконсинского университета в Мадисоне, используя компьютерную модель глобального климата ледникового периода, показали, что в ту пору интенсив-



ИЗРЕЗАННЫЙ ВОДОЙ УЧАСТОК дождевого леса в бассейне Амазонки на первый взгляд кажется однородным, но на самом деле, как и весь лес в целом, включает большое количество растущих попеременно видов деревьев. Во влажном, теплом лесу Амазонии на единице площади (равно как и в суммарном выражении) обитает больше видов растений и животных, чем в любом другом регионе земного шара. Одно время существовала теория, что это многообра-

зие видов объясняется постоянством климата, но, как показано недавно, в действительности бассейн Амазонки все время страдал от таких «возмущений», как ливневые потоки и затопления. В противоположность оледенениям, приводившим к массовым вымираниям на континентах, такие умеренные возмущения препятствуют вымираниям видов. Уничтожая часть представителей доминантных видов, они дают возможность укрепиться слабым видам.



БАССЕЙН АМАЗОНКИ ограничен с востока Атлантическим океаном, а с других сторон — возвышенностями: это Гвианское плоскогорье на севере, громадные Анды на западе

и плато Мату-Гросу на юге. Дождевой лес (темно-зеленый), занимающий всю территорию бассейна, можно встретить до высоты 1200 м над уровнем моря.

ность муссонных дождей в тропиках была ниже на 20%. В результате такого уменьшения осадков аридные условия должны были распространиться на регионы с резкой сменой сезонов, т. е. на те, где ежегодно бывают по-настоящему засушливые периоды (а к ним относятся по крайней мере некоторые районы Амазонии). (Многие так называемые сезонные регионы тропиков не характеризуются ежегодными периодами настоящей засухи, просто отдельные сезоны в них менее дождливы, чем другие.)

Дэниел А. Ливингстон из Университета Дюка одним из первых получил полевые данные по вопросу об аридности. Исследуя в Африке ископаемую пыльцу деревьев — хороший индикатор местной флоры, он обнаружил, что некоторые тропические дождевые леса растут сейчас там, где 12 — 20 тыс. лет назад, т. е. в конце последнего оледенения (имевшего место 70 — 10 тыс. лет назад), располагались сухие редколесья или саванны. Намеки на такую же аридность в ледниковое время там, где теперь распо-

ложены влажные тропические зоны, мы находим с внешней стороны границ Амазонии. Это наводит на мысль, что выводы относительно ситуации, существовавшей в ледниковом периоде в Африке, приложимы и к бассейну Амазонки.

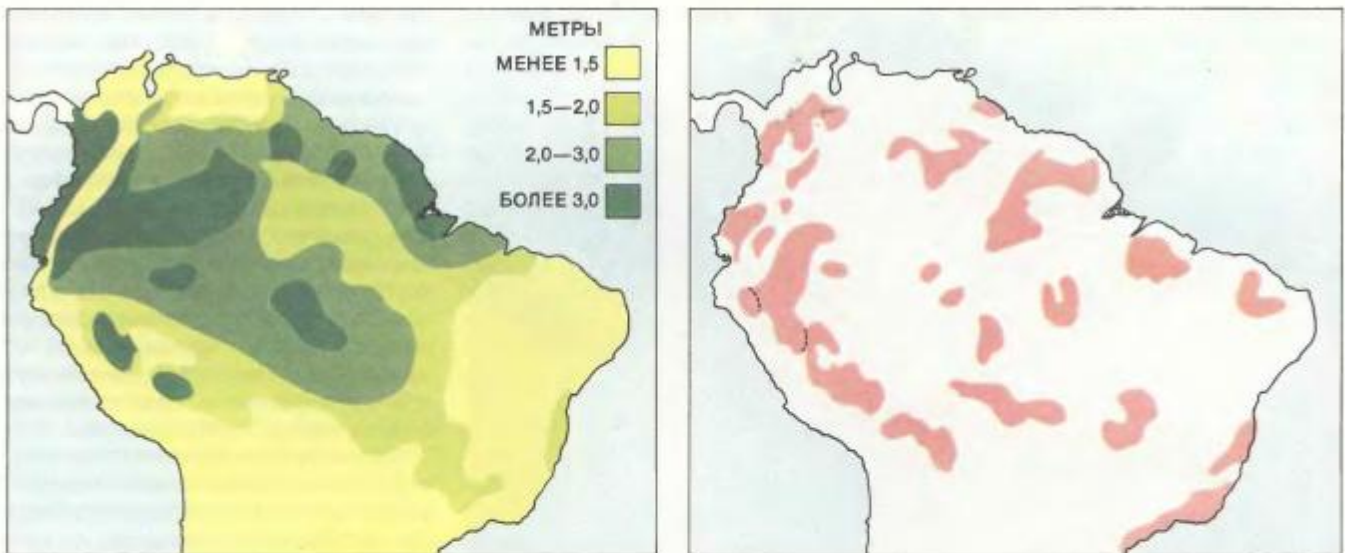
Я сам собрал данные, могущие, казалось бы, свидетельствовать об аридном климате в бассейне Амазонки, на островах Галапагос, находящихся на экваторе примерно в 2000 км к западу от западной границы Амазонии. Надежно датированный керн ненарушенных осадочных пород, взятый со дна пресноводного озера, показал, что в последний ледниковый период воды здесь не было и что появилась она лишь в начале голоцена (современного послеледникового периода).

Аналогичные свидетельства были найдены и на континенте севернее бассейна Амазонки. На севере Венесуэлы, там, где сейчас расположено глубокое озеро Валенсия, в конце последнего ледникового периода воды не было, а на месте современных болот

на побережье Гайаны произрастала сухая растительность. Есть данные, подтверждающие, что на месте влажносезонного леса к югу от бассейна Амазонки, около Сан-Паулу в Бразилии, тоже были аридные условия.

Дополнительные доказательства того, что низменные участки в бассейне Амазонки в ледниковый период могли быть аридными, были получены при анализе кернов донных пород Атлантического океана, взятых близ устья Амазонки. Джон Е. Дамут и Родес В. Фэрбридж, работавшие тогда в Колумбийском университете, обнаружили, что в последнюю ледниковую эпоху осадки, переносимые рекой на восток, включали небольшое количество полевых шпатов, минералов кристаллических пород, которые, по всей вероятности, были продуктом эрозии в условиях аридного климата.

Несмотря на обилие косвенных доказательств аридности в ледниковом периоде, я пришел к выводу, что они недостаточно убедительны. Георг Ирион из Исследовательского института и Музея естественной истории во



КАРТОСХЕМЫ среднегодового количества осадков (слева) и ареалов различных видов бабочек (справа) показывают, что изолированные «островки», занимаемые отдельными видами, в целом совпадают с «пятнами» наибольшей влажности; часть из них приходится на возвышенности (не показаны). Эта корреляция (впервые отмеченная среди птиц) привела ученых к мысли о том, что изолированные области, занимаемые разными видами, возникли давно, возможно, в последний ледниковый период (70 000 — 10 000 лет назад). Первоначальная гипотеза утверждала, что во время оледенений низменные участки были аридными, а более влажные возвышенности превра-

щались в рефугии («убежища») для различных видов. Эти виды развивались в изоляции и продолжали жить обособленно тогда, когда лес между «убежищами» восстанавливался. Новые данные позволяют предположить, что в этих гипотетических «убежищах» в ледниковом периоде было на самом деле слишком холодно, чтобы там могли существовать дождевые леса; на самом деле леса сохранялись, вероятно, в отдельных частях теплых низменных районов, которые вовсе не становились аридными. Эти новые выводы опровергают теорию рефугий, но согласуются с предположением, что климат в Амазонии испытывал значительные колебания.

Франкфурте предположил, что полевые шпаты в донных отложениях Атлантического океана, возможно, происходят из пород ложа Амазонки, а не из пород, лежавших на поверхности земли. Уровень моря во время оледенения был понижен, так что многие притоки Амазонки, вероятно, глубже «вырезали» свои русла, вымывая при этом полевые шпаты.

Данные по ядрам осадочных пород с островов Галапагос и с прилегающих к Амазонии территорий на материке также недостаточно убедительны. Хотя районы, где взяты эти образцы, и расположены к Амазонии ближе, чем Африка, но все же достаточно удалены от дождевых лесов этого региона. Более того, эти районы часто испытывают влияние различных климатических воздействий. Между ними и бассейном Амазонки пролегают высокие Анды, Гвианское плоскогорье и такая мощная цепь холмов, как плато Мату-Гросу, образующие соответственно западную, северную и южную границы региона. Каждая из этих границ является зоной климатической напряженности, так что климатические условия по одну сторону возвышенности часто сильно отличаются от климатических условий по другую ее сторону.

Возможно, что в районах современной Амазонии с ярко выраженной се-

зонной изменчивостью ослабление муссонных дождей и приводило в периоды оледенений к установлению полуаридного климата. Это могли быть области непосредственно к югу от Гвианского плоскогорья — в северо-восточной части Амазонии, непосредственно к западу от Мату-Гросу — в юго-западной ее части, а также некоторые области в центральной части региона, в Бразилии. В большинстве же других, более влажных районов Амазонии, где ежегодное количество осадков колеблется от 2 до 5 м, сокращение количества дождей даже на 20% вряд ли оказывало заметное влияние на экосистему.

В 1985 г. в связи с отсутствием датированных окаменелостей ледникового периода из гипотетических «убежищ» Хаффера или низменностей бассейна Амазонки я и мои коллеги из Университета шт. Огайо решили получить данные, касающиеся непосредственно Амазонии. Нам первым удалось обнаружить окаменелости, относящиеся к ледниковому периоду. Они позволили предположить, что климат в бассейне Амазонки не был тогда аридным. Однако он претерпел значительные изменения: температура в то время понизилась на несколько градусов Цельсия.

Найти эти образцы нам помог

счастливый случай. Мы прочесывали западную окраину дождевых лесов на востоке Эквадора в поисках древних озер, в осадочных породах которых мы надеялись отыскать «записи» древних климатических изменений. Однажды мы оказались на дороге в окрестности города Мера, расположенного на восточных склонах Анд на высоте 1100 м над уровнем моря. Это место соответствует верхней границе современных дождевых лесов и попадает в пределы одного из основных предполагаемых «убежищ». Там мы обнаружили обнажение осадочной породы с включенными в нее ископаемыми пнями и стволами деревьев. В ожидании самолета, который должен был доставить нас к одному из отдаленных озер, мы успели собрать образцы этой породы и древесины. Радиоуглеродный анализ древесины показал, что некоторые образцы имеют возраст 35 тыс. лет, а другие — 26 тыс. лет. Хотя эти значения соответствуют временам более ранним, чем время последнего максимального оледенения (18 тыс. лет назад), они все же относятся к ледниковому периоду.

Другой анализ образцов древесины показал, что среди них имеются остатки хвойных деревьев. В настоящее время единственным представителем хвойных деревьев в Эквадоре



ХВОЙНОЕ ДЕРЕВО С ШИРОКИМИ ИГЛАМИ, *Podocarpus oleifolius*, — один из нескольких видов, принадлежащих к роду *Podocarpus* и растущих на высоте 1800 м и выше в эквадорских Андах. Эти деревья не встречаются на территории Эквадора в дождевых лесах, по всей вероятности, потому, что предпочитают относительно прохладу гористых районов. Однако недавно автор обнаружил в эквадорских дождевых лесах ископаемые остатки *Podocarpus*, датированные ледниковым периодом. Это открытие послужило главным аргументом против теории рефугий, объясняющей разделение ареалов. Место, где были найдены ископаемые остатки (район Меры), располагающееся в пределах одного из предполагаемых «убежищ», в ледниковый период, как свидетельствуют эти остатки, было холодным, а следовательно, не могло служить «убежищем». Если в окрестностях Меры было слишком холодно, чтобы там существовал дождевой лес, можно предположить, что в некоторых или во всех других предполагаемых «убежищах» было также слишком холодно.

являются деревья рода *Podocarpus*, произрастающие в Андах по меньшей мере на 700 м выше, чем расположена Мера. Анализ пыльцы в осадочных породах показал, что древний лес в Мере во многих отношениях напоми-

нал леса Анд и не был похож на леса современной тропической Америки.

Мы пришли к выводу, что деревья рода *Podocarpus*, предпочитающие влажный и относительно прохладный климат и произрастающие в на-

ше время только в горах, во время оледенения росли по меньшей мере на 700 м ниже. Рассматривая этот факт в одном ряду с данными анализа пыльцы, можно прийти к выводу, что во время последнего оледенения климат в том месте, где расположена Мера, был влажным, но слишком холодным для того, чтобы там могли существовать дождевые леса современного типа. По имеющимся оценкам, температура в предгорьях эквадорских Анд была как минимум на 4,5 °С меньше, чем сейчас. (Во влажном воздухе температура в горах падает на 6 °С на каждые 1000 м высоты.)

Таким образом, в районе Меры в ту пору теплолюбивые виды существовать не могли. Если температура упала на обширной площади Амазонии, — а это кажется вполне вероятным, — то и другие возвышенные участки современных дождевых лесов были, вероятно, слишком холодными для того, чтобы служить «убежищами». Принимая во внимание надежно установленный факт, что типичные деревья дождевых лесов продолжали существовать где-то в бассейне Амазонки на протяжении всего времени, следует признать, что такие леса сохранялись в каких-то низменных районах, где, согласно теории рефугий, климат должен был быть аридным. Если же деревья и в самом деле смогли выжить только в низменных районах, значит, эти районы в действительности не были засушливыми, во всяком случае, не все из них.

Разумеется, для того чтобы с достаточной уверенностью восстановить картину климата в бассейне Амазонки в ледниковый период, нужно



ОЗЕРО АНЬЯНГУКОЧА (слева). Распределение осадков в этом и некоторых других эквадорских озерах указывает на то, что западная область дождевых лесов в Амазонии около 1000 лет назад подвергалась продолжительным воздействиям необычайно сильных ливней. Верхний слой осадков (справа) образован гиттией, типичным озерным илом. Ниже располагается слой типичных речных осадков, пере-

крывающий другой слой озерного ила. Речные осадки отложились в период от 800 до 1300 лет назад. Распределение осадков показывает, что вначале озеро Аньянгукоча было изолированным, а 1300 лет назад стало питаться рекой, вероятно, вздувшейся от частых сильных ливней. Эта река перестала питать озеро около 800 лет назад, возможно, после окончания периода сильных ливней.

гораздо больше сведений, нежели один набор данных, относящихся к ледниковому периоду, и некоторые данные, относящиеся ко времени наибольшего похолодания. Но уже сейчас ясно, что теория рефугий является не более аргументированной, чем теория постоянства климата, которую она сменила. Существующие данные позволяют также предположить, что дождевые леса сокращаются в ответ на похолодание в периоды оледенений и вновь расширяются во время теплых межледниковых периодов, подобных тому, который продолжается в наши дни. По сути дела, эта ситуация является обратной по отношению к картине, рисуемой теорией рефугий: во время оледенений часть низменных участков превращалась в относительно теплые, влажные «заповедники» для дождевых лесов, а возвышенности, которым ранее теория приписывала роль «убежищ», становились необитаемыми.

ЧЕМ ЖЕ в таком случае объяснить видовое разнообразие и дизъюнкцию ареалов, отмечаемые биогеографами? Климатические изменения между ледниковым периодом и межледниковьем, наверное, играют определенную роль, хотя и не столь важную, как считают сторонники теории рефугий. Условия для возникновения

новых биот могут обеспечиваться, по моему мнению, миграциями видов, населяющих дождевые леса, в более высоко расположенные районы во время теплых межледниковий. Популяции из теплых и низменных районов эпохи оледенения могли приспосабливаться к новым условиям на больших высотах, изменяясь и становясь все более непохожими на своих предков. Возможно, нечто подобное произошло с птицами и бабочками, которые в наши дни обитают на возвышенностях.

Другая часть ответа связана, разумеется, с вариациями климата и географических характеристик в бассейне Амазонки. «Игра» в образование новых видов всегда шла на огромном «игровом поле», ведь по площади бассейн Амазонки почти равен континентальной территории Соединенных Штатов. Все части этого поля на первый взгляд схожи между собой и действительно населены некоторыми общими видами, однако «моноклитная» экологическая система отсутствует. Весьма значительны региональные и локальные вариации в количестве осадков, в сезонной изменчивости, в составе почв, подверженности затоплению. Все эти факторы могут влиять на состав и эволюцию видов в каждой отдельно взятой области.

Еще одним объяснением разнооб-

разия видов является «гипотеза промежуточных нарушений», выдвинутая Джозефом Х. Коннеллом из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, а также независимо от него — Стивеном П. Хаббелом из Принстонского университета. Согласно этой гипотезе, наибольшее богатство видов должно присутствовать не там, где климатические условия неизменны, а как раз там, где возникают частые, но не слишком резкие нарушения окружающей среды.

Гипотеза промежуточных нарушений признает, что крупные катаклизмы ведут к массовым вымираниям видов. Таким катаклизмом могло быть столкновение Земли с астероидом (некоторые считают, что именно оно стало причиной вымирания динозавров). В то же время менее значительные локальные возмущения, как, например, ливни и затопления, обычно не приводят к полному уничтожению вида. Напротив, поскольку при таких катаклизмах часть популяции доминантного вида исчезает, вносятся коррективы и в изначальную борьбу за существование, в ходе которой в «спокойных» условиях «победитель получает все». Благодаря этому слабые виды получают возможность сохраниться.

Эффект промежуточных нарушений можно легко наблюдать на при-



РЕКА НАПО в Эквадоре размывает берега и валит деревья. Это одна из многих рек, которые постоянно изменяют топографию дождевых лесов. Автор считает, что экосистема Амазонии адаптируется к естественным воздействиям,

позволяющим выжить растениям и животным, но не к деятельности человека, который производит катастрофические по последствиям сплошные рубки.

мере деревьев дождевых лесов. Обширные «окна» и сукцессионные сообщества в бассейне Амазонки и в других тропических лесах встречаются повсеместно (см. Paul W. Richards. *The Tropical Rain Forest*, "Scientific American", December 1973). Открытые пространства, возникающие в результате вырубки больших, заслоняющих солнце деревьев (таких, как каучуконосы или бальсовые деревья), захватывают различные виды короткоживущих, солнцелюбивых растений и связанных с ними животных. Так начинается сукцессия, которая, если ей ничто не мешает, столетия спустя приводит к появлению гигантских деревьев, типичных для коренных дождевых лесов. Большие деревья дождевого леса могут падать и сами, причем довольно легко, так как их корни неглубоко уходят в землю: часто половина их корневой массы находится в верхних 20 см почвы. Мощный порыв ветра, а также сильный ливень или водный поток, размывающие почву, могут стать причиной падения дерева.

ВСЕ большее количество данных подтверждает тот факт, что по крайней мере в голоцене (а возможно, и всегда) на те или иные районы Амазонки оказывали влияние ливни, эрозия и прочие «возмущения». И действительно, топография бассейна Амазонки заметно менялась из столетия в столетие и даже из десятилетия в десятилетие.

Некоторые из имеющихся сейчас сведений об истории Амазонии в голоцене получены по данным анализа кернов осадочных пород, собранных мною с коллегами на эквадорских озерах. Данные по наиболее древним временам получены на озерах в вулканических кратерах. В одном из таких озер, которые местные жители называют Кумпак, вода грязная, обеднена кислородом, характерна для озер Амазонии, питаемых реками. Другое же озеро — Айауч — прозрачное и голубое, вода в нем даже на глубине богата кислородом. Оно напоминает альпийское озеро, что для джунглей явление необычное.

Марк Б. Буш, стажировавшийся в моей лаборатории, выполняя анализ пыльцы с образцов осадочных пород из озера Айауч, имеющих возраст 7000 лет, обнаружил доказательство того, что дождевой лес существовал здесь на протяжении всего этого времени, хотя 4000 лет назад, т. е. спустя значительное время после ледникового периода, в этом районе случилась продолжительная засуха. (Он обнаружил также, что 3000 лет назад в этих местах выращивали кукурузу. Это са-

мое раннее свидетельство выращивания кукурузы в бассейне Амазонки.)

Кам-биу Лиу из Университета шт. Луизиана обнаружил иные «следы историй» в осадочных породах озера Кумпак. Они представлены перемежающимися слоями с различной текстурой и свидетельствуют о периоде обильных ливней, периодически смывавших береговой материал в озеро. Иными словами, по крайней мере в последние 5000 лет дожди существенно изменяли ландшафт в районе озера Кумпак.

В тех же дождевых лесах Эквадора, но уже на севере, мы получили керны осадочных пород из четырех лежащих в низменных местах озер, которые уже много веков не питались реками. Эти керны свидетельствуют о длительном периоде необычайно сильных ливней на западе Амазонии. Верхний слой осадков в каждом озере представлял собой типичный озерный ил — гиттию, или сапропель, который, по данным радиоуглеродного анализа, начал отлагаться примерно 800 лет тому назад. Под этим слоем во всех четырех озерах обнаружены речные осадки, отложение которых началось примерно 1300 лет назад и затем шло непрерывно. Отсюда следует, что реки перестали впадать в озера 800 лет тому назад и с тех пор озера оставались изолированными.

Мы утверждаем, что в период 1300 — 800 лет назад обильные дожди в западных гористых районах являлись причиной сильных наводнений и заставляли реки возвращаться в старые, давно покинутые русла в низменных районах, которые оказывались затопленными. Проведенный нами анализ пыльцы из речного ила, отложенного в озере, указывает на то, что после спада воды, вероятно, уничтожившей взрослые деревья, на временных песчаных косах появлялись раннесукцессионные леса.

Марсиа Л. Абис из Института амазонского рыболовства в Манаусе (Бразилия) также доказала, что в соответствующее время в районах озер в центральной части бассейна Амазонки имели место затопления. Она получила керны пород из пяти пойменных озер (которые в сезоны дождей питаются реками, а в засушливые сезоны, будучи лишены питания, медленно испаряются) близ Манауса; среди них были озера, питаемые реками, текущими с севера, с засушливого Гвианского плоскогорья, с юга, с плато Мату-Гросу, и с запада, с эквадорских и перуанских Анд. Эти данные показывают, что следы затоплений имеются лишь в озерах, лежащих на пути рек, текущих с запада. Другими словами, период ливней был сугубо

локальным, «западным» явлением и его последствия ощущались только в районах, лежащих на пути вышедших из берегов притоков Амазонки.

Таким образом, западная часть Амазонии испытала на себе последствия резких климатических изменений по крайней мере однажды в голоцене, причем эти последствия ощущались в течение почти тысячи лет. Нет сомнения, что в этом беспокойном регионе будут еще найдены следы других, столь же значительных климатических возмущений.

ВМАСШТАБАХ столетий особенно заметны последствия эрозии, вызываемой водными потоками. Быстротекущие реки уносят осадки с большой скоростью, другие текут медленно, но и они разрушают берега. Многие реки текут то по одному руслу, то по другому. Меняя направление, они подмывают и валят деревья; они также оставляют за собой осадки, на которых могут селиться живые организмы. Во время сезона дождей реки выходят из берегов, смывая с берегов деревья и изменяя ландшафт. Текущие с запада мутные притоки Амазонки особенно активны: по имеющимся оценкам, 80% взвешенного вещества в нижнем течении Амазонки приносится с запада.

На основании опубликованных оценок ежегодного выноса осадков в устье Амазонки мои сотрудники попытались вычислить скорость эрозии западных областей, вызываемой многоводными реками, берущими начало в Андах. Такая экстраполяция — хотя и является несколько смелой — показывает, что за столетие реки уносят многие сантиметры почвы. Если взять типичное взрослое дерево в бассейне Амазонки, то окажется, что за время, меньшее нормальной продолжительности его жизни, вода смывает слой почвы до половины глубины залегания корней этого дерева.

Юкка С. Сало и его группа из Университета Турку в Финляндии, работавшие в перуанской части бассейна Амазонки, получили еще более надежные свидетельства эрозии в западных областях Амазонии. На основании измерений со спутников они составили карту лесов разных типов, включая раннесукцессионные (возникающие обычно на осадках, остающихся после смены рекой своего русла) и зрелые сообщества (сменяющие раннесукцессионные столетия спустя после того, как река покинула старое русло). Используя эти карты, они определили, что примерно за два последних столетия четверть перуанских лесов была смыта и на их месте вырос молодой лес.

Реки изменяют ландшафт и в меньших масштабах времени. С помощью аэрофотоснимков, сделанных с интервалом в 13 лет, Сало и его сотрудники показали, что за этот период одна небольшая река переформировала 3,7% площади своей поймы.

Вряд ли можно удивляться тому, что леса Амазонии страдают от ливневых потоков, затоплений и эрозии. Гораздо труднее представить себе, что дождевые леса страдают от естественных пожаров. И тем не менее это так. Недавно Роберт Л. Санфорд из Калифорнийского университета в Беркли и другие исследователи обнаружили пласты древесного угля в Южной Венесуэле, т. е. на северной окраине Амазонии. Радиоуглеродный анализ показал, что некоторые образцы имели возраст 6000 лет и, следовательно, были отложены до того, как в этих районах поселился человек. Таким образом, по крайней мере часть отложений древесного угля должна быть продуктом естественных пожаров.

Что могло служить причиной таких пожаров? Деревья дождевых лесов могут рассматриваться как накопители энергии с водяным охлаждением. Благодаря тонким широким листьям, покрывающим огромные площади, они поглощают большое количество солнечной радиации, а поэтому должны отдавать тепло, интенсивно испаряя воду. Санфорд считает, что в отсутствие дождей деревья за один месяц «выпьют» всю воду, которую могут впитать их неглубоко лежащие корни, после чего их листья увянут и опадут. Солнечные лучи нагревают сухие листья под деревом и воспламеняют их, что приводит к пожару в сухом лесу. Случайные колебания погоды могли бы создавать в дождевом лесу такие условия один или два раза в тысячу лет.

ИТАК, бассейн Амазонки всегда был местом, где возникали разного рода возмущения среды. Во время оледенений, если распространить выводы, полученные по одному набору данных на весь регион, наступали холода, и леса изменяли свои границы. В более поздние времена леса Амазонии, вероятно, испытывали воздействие различных возмущений, природу которых можно определить по осадочным породам в озерах и по другим данным, относящимся к голоцену. В разных местах в разное время случались ливни и затопления, происходила эрозия; в редкие годы, когда в течение многих дней не выпадало ни капли дождя, возникали пожары. Лишь немногие области, судя по всему, не подвергались никаким разру-

шительным воздействиям на протяжении одного-двух столетий. Результатом всего этого служит наблюдаемая сейчас мозаика из «окон», sukcesий и зрелых лесов, а также удивительное разнообразие растительных и животных видов.

Что на основании всего этого можно сказать о будущем экосистемы Амазонии, на которую в наши дни ведет наступление человек? Тот факт, что в районах с постоянно меняющимися условиями происходило накопление видов, позволяет думать, что фауна и флора способны выдержать вторжение человека, если последствия этого вторжения не будут превосходить по силе естественные возмущения среды, которые всегда позволяли выжить части организмов. Следует, однако, подчеркнуть, что в истории Амазонии не было ничего сравнимого по масштабам с теми сплошными рубками, которые ведет человек. Человеческую деятельность можно сравнить разве что с природными катастрофами, которые в прошлом приводили к массовым вымираниям видов.

Например, крупные звери, населяющие дождевые леса, не смогут выстоять против современного огнестрельного оружия. В самом деле, растительноядные приматы и ленивцы, обитающие в пологе дождевого леса, а также их крылатые преследователи, такие как гарпия (настолько совершенное «орудие» уничтожения, что может выхватывать обезьян прямо из полога), абсолютно беззащитны перед охотничьими ружьями. Один человек, вооруженный 16-зарядным карабином, может истребить всех гарпий, не говоря о менее подвижных приматах, в радиусе 10 км от лагеря всего за один год. На что же можно надеяться, если этим занимаются тысячи охотников? Заповедники — единственная возможность сохранить таких животных, поэтому правительства государств, чьи территории пересекаются с Амазонией, отводят участки лесов для этих целей. Необходимые размеры таких «убежищ» — это вопрос, который служит сейчас предметом активных исследований.

Другая проблема — это деревья. Современная реальность такова, что расчистка леса для выпаса крупного рогатого скота неизбежно приведет к превращению большей части бассейна Амазонки в пастбища. Единственная надежда на спасение деревьев, других растений, а также насекомых заключается, вероятно, в рациональном выборе хозяйственной деятельности. Речь идет о том, чтобы получать «доход» от оставшихся лесов, но

не оказывать на них воздействий, которые бы превышали допустимый для населяющих их видов уровень. Возможно, на какой-то части лесных массивов можно было бы устроить места отдыха, разместить пансионаты для пенсионеров или такие промышленные предприятия, которые не потребляют значительного количества энергии и не загрязняют окружающую среду. История Амазонии свидетельствует о том, что отдельные области этого региона можно эксплуатировать достаточно эффективно, не причиняя непоправимого вреда населяющим его организмам. Условие одно — действовать разумно.

Книги издательства „Мир“

С. И. Томкеев

Петрологический англо-русский толковый словарь

1986, 75 л. Цена 7 р. 20 к.

Т. Кохонен

Ассоциативные запоминающие устройства.

1982, 25 л. Цена 2 р.

В. Клингенберг

Лекции о замкнутых геодезических

1982, 27 л. Цена 3 р. 40 к.

Эти книги вы можете получить наложенным платежом, направив заказ по адресу
121019 Москва,
просп. Калинина, 26, п/я 42,
магазин № 200
«Московский Дом книги»



Сумчатые лягушки

У некоторых тропических квакш самка вынашивает свою икру на спине, зачастую в специальной сумке. По ряду черт эта адаптация сходна с беременностью млекопитающих

ЭУГЕНИЯ М. ДЕЛЬ ПИНО

МЛЕКОПИТАЮЩИЕ рожают детенышей и вскармливают их молоком; птицы откладывают яйца и их высидывают. Лягушки, как и другие земноводные, откладывают икру в воду, где из нее выходят водные личинки — головастики. В пределах одного класса общий способ размножения объединяет животных самого различного облика: летучих мышей со слонами, колибри со страусами.

В дождевых лесах и горных районах Центральной Америки и тропической Южной Америки живут 60 с лишним видов лягушек из семейства квакши (Hylidae), которые оказываются исключением из этого правила. Во взрослом состоянии они выглядят подобно другим квакшам, но размножаются совсем не по-лягушачьи. Развитие икринок у них происходит не в воде, а на спине у матери, часто в особом вместилище — кожном кармане, или сумке. У многих таких видов молодь выходит оттуда полностью сформированными лягушатами, у других — развитыми головастиками.

В связи с этим необычным характером размножения развился ряд замечательных специальных приспособлений. Будучи защищенным на спине у матери, эмбрион может развиваться «без спешки». Более долгий срок развития в свою очередь означает, что эмбрион должен иметь достаточный запас питательных веществ и возможность обмена жидкостями и газами с внешней средой. Все это потребовало изменений в физиологии материнского организма, в структуре и молекулярных свойствах икринок, а также в программе эмбрионального развития. Многие из этих специальных приспособлений очень заманчиво наводят на аналогию между вынашивающими икру квакшами и эволюционно очень отдаленными от них животными — млекопитающими и птицами.

Сумка квакш напоминает сумку сумчатых млекопитающих. Внутренняя структура лягушачьей сумки и гормональные механизмы, управляющие инкубацией икры, имеют сходство с анатомическим и гормональ-

ным обеспечением беременности у млекопитающих. Большая, заполненная желтком икринка сумчатой квакши скорее похожа на яйцо птицы или рептилии, чем на лягушачью икру. То же по ряду черт можно сказать и о развитии эмбриона. Однако в некоторых аспектах биология размножения квакш, инкубирующих икру на спине, уникальна. Это свидетельствует о том, что параллелизм с другими классами животных является результатом не единой линии эволюции, а конвергенции, протянувшей мостики через миллионы лет обособленной эволюционной истории.

В 1972 г., когда я начала преподавать в Папском католическом университете в Кито (Эквадор), необычная биология размножения вынашивающих икру квакш была известна только в общих чертах. Для меня эти лягушки были не более чем диковинкой из учебника. Однако вскоре после приезда в Кито, я обнаружила, что в университетском саду живут особи одного из видов сумчатых квакш *Gastrotheca riobambae*. Я стала изучать этот вид и его репродуктивные особенности, а также искать представителей других видов лягушек, инкубирующих икру на спине.

G. riobambae — один из немногих видов лягушек, успешно освоивших высокогорные местообитания в районе Кито, который расположен на высоте около 3000 м над уровнем моря. Большинство вынашивающих икру квакш живет в пологе тропического леса низменностей Эквадора и других районов Южной и Северной Америки. При изучении этих видов я пользовалась, во-первых, музейными образцами, а во-вторых, живыми экземплярами, которые собирали и поставляли в мою лабораторию У. Дьюлмэн, Л. Труб, Дж. Симмонс и другие сотрудники Музея естественного Канзасского университета.

Тропический дождевой лес, где квакши, вынашивающие икру, наиболее разнообразны, является, по видимому, и местом их эволюции. Довольно очевидно, какие факторы естественного отбора могли спо-

собствовать развитию вынашивания икры. Многочисленные виды обитающих в тропических лесах лягушек интенсивно конкурируют за места размножения (в Эквадоре в окрестностях Санта-Сесилия У. Дьюлмэн со своей ученицей М. Крамп обнаружили на площади 3 км² 81 вид лягушек — примерно столько, сколько насчитывается во всей Северной Америке!). Кроме того, икре и головастикам в болотах и реках угрожает множество хищников.

В результате многие тропические виды лягушек приспособились к использованию новых мест для откладки икры. Некоторые виды используют для этого листья надводной растительности — дожди затем смывают вышедших из икры головастиков в воду. Другие лягушки прячут свою икру в лесную подстилку; у таких видов из икринок вылупляются сразу маленькие лягушата. Более хитроумное приспособление — инкубация икры на спине у самки — возникло в подсемействе Hemiphractinae семейства Hylidae.

Эта группа квакш весьма древняя. Б. Скэнлэн и Л. Максон из Иллинойского университета, работавшие совместно с Дьюлмэном, проследили во времени эволюцию вынашивающих икру квакш путем сравнения аминокислотных последовательностей определенных белков у различных видов. Если считать, что скорость изменения молекулярной структуры белков в процессе эволюции постоянна, разница между аминокислотными последовательностями данного белка двух сравниваемых видов живых организмов будет пропорциональна эволюционному расстоянию между этими видами, т. е. времени, которое прошло с тех пор, как их линии эволюционного развития отделились от общего предка. Сравнительный анализ белков показал, что дивергенция вынашивающих икру квакш началась 40—80 млн. лет назад. По всей вероятности, к этому времени уже сложились приспособления для инкубации икры на спине самки.

К нашему времени группа вынашивающих икру квакш, в которую входит



СУМКА, наполненная развившимися эмбрионами, придает эквадорской квакше *Gastrotheca riobambae* непомерно раздутый вид (вверху). После того как из отверстия сумки (оно

заметно в задней части ее спины) вышло 218 головастиков, лягушка обрела свои обычные размеры (внизу). Фотографии Ч. Майерса из Американского музея естественного.

7 родов, включающих вместе около 60 видов, достигла значительного разнообразия. В трех родах (*Stefania*, *Cryptobatrachus* и *Hemiphractus*) сумки нет; икринки просто прилипают к спине самки, где развиваются и из них вылупляются маленькие лягушата. Четыре рода (*Fritziana*, *Flectonotus*, *Gastrotheca* и *Amphignathodon*) — это настоящие сумчатые квакши, обладающие сумкой той или иной конструкции. В данной статье я сосредоточу свое внимание на биологии размножения именно этих сумчатых видов.

Различия в конструкции сумки у разных родов указывают на то, что она возникла скорее всего из продольных складок кожи на спине. К примеру, у некоторых видов рода *Fritziana*, развивающиеся эмбрионы прикрыты такими складками, но не полностью. У других видов этого рода и в роде *Flectonotus* складки превратились в клапаны, которые сходятся по средней линии спины, так что эмбрионы заключены в сумку, получившуюся из двух боковых отделений. Более сложная сумка у рода *Amphignathodon* и у многих видов рода *Gastrotheca*: в ней еще имеются два боковых отделения, но они открываются узкой щелью в задней части спины над клоакой (которая совмещает функции экскреторного и полового отверстий). Высокогорные виды рода *Gastrotheca* (к нему относится и *G. riobambae*) обладают, по-видимому, наиболее эволюционно

продвинутой сумкой, в которой два боковых отделения образуют одно целое.

Эволюция сумки привела к развитию новых форм репродуктивного поведения. Спаривание у лягушек происходит в процессе откладки самкой икры, которая оплодотворяется тотчас по выходе ее из клоаки. У большинства видов партнеры контактируют в воде, где затем будет оставлена икра. А сумчатые квакши спариваются на суше, и здесь возникает проблема, как переместить икринки из клоаки в сумку.

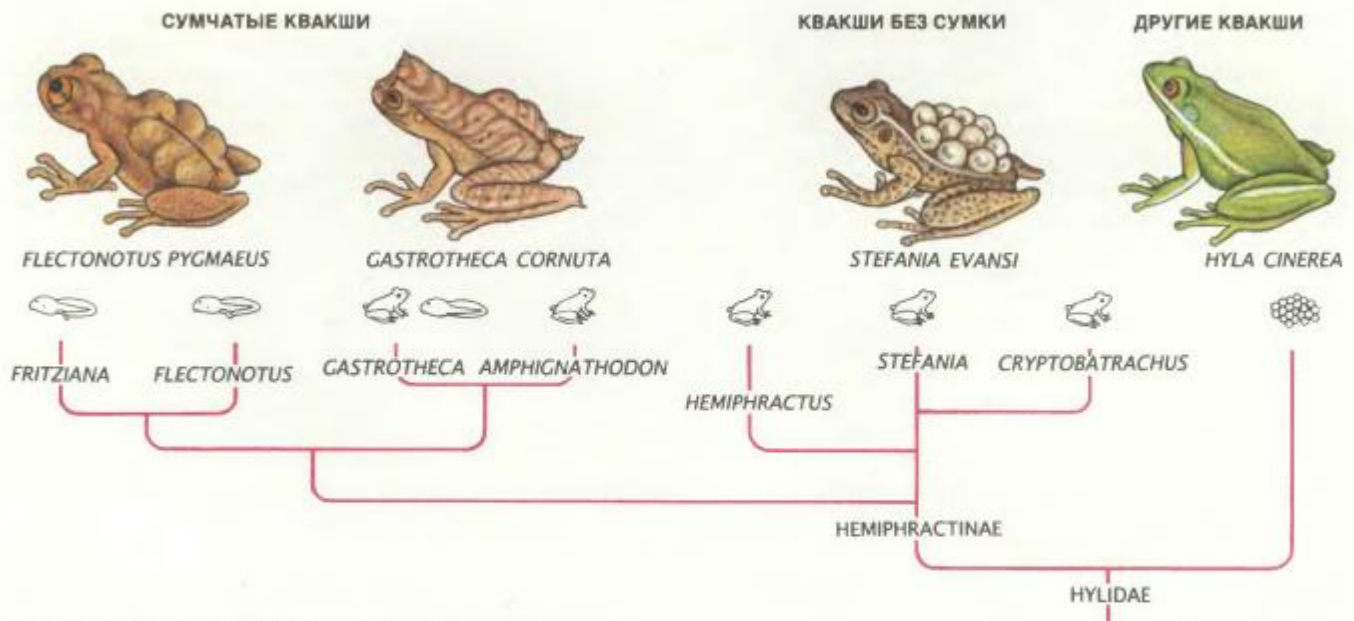
У трех видов из четырех, у которых мы наблюдали спаривание, это делает самец. У *G. riobambae*, например, самец взбирается на спину самки и открывает сумку своими задними ногами. По мере того как икринки выходят из клоаки самки (со скоростью 1—2 в минуту), самец подхватывает каждую икринку пятками задних конечностей и направляет ее в сумку. Икра оплодотворяется на пути туда спермой, которую самец изливает на спину самки. Процесс продолжается до тех пор, пока в среднем 130 икринок не окажется в сумке. Затем самка надавливает спиной о камень, чтобы икра в сумке расположилась несколькими ровными слоями.

У многих видов сумчатых квакш вылупление происходит лишь через несколько месяцев после оплодотворения. Чтобы выйти из сумки, молодки (у родов *Fritziana*, *Flectono-*

tus и нескольких видов из рода *Gastrotheca* это головастики, а у всех остальных — лягушата) снова нужна родительская помощь. Самка *G. riobambae* выпускает новорожденных головастиков в озера и лужи, ухватываясь передними лапами за камень и работая при этом задними конечностями таким образом, чтобы сумка открылась. Пальцами она извлекает головастиков одного за другим. Чтобы вышло все потомство, ей требуется два дня или больше.

У тех видов, у которых сумку покидают уже полностью сформировавшиеся лягушата, близость воды во время их выхода не обязательна. Пока эмбрионы сидят в сумке, у них развиваются в зачатке многие из тех признаков, которые обычно свойственны головастикам, но ко времени рождения метаморфоз завершается и они мнут водную стадию. Таким образом, многие из вынашивающих икру квакш, по-видимому, могут осуществлять весь свой жизненный цикл, не спускаясь из полога леса.

БЛАГОДАря сумке эмбриональное развитие у сумчатых квакш может идти гораздо медленнее, чем у тех видов, у которых икра развивается открыто и поэтому более уязвима. У *G. riobambae*, к примеру, инкубация икры длится 100—120 дней, тогда как у шпорцевой лягушки *Xenopus laevis* (этот вид удобен для сравнения, так как тщательно изучен) от откладки



ЛЯГУШКИ, ВЫНАШИВАЮЩИЕ ИКРУ, принадлежат к подсемейству Hemiphractinae семейства Hylidae. Показанные здесь эволюционные связи основаны на результатах сравнительного анализа белков и биологии размножения. Схема предложена У. Дьюлмэном из Музея естествознания Канзасского университета и Р. Вассерсугом из Далхузского университета провинции Новая Шотландия (Канада). У

трех родов сумки нет и развивающиеся эмбрионы просто прилепляются к спине матери. У некоторых родов эмбрионы развиваются в полностью сформированных лягушат, у других они выходят из сумки на стадии головастика (маленькие рисунки). В роде *Gastrotheca* у разных видов к моменту рождения достигаются различные стадии развития. (Рисунки сделаны без соблюдения масштаба.)



ОСОБОЕ РЕПРОДУКТИВНОЕ ПОВЕДЕНИЕ сопряжено с вынашиванием икры. У сумчатых квакш *Gastrotheca riobambae* при спаривании, пока самка откладывает икру, самец охватывает ее сзади и засовывает пальцы задних конечностей в сумку (слева). По мере появления икринок из клоаки самки самец направляет их в сумку и по пути они оплодотворяются той спермой, которую он предварительно отло-

жил на спину самки. За несколько часов таким образом перемещается 100 и более икринок. Эмбриональное развитие длится более 3 месяцев; при этом самка настолько раздувается, что с трудом может передвигаться (в середине). Головастики выходят из сумки в воду, причем самка пальцами задних конечностей помогает им выбраться (справа).

икринок в воду до вылупления проходят всего 1,5 суток. Каким образом обеспечивается жизнедеятельность икры в течение ее долгой инкубации? Лягушачий эмбрион, который превращается в свободноживущего головастика за несколько дней, не нуждается в специальных механизмах для обмена газов, жидкостей и других веществ с внешней средой. Однако у сумчатых квакш и мать, и эмбрион должны быть снабжены приспособлениями для такого обмена.

В промежутках между сезонами размножения, когда сумка пуста, ее внутренняя поверхность похожа на обычную лягушачью кожу. Но во время инкубации икры на стенках сумки развивается тонкая выстилка, обильно пронизанная кровеносными сосудами. Эта выстилка, которая после вылупления отслаивается и выходит наружу, соответствует форме икринок, образуя индивидуальную ячейку для каждой из них. Внутри ячейки эмбрион окружен собственной сосудистой оболочкой, представляющей собой особые жабры, называемые колокольчатыми; у других видов лягушек такие жабры неизвестны.

Колокольчатые жабры развиваются через несколько недель инкубации. Они появляются в виде тонких пленок по обеим сторонам головы эмбриона; у некоторых видов эти пленки разрастаются и покрывают эмбрион полностью, так что образуется наполненный жидкостью мешок, в котором плавает эмбрион. При рождении этот мешок рассасывается либо сбрасывается.

Таким образом, мать и эмбрион в ее сумке находятся в тесном физиологическом контакте. Только студенистая оболочка, окружающая икринку, отделяет выстилку сумки от эмбрионального жаберного мешка, а у сумчатых квакш студенистая оболочка ис-

ключительно тонкая. Если у других лягушек толщина этого слоя несколько миллиметров, то у сумчатых квакш она может быть в 1000 раз меньше — всего несколько микрон.

В некоторых отношениях вынашивание развивающейся икры у сумчатых квакш напоминает беременность у млекопитающих. Заполненный жидкостью мешок, в котором развивается эмбрион этих лягушек, напоминает амниотическую полость, окружающую эмбрион млекопитающих. Что более существенно, тесный контакт между кровеносными системами матери и эмбриона через соприкасающиеся оболочки подобен функции плаценты млекопитающих, которая объединяет кровеносные системы матери и плода.

Плацента создает возможность для транспорта газов, жидкостей, питательных веществ и продуктов метаболизма между матерью и эмбрионом. Видимо, похожий обмен происходит и между выстилкой сумки и колокольчатыми жабрами у сумчатых квакш. Чтобы точно установить, что эмбрион получает от матери, Б. Эскобар и я взвешивали эмбрионы *G. riobambae* на различных стадиях инкубации икры. К концу инкубации влажный вес эмбрионов увеличился втрое, но сухой вес оставался относительно постоянным. По-видимому, эмбрион получает от материнского организма воду, а также осуществляет с ее помощью газообмен, тогда как питательными веществами его обеспечивают в основном собственные запасы — желток.

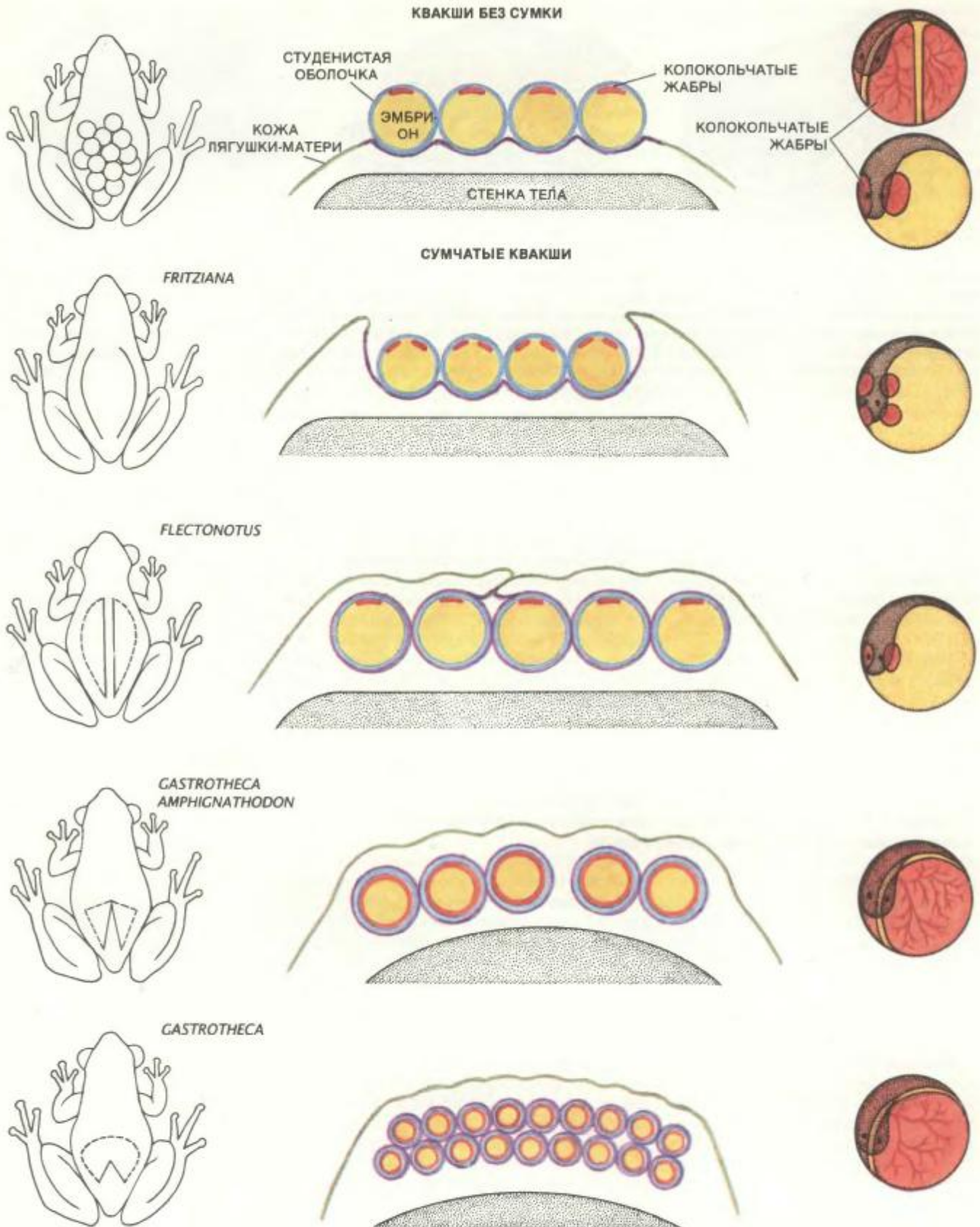
КАКИЕ гормоны стимулируют подготовку сумки к инкубации икры? В поисках ответа на этот вопрос мои коллеги К. де Альбуха, М. Кампос и я также обнаружили параллелизм между вынашиванием

икры у сумчатых квакш и беременностью у млекопитающих. У млекопитающих в подготовке матки к беременности принимает участие несколько гормонов. Гонадотропины, секретлируемые гипофизом, стимулируют в яичниках фолликул капсулу из клеток, окружающую ооцит, из которого развивается яйцеклетка. В ответ на это фолликул выделяет эстрогены и прогестерон, вызывающие утолщение стенки матки, которая должна принять оплодотворенную яйцеклетку.

У большинства лягушек существует подобный двухстадийный гормональный механизм, но основной результат его действия — стимуляция роста и созревания ооцитов. Под влиянием гонадотропинов фолликулы в яичнике выделяют эстрогены и прогестерон; прогестерон вызывает ряд клеточных изменений, преобразующих ооцит в яйцеклетку. У сумчатых квакш, как мы установили, этот гормональный аппарат выполняет еще и дополнительную функцию — подготовку сумки к инкубации икры.

С приближением сезона размножения у *G. riobambae* и других видов сумчатых квакш наблюдается предварительное изменение, которое состоит в том, что отверстие сумки, открытое большую часть года, сжимается, когда самка начинает готовиться к размножению. Сумка остается закрытой на всем протяжении инкубации икры, до тех пор пока головастика или лягушатам не придет пора выходить.

Исследовать гормональную регуляцию закрывания сумки можно, вводя отдельные гормоны путем инъекции и наблюдая за их действием. Если лягушке ввести гонадотропин, сумка закроется только в том случае, если в яичнике имеются большие фолликулы. После инъекции прогестерона



МАТЬ И ЭМБРИОНЫ, развивающиеся из ее икры, у вынашивающих икру квакш находятся в тесном контакте. Здесь показаны форма сумки или места на спине, где вынашивается икра (слева) и вертикальный разрез этой части тела самки (в середине). Пронизанная кровеносными сосудами выстилка сумки (лиловая), окружающая каждую икринку, отделена от собственной сосудистой оболочки эмбриона,

называемой колокольчатыми жабрами (красные), лишь тонкой студенистой оболочкой (голубая). Форма жабер может быть различной (справа); у некоторых родов они покрывают эмбрион целиком. У сумчатых квакш благодаря тесной связи между тканями матери и эмбриона происходит обмен газов и жидкостей, подобно тому как это осуществляется через плаценту у млекопитающих.

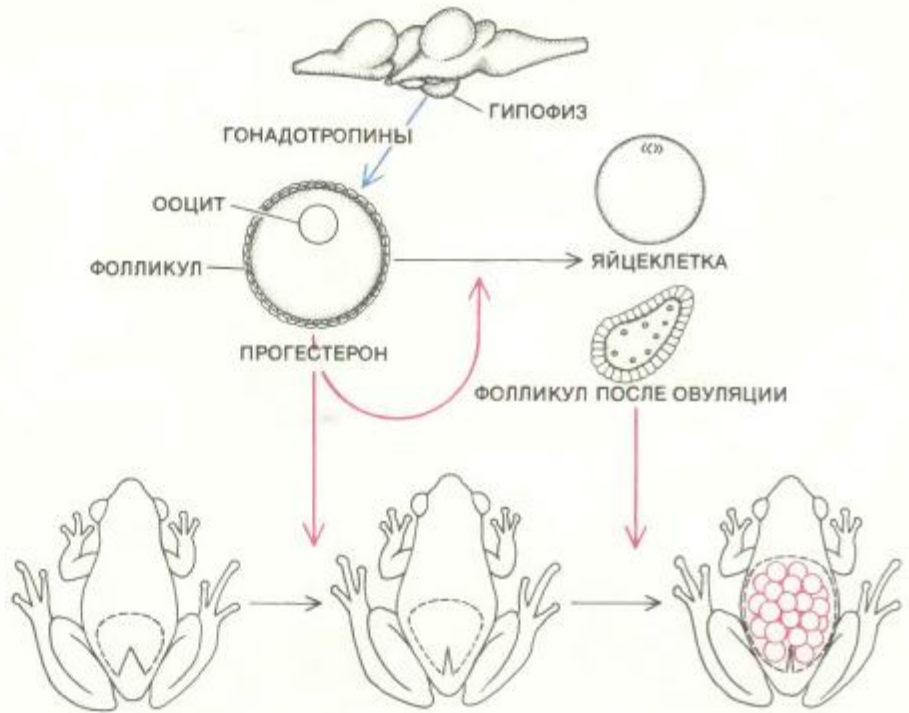
сумка закрывается в пределах 24 часов независимо от размеров фолликулов. По-видимому, именно прогестерон непосредственно ответствен за закрывание сумки, а гонадотропины просто стимулируют секрецию прогестерона.

Развитие в выстилке сумки ячеек, в которых эмбрион заключен в сосудистую оболочку, также, по-видимому, инициируется прогестероном. Если вне сезона размножения в сумку квакши поместить пластиковые шарики диаметром с икринку, они обычно извергаются оттуда не позже чем через несколько часов. Если же одновременно ввести лягушке прогестерон, сумка закроеется и шарики будут погружены в сосудистую выстилку; при этом они удерживаются в сумке в течение целой недели.

К началу инкубации икры фолликулы уже лопнули и из них вышли яйцеклетки. Что же в этой ситуации служит источником прогестерона, который будет стимулировать рост сосудистой выстилки сумки и образование ячеек? У млекопитающих на ранних стадиях беременности «пустой» фолликул, из которого вышла яйцеклетка, продолжает производить прогестерон, стимулируя таким образом развитие стенки матки. У большинства лягушек фолликулы после выхода из них яйцеклеток остаются в яичнике менее недели и скорее всего не играют роли в гормональном обеспечении. Но у *G. riobambae* пустые фолликулы пребывают в яичнике месяц с лишним, т. е. на протяжении первой трети инкубации.

С целью проверить, могут ли пустые фолликулы быть источником прогестерона, Г. Санчес и я удаляли яичники (а с ними и все фолликулы) у лягушек с икрой в сумке. Если это делалось в первые несколько недель инкубации, то наблюдался abortивный эффект: частично развившиеся эмбрионы исторгались из сумки через 15—30 дней. Удаление яичников на более поздних стадиях инкубации икры не имело эффекта. Таким образом, можно предположить, что по крайней мере на ранних стадиях инкубации у сумчатых квакш пустые фолликулы секретируют гормоны, как у млекопитающих при беременности.

Вполне возможно, что сходство с беременностью млекопитающих есть и на более поздних стадиях инкубации икры. Гормональное обеспечение на поздних стадиях беременности у млекопитающих создается самой плацентой, которая секретирует гонадотропины, прогестерон и другие гормоны. Возможно, колокольчатые жабры и сосудистая выстилка сумки у сумчатых квакш играют аналогичную роль,



РЕГУЛЯЦИЯ РАЗМНОЖЕНИЯ у сумчатых квакш осуществляется при помощи ряда гормонов. Под действием гонадотропинов, секретируемых гипофизом (вверху изображен мозг лягушки и расположение в нем гипофиза), в яичниках фолликул (капсула из клеток, окружающих ооцит, являющийся предшественником яйцеклетки) выделяет прогестерон. Этот гормон стимулирует созревание ооцита и вызывает закрывание отверстия сумки. После выхода яйцеклетки из фолликула он может продолжать секретировать прогестерон, который теперь стимулирует развитие сосудистых оболочек, окружающих эмбрионы в сумке. Сходное гормональное обеспечение подготавливает матку к беременности у млекопитающих.

производя гормоны, которые необходимы для дальнейшей инкубации.

ЯВКРАТЦЕ описала адаптации, благодаря которым сумчатые квакши вынашивают потомство. Какое значение имеет продолжительная инкубация икры в теле матери?

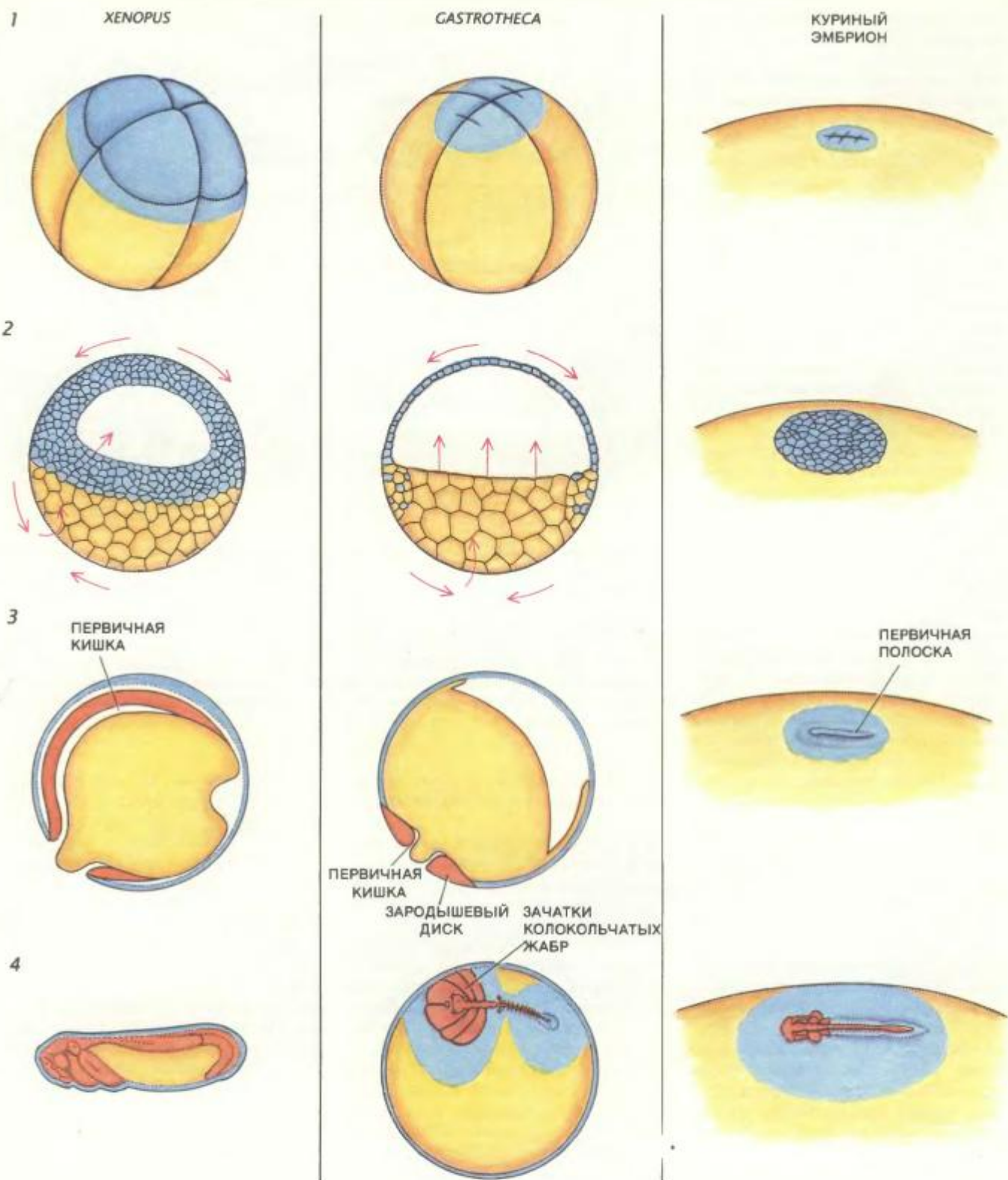
Внутренняя инкубация и неторопливость эмбрионального развития приводят к очевидным последствиям в строении икры: икринки имеют крупные размеры и много желтка, так что в этом отношении они больше похожи на яйца птиц и рептилий, чем на икру других лягушек. У *Gastrotheca cornuta* диаметр икринок 1 см, а размер 0,5 см среди квакш, вынашивающих икру, вполне обычен, в то время как, к примеру, у *Xenopus* диаметр икринок лишь немногим больше миллиметра. Размер икринок больше связан с объемом желтка, т. е. с величиной запасов белков, жиров, углеводов и проч.; в крупных икринках эти запасы могут обеспечивать питание эмбриона в течение его длительного пребывания в сумке.

Второе отличие вынашиваемой икры от обычной обусловлено молекулярными особенностями ооцитов — предшественников яйцеклеток.

Быстрое развитие, которое характерно для эмбрионов большинства лягушек, требует быстрого синтеза белков — строительного материала тканей тела. Ооциты у этих видов содержат большие количества рибосомальных РНК (рРНК) и других рибонуклеиновых кислот, что обеспечивает резкий всплеск белкового синтеза.

Рибосомальные РНК являются одним из основных структурных элементов рибосом — клеточных оргanelл, осуществляющих синтез белков. Большое количество рРНК в ооците у большинства лягушек — иногда оно в 200 тыс. раз больше, чем в обычных клетках тела, — означает, что клеткам эмбриона не нужно их синтезировать заново, перед тем как начинать производство белков. Поэтому эмбриональное развитие может пройти быстро, что выгодно для ничем не защищенной икры. У млекопитающих же эмбрион хорошо защищен внутри тела матери и может развиваться медленнее, соответственно запасы рРНК в ооцитах невелики.

Высокое содержание рРНК в ооцитах отражает процессы, происходящие в ядрах этих клеток. Молекулы рибосомальной РНК, как и все другие РНК, образуются в результате транс-



РАННИЕ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ЭМБРИОНА у сумчатой квакши (в *середине*) более похожи на таковые птиц (*справа*), а не лягушек (*слева*), откладывающих икру в воду (изображены в разном масштабе). У *Xenopus* в результате начальных клеточных делений (1) образуется полая сфера — бластула (2), затем происходит гастрюляция: большие заполненные желтком клетки (*желтые*) мигрируют внутрь, а бедные желтком клетки (*голубые*) перемещаются таким образом, что покрывают поверхность эмбриона, и в результате образуется новая полость — первичная кишка (3). В формировании тела будущего животного участвует целиком весь

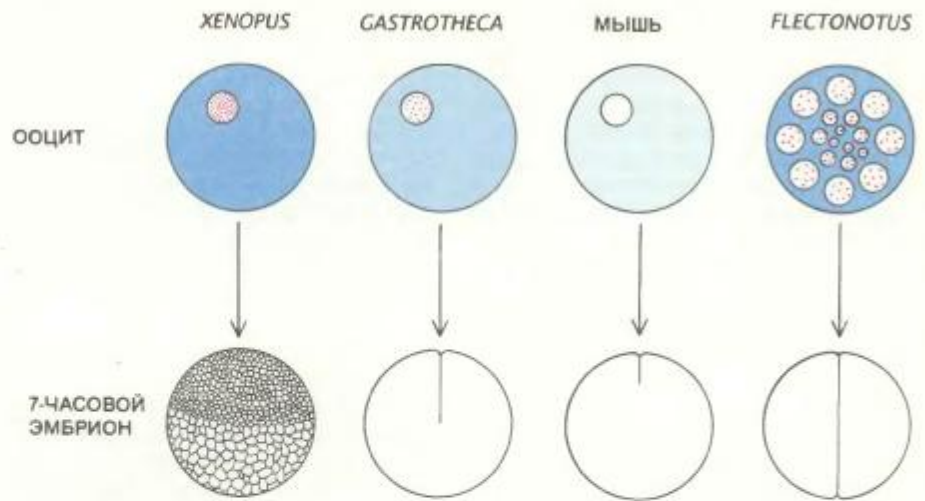
эмбрион (4). В крупном, заполненном желтком курином яйце в гастрюляции участвует только небольшой диск из клеток на поверхности желточной массы; из этого диска затем разовьется все тело цыпленка. У *Gastrotheca*, как и у *Xenopus*, в гастрюляции принимает участие целиком весь эмбрион. Однако, по-видимому, из-за крупных размеров эмбриона и большого содержания желтка те клетки, которые принимают участие в дальнейшем развитии, сконцентрированы на одной стороне в диске, окружающем маленькую первичную кишку, и тело формируется на поверхности желточной массы, как у птиц.

крипции генов ядерной ДНК. В ооцитах лягушек может накапливаться много рРНК благодаря тому, что соответствующие гены амплифицированы, т. е. представлены множеством копий. Ооцит *X. laevis*, к примеру, содержит около 2 млн. копий рибосомальной ДНК. Эти гены находятся не в хромосомах вместе с остальными генами клетки, а формируют внутри ядра особые плотные тельца, называемые ядрышками; в зрелом ооците *Xenopus* содержится более 1000 ядрышек.

Мерой быстроты развития, обеспечиваемой огромным количеством рРНК в ооците, может служить время гаструляции. Гаструляция — это стадия эмбрионального развития, на которой эмбрион, представляющий собой до этого просто сферу из клеток, изменяет форму таким образом, что образуется новая, двухслойная сфера, окружающая полость, которая в последующем станет полостью кишечника. У *X. laevis* гаструляция наступает уже через 14 часов после оплодотворения. А у *Gastrotheca riobambae* период до этой стадии длится целых 14 дней. Я заинтересовалась, не связано ли такое замедленное развитие с пониженным уровнем амплификации рибосомальных генов и более низким содержанием рРНК. Эта догадка подтвердилась. М. Тренделенбург из Онкологического центра в Гейдельберге (ФРГ) и я, изучая строение ооцита *G. riobambae*, насчитали в нем менее 300 ядрышек, т. е. приблизительно вчетверо меньше, чем у *Xenopus*. Можно думать, что меньшее число ядрышек свидетельствует о более низком уровне амплификации рибосомальных генов и соответственно меньших запасах рРНК.

Для оценки уровня амплификации рибосомальных генов в ооцитах *G. riobambae* мы применили методы молекулярной биологии. К. Дрейер из Института биологии развития им. Макса Планка в Тюбингене (ФРГ) и я инкубировали ооциты *G. riobambae* с клонированной рДНК (т. е. ДНК, кодирующей рРНК) *Xenopus*. (Одноцепочечная ДНК одного организма может гибридизоваться с ДНК или РНК другого организма, т. е. образовывать гибридные двухцепочечные молекулы, если у того есть комплементарные последовательности нуклеотидов.) Эти эксперименты показали, что ооциты *Gastrotheca riobambae* содержат мало рДНК.

Чтобы выяснить, действительно ли низкий уровень амплификации рибосомальных генов приводит к меньшему содержанию рРНК, П. Хаузен из Института биологии развития им. Макса Планка в Тюбингене и я об-



УРОВЕНЬ РИБОСОМАЛЬНОЙ РНК (показан голубым цветом) в ооците коррелирует со скоростью эмбрионального развития. У лягушки *Xenopus*, которая откладывает икру в воду и незащищенный эмбрион развивается быстро, содержание рРНК в ооците велико за счет амплификации рибосомальных генов (красные). Спустя 7 часов после оплодотворения, в эмбрионе уже насчитывается 4000 клеток. У сумчатой квакши *Gastrotheca*, как и у млекопитающих (здесь — мыши), развитие может идти медленнее, поскольку эмбрион защищен. Содержание рРНК в ооцитах у этих животных низкое, что отражает низкий или вообще нулевой уровень амплификации рибосомальных генов; 7-часовой эмбрион состоит всего из 1—2 клеток. У некоторых вынашивающих икру квакш, таких как *Flectonotus*, ооциты многоядерные, благодаря чему синтез рРНК усилен и развитие ускорено.

рабатывали срезы ооцитов красителем, специфичным к РНК. У *Gastrotheca riobambae* окрашивание было слабым, а у *Xenopus* — интенсивным. Г. Штейнбейссер, А. Хоффман из Онкологического центра в Гейдельберге и я впрямую измерили содержание рРНК в ооцитах, проводя гибридизацию РНК, выделенной из ооцитов, с рДНК. Мы обнаружили, что у *G. riobambae* ооциты содержат гораздо меньше рРНК, чем у *Xenopus*.

ДАЖЕ на молекулярном уровне некоторые черты развития сумчатых квакш не характерны для лягушек, а больше напоминают таковые млекопитающих. Однако в начале своей работы я обнаружила у ооцитов ряда сумчатых квакш свойство, практически неизвестное не только у других лягушек, но и у остальных позвоночных. В 1976 г. сотрудник с биостанции Ранчо-Гранде в Венесуэле С. Манесс (ныне покойный) показал мне замечательную сумчатую квакшу *Flectonotus pygmaeus*. Это животное не более 2,5 см в длину живет в пологе дождевого леса. Самка *F. pygmaeus* в своей сумке вынашивает 5—11 икринок, из которых выходят головастки, развивающиеся потом в лужицах дождевой воды, скапливающейся на деревьях.

Интересная особенность этого вида выявилась, когда я вскрыла один из ооцитов под микроскопом. Вместо

единственного ядра в нем оказались тысячи сферических структур. Мой научный руководитель профессор А. Хамфрис (она тогда работала в Университете Эмори) и я, изучая эти структуры и их биохимическую активность, пришли к выводу, что это активные ядра ооцита. В каждом ооците насчитывалось в среднем 2000 ядер! В то время был известен только один вид позвоночных, имеющий многоядерные ооциты, — хвостатая лягушка, обитающая в Северной Америке, у которой каждый ооцит содержит 8 ядер. Зачем же нужно столько ядер?

Ключ к разгадке заключается в скорости развития эмбрионов *Flectonotus pygmaeus*. Эмбрионы инкубируются в течение 20 дней (тогда как у *G. riobambae* 3—4 месяца), и еще через 11 дней головастки превращаются в лягушек (у *G. riobambae* через несколько месяцев). Ускоренное развитие, вероятно, требует больших накоплений рРНК. Возможно, род *Flectonotus* ведет свое происхождение от типичных вынашивающих икру видов, у которых эмбриональное развитие замедлено и уровень амплификации рибосомальных генов понижен. Эволюция в сторону ускорения развития, по-видимому, обусловлена малыми размерами и соответственно меньшей продолжительностью жизни *Flectonotus*. Эволюционным ответом на необходимость большого ко-

личества рРНК в ооцитах было увеличение числа ядер, каждое из которых обладает ограниченными возможностями для амплификации рибосомальных генов. Этот путь действительно эффективен, в чем Г. Макгрегор из Лестерского университета и я убедились, измерив общий уровень амплификации.

Оказалось, что среди вынашивающих икру квакш, в отличие от других животных, многоядерные ооциты — довольно обычное явление: мы обнаружили их у 14 из 36 изученных видов. Вероятно, в каждом случае эта адаптация возникла в ответ на давление факторов внешней среды, благоприятствовавшее ускоренному эмбриональному развитию. С многоядерностью ооцитов связан ряд вопросов. В частности, по мере развития ооцита в яичнике число ядер в нем неуклонно падает, до тех пор пока не остается только одно, которое при оплодотворении сливается с ядром сперматозоида. Каким образом отбрасывается единственное ядро среди тысяч других?

РАЗВИВАЕТСЯ ли яйцеклетка сумчатой квакши из одноядерного ооцита или из многоядерного, в любом случае она обладает определенными структурными и молекулярными особенностями. Вполне возможно поэтому, что развитие эмбриона, а именно картина деления и перемещения клеток после оплодотворения яйцеклетки и переноса ее в сумку, также своеобразно. Изучая эмбриональное развитие у *Gastrotheca*, мы с Р. Элинсоном из Торонтского университета нашли сходство скорее с птицами и рептилиями, чем с обычными лягушками.

Так, необычна гастрюляция, когда первичный эмбрион впячивается и клетки с одной стороны сферы перемещаются, выстилая образовавшуюся полость — первичную кишку. У большинства лягушек эта полость имеется на протяжении почти всей стадии гастрюлы, т. е. происходящие изменения затрагивают весь эмбрион в целом. У птиц и рептилий большое количество желтка ограничивает гастрюляцию. Только небольшой диск из клеток на одном из полюсов яйца принимает участие в образовании первичной кишки, и только эти клетки формируют тело будущего животного. Остальная часть эмбриона представляет собой массу желтка, являющегося запасом питательных веществ для эмбриона.

Элинсон и я обнаружили, что у вынашивающих икру квакш, так же как и у других лягушек, в гастрюляции принимает участие весь эмбрион. Начиная с одного конца, мелкие клетки, содержащие мало желтка, образуют по краю новый слой клеток. Впячивание

в этом случае, однако, ограничено и образующаяся первичная кишка имеет вид маленькой полости на одном конце эмбриона. Только диск клеток, окружающих маленький первичный кишечник, принимает непосредственное участие в последующем эмбриональном развитии. Эмбрион развивается на одной стороне большой желточной массы, подобно тому как это происходит у птиц и рептилий.

СОТНИ миллионов лет эволюции отделяют сумчатых квакш от полностью наземных животных — млекопитающих, птиц и рептилий, с которыми я их сравнивала. Тем не менее эти лягушки имеют много сходных с ними адаптаций к сухопутному

размножению. Интересно порассуждать об эволюционном будущем вынашивающих икру квакш. Могут ли они в будущем дать совершенно новый класс наземных позвоночных? Это было уже не первый раз, когда амфибии овладели сушей: и млекопитающие, и птицы, и рептилии произошли от древних амфибий.

Но гораздо вероятнее, по меньшей мере для многих вынашивающих икру квакш, что их эволюционные превращения окончены. Исчезают тропические леса, в которых они обитают, а с лесами — многие удивительные существа, населяющие их. Наименее изученные виды сумчатых квакш могут исчезнуть раньше, чем удастся раскрыть все их секреты.

Наука и общество

Факты кричат

КРАСНОРЕЧИВЫЕ свидетельства того, в каком плачевном состоянии находится преподавание естественнонаучных дисциплин в американских школах, похоже, убедили деятелей образования в необходимости перестать изучать проблему и заняться ее решением. Недавнее тестирование, проведенное в школах Службой проверки образования (ETS), показало, что тринадцатилетние американцы знают математику хуже, чем их сверстники в Южной Корее, в пяти провинциях Канады, в Испании и в Великобритании; по другим естественнонаучным наукам Соединенные Штаты, Ирландия и две канадские провинции занимают последние места. В связи с этим исследованием министр образования Соединенных Штатов Лауро Ф. Кавазос задает вопрос: «Сколько раз можно напоминать этой нации, что она недостаточно образованна?»

«Людям надоела бесконечная исследования, — говорит Билл Дж. Олдридж из Национальной ассоциации преподавателей естественных наук. — Необходимо немедленно что-то предпринять». Олдридж отчаянно призывает к борьбе с научной безграмотностью и работает над совершенствованием учебных программ. Он полагает, что на обширный курс естественнонаучных предметов отводится слишком мало времени: те многие учащиеся средней школы, которые изучают физику, вынуждены за один год проходить программу, которая во многих странах растягивается на пять или более лет. По мнению преподавателей, каждый предмет нужно изучать в течение нескольких лет так, чтобы содержание курса постепенно

приобретало все большую теоретическую направленность; кроме того, нужно стараться координировать преподавание различных дисциплин, что сейчас не делается.

Олдридж говорит, что в будущем году предполагается начать выпуск материалов для преподавателей средней школы, после чего новые учебные программы будут опробованы в пяти или более контрольных районах, одним из которых является весь штат Северная Каролина. Олдридж надеется, что Национальный научный фонд оплатит половину расходов по проекту, общая стоимость которого должна составить от 10 до 20 млн. долл. Свой вклад могли бы внести министерство образования и отдельные штаты. Поддержку обещали нобелевские лауреаты Шелдон Ли Глашоу и Леон М. Ледерман, некоторые крупные издатели и такие известные деятели образования, как Билл Хониг из отдела образования шт. Калифорния.

Несколько медленнее идет разработка учебных программ в Национальном совете по научным исследованиям (НСНИ), один из комитетов которого работает над улучшением преподавания математики; в рамках этой инициативы Национальный совет преподавателей математики опубликовал в марте новые критерии оценки программ по этому предмету. Другой комитет НСНИ осенью предполагает выпустить новые рекомендации по программе биологии; этой группе оказывает содействие Медицинский институт Говарда Хьюза в Бетесде (шт. Мэриленд), который заинтересован в повышении уровня образования в биологии и может оказать финансовую поддержку.

В качестве еще одного примера можно привести Проект-2061 (название связано с годом, когда к Солнцу вновь приблизится комета Галлея). Эта инициатива Американской ассоциации содействия развитию науки (AAAS) направлена на радикальную переработку учебных программ по естественным наукам. Дело продвигается медленно. Первый этап, в ходе которого определяется необходимый объем знаний выпускников средней школы, должен был занять шесть месяцев, в действительности же на него ушло пять лет. Более того, обзорный том «Наука для всех американцев», недавно выпущенный AAAS, вызвал серьезные разногласия между учеными различных специальностей: представители каждой из специальности считают, что их предмет представлен недостаточно полно. Хотя скептики и говорят, что комета Галлея вернется быстрее, чем появятся новые программы и материалы, есть надежда, что Олдриджу, задающему темп в этом деле, удастся воспользоваться некоторыми промежуточными материалами Проекта-2061.

Разумеется, программы ничего не стоят, пока их не приняли администрация школ и учителя. Ф. Джеймс Резерфорд из AAAS уверен, что работа по Проекту-2061 даст время для достижения согласия между учителями и «начальством». Захотят ли учителя отказаться от проторенных дорог? «Всем должно быть ясно, что наступил кризис», — замечает Резерфорд. Между тем ETS предлагает еще один метод сравнения подготовки учащихся в США и за рубежом. По словам Арчи У. Лапуанта из ETS, дальнейшие исследования покажут, какого уровня образования можно реально достичь, и позволят определить, каковы характеристики «хороших» систем обучения. «Лучший способ мобилизовать силы — это пробудить дух соперничества», — утверждает Лапуант.

Квантовая криптография

КАЖДЫЙ раз, когда математики создавали новые шифры для зашифрования сообщений, находились другие математики, которые раскрывали эти шифры. Если удается подслушать само сообщение, то алгоритм и ключ, с помощью которых оно было закодировано, рано или поздно могут быть раскрыты, и тогда тайное становится явным. За последнее десятилетие положение несколько изменилось. С появлением стандарта кодирования данных (Data Encryption Standard) даже знание используемого при шифровании алгоритма, как считают специалисты, не облегчает зада-

чу расшифровки кода, а в системах ключей общего пользования знания половины ключа не достаточно для быстрого раскрытия шифра.

Новый метод, называемый квантовой криптографией, основан на другом принципе, который делает невозможным подслушивание без того, чтобы оно осталось незамеченным на передающей и принимающей сторонах. Однако это сопряжено с рядом нежелательных явлений: данные передаются сравнительно медленно, а система связи способна работать в лучшем случае на расстояниях не более нескольких километров и передавать при этом можно только случайные биты.

Метод квантовой криптографии, разработанный Ч. Беннетом из Исследовательского центра им. Т. Уотсона корпорации IBM и Ж. Brassаром из Монреальского университета, основан на том факте, что при измерениях, производимых в квантовомеханических системах, в частности такой, как фотон, информация о состоянии системы, в котором она находилась до измерения, разрушается. Чтобы получить информацию, подслушивающее устройство должно произвести определенные измерения, и таким образом, при любом вмешательстве в линию передачи перехватываемое сообщение искажается.

В физической модели, разработанной Беннетом и Brassаром, «квантовый канал» состоит из устройства, посылающего одиночные фотоны, имеющие либо прямолинейную (вертикальную или горизонтальную) поляризацию, либо диагональную (под углом 45° или 135° к горизонтальному направлению), и детектора на другом конце, считывающего поляризацию приходящих фотонов. Если фотон и детектор имеют одну и ту же ориентацию, (прямолинейную или диагональную), то детектор способен правильно определить поляризацию фотона (соответственно вертикальную, горизонтальную, под углом 45° или 135° к горизонтали), но если они ориентированы по-разному, результаты будут случайными: диагональный фотон всегда имеет 50%-ную вероятность пройти через прямолинейный детектор, и наоборот.

Во время сеанса связи передатчик посылает цепочку битов с произвольной последовательностью ориентаций. Приемник также выбирает произвольную последовательность ориентаций при детектировании. После передачи приемник сообщает передатчику по обычным каналам связи ту последовательность ориентаций, которая была выбрана для детектирования, а передатчик указывает, какие ориентации были выбраны пра-

вильно. Получающаяся в результате цепочка битов, известная лишь тем, кто ведет прием и передачу, но не известная больше никому, может служить в качестве ключа для обычной схемы кодирования, с помощью которой и будет передаваться информация. При попытке подслушать сообщение путем измерений, производимых над фотонами, и последующей их передачи возникает такая же вероятность выбрать неправильную ориентацию. При этом переданный фотон будет считан приемником (с использованием правильной ориентации), но полученный результат не будет соответствовать тому, что послал передатчик. Поэтому любая попытка перехвата сообщения будет легко обнаружена. В какой-то степени действия подслушивающих устройств могут быть замаскированы шумом, однако Беннет, Brassар и Жан-Марк Робер из Университета Макджила в Монреале придумали такой способ исправления ошибок передачи, при котором подслушивание также окажется неэффективным.

А как этот принцип можно реализовать на практике? Детекторы на фотоумножителях способны регистрировать по одному фотону через каждые 20—50 нс, и поэтому основная скорость передачи должна быть близкой к 20 млн. импульсов в секунду. Однако, как отмечает Беннет, каждый импульс должен быть ослаблен в среднем до 0,1 фотона, чтобы уменьшить вероятность генерирования сразу двух фотонов на 1 импульс, которые можно расщепить и подслушать сигнал, будучи обнаруженным. Половину импульсов можно не учитывать, потому что они были прочитаны с неправильной ориентацией, и, кроме того, эффективность фотоумножительных детекторов не превышает 30%. Результирующая скорость передачи данных, по-видимому, будет составлять около 300 тыс. бит в секунду (без учета случайного шума), а расстояние, на которое можно посылать одиночные фотоны, в лучшем случае составит несколько километров.

Беннет соорудил демонстрационную систему, а Brassар пишет необходимое программное обеспечение. Вскоре они надеются продемонстрировать передачу данных со скоростью порядка нескольких тысяч битов в секунду — этого вполне достаточно, чтобы показать, что их идея реализуема. Хотя использование принципа квантовой криптографии на практике может оказаться неосуществимым, как считает Беннет, сама концепция, согласно которой безопасность гарантируется физическими законами, представляется весьма интригующей и привлекательной.

Волоконные световоды в медицине

Приборы для прямого наблюдения внутренних органов, датчики для надежного анализа крови и лазерные системы для внутренних хирургических операций — вся эта медицинская техника основана на применении оптических волокон

АБРАХАМ КАТЦИР

ВЛОКОННЫЕ световоды, сыграв огромную роль в развитии связи, оказывают революционизирующее влияние на методы наблюдения, диагностики и лечения в медицине. Эти сверхтонкие гибкие волокна открыли окно в живую ткань человеческого тела. Вводя волоконные световоды в естественные отверстия или в небольшие надрезы и пропуская их по имеющимся в теле человека каналам, врачи могут внимательно рассматривать бронхи легких, складки кишечника, камеры сердца и многие другие внутренние органы, которые ранее для такого тщательного наблюдения были недоступны. Помещая волоконно-оптические датчики в кровоток, врачи могут делать быстрые и надежные биохимические анализы непосредственно у постели больного, в смотровом кабинете или в операционной. Все иные методы анализа крови требуют некоторого ее количества для последующих лабораторных исследований. Направляя по световоду лазерное излучение, врачи могут даже выполнять хирургические операции внутри человеческого тела, что иногда позволяет избежать обычной процедуры хирургического вмешательства, связанного с разрезанием здоровой ткани, чтобы иметь доступ к очагу заболевания.

Передавая лазерное излучение по волоконным световодам, гастроэнтерологи, например, прижигают кровеносные сосуды для остановки кровотечения в кишечнике, кардиологи начали разрушать бляшки и тромбы в периферийных артериях, а нейрохирурги скоро смогут восстанавливать нервные волокна в головном и спинном мозге. Волоконно-оптические приборы помогут объединить диагностику и лечение, например путем совмещения средств обнаружения раковых клеток со способами разрушения их без повреждения соседних здоровых тканей.

Многие диагностические и лечебные процедуры с использованием во-

локонных световодов не требуют обезболивания и могут быть надежно и без риска для здоровья выполнены во врачебном кабинете; следовательно, дальнейшее развитие волоконно-оптической техники должно уменьшить риск и стоимость медицинского обслуживания. Возможно, что применение волоконно-оптических средств сделает не безнадежной медицинскую помощь в тех случаях, когда обычные хирургические операции опасны или вообще невозможны, например у малолетних детей или у людей преклонного возраста.

ПРИМЕНЕНИЕ волоконных световодов в медицине началось с использования в диагностической практике систем передачи изображений, называемых фиброскопами. Первый фиброскоп, предназначенный для осмотра желудка и пищевода был сконструирован в 1957 г. сотрудниками Медицинской школы при Мичиганском университете Б. Хиршовицем и Л. Куртисом. С тех пор такие приборы существенно усовершенствовались, и теперь их можно использовать для осмотра практически всех органов человека. Действительно, в медицине волоконные световоды в основном используются в фиброскопах. Современный фиброскоп состоит из двух жгутов волоконных световодов: по одному подводится свет к биотканям, а по другому передается изображение к наблюдателю.

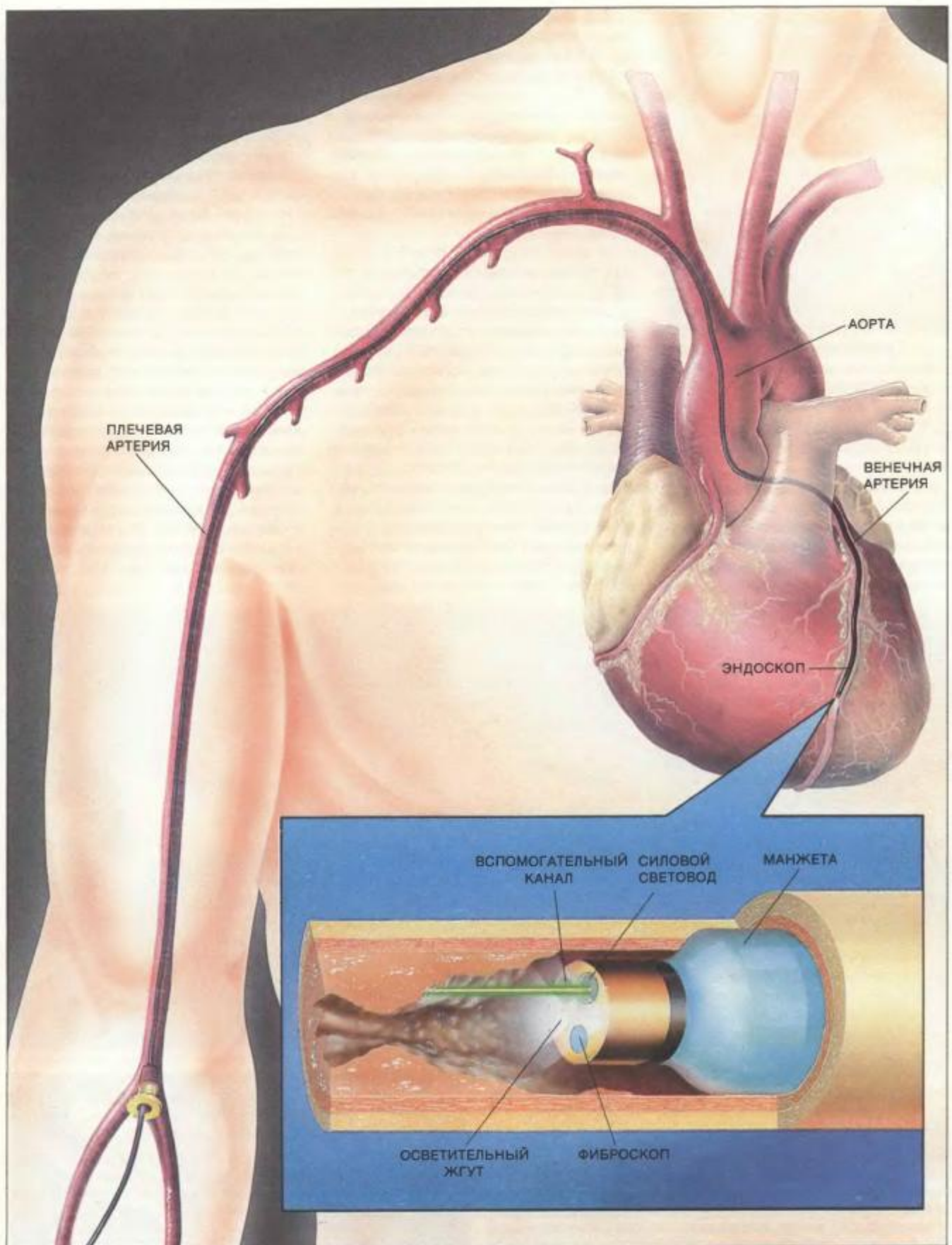
Осветительный жгут подсоединяется к мощному источнику света, такому как ксеноновая дуговая лампа. Свет входит в сердцевину световода, изготовленные из высокочистого кварцевого стекла. Такое стекло в 10 000 раз более прозрачно, чем оконное, и поэтому без больших потерь может проводить свет на многокилометровые расстояния. Поскольку свет стремится выйти из сердцевины световода, ее окружают оболочкой, отражающей большую часть выходящего света обратно в сердцевину.

Именно таким способом свет передается по всем волоконным световодам (см. J. S. Cook. Communication by Optical Fiber. "Scientific American", November, 1973).

Отраженный от живой ткани свет собирается линзой и фокусируется на приемный торец другого жгута, предназначенного для наблюдения. Каждый волоконный световод в этом жгуте принимает только ту часть отраженного света, которая распространяется под небольшими углами к его оси, поэтому каждый световод передает только малую часть общего изображения. Отдельные световоды в жгуте склеены между собой только на его концах, что обеспечивает ему гибкость и в то же время устраняет перемешивание отдельных частей передаваемого изображения. Восстановленное изображение можно наблюдать в окуляр, записывать на видеопленку или воспроизводить на телевизионном экране. Поскольку в одном жгуте диаметром менее одного миллиметра могут находиться тысячи световодов, фиброскоп может передавать изображения с высоким пространственным разрешением и практически совершенной цветопередачей.

Осветительный и передающий изображения жгуты могут быть легко вставлены в катетер диаметром несколько миллиметров. Такой фиброскоп можно затем ввести в естественные отверстия в человеческом теле и приблизить его торец к ткани на расстоянии от 5 до 100 мм.

Часто фиброскопы являются частью более сложных инструментов, называемых эндоскопами, у которых имеются дополнительные вспомогательные каналы, благодаря которым функции медицинского прибора расширяются. По одному из каналов, например, для улучшения видимости можно отвести жидкость из организма либо ввести воду или воздух для очистки раны от инородных веществ или органических остатков. Другой



ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ могут передавать лазерное излучение по венечным артериям для разрушения бляшек. Один из приборов, который может быть разработан уже в ближайшем будущем, включает в себя фиброскоп, надуваемую манжету и силовой световод. Его можно будет ввести через плечевую артерию в венечную артерию. Фибро-

скоп позволит медикам визуально обнаруживать бляшки или другие закупорки сосудов. Затем манжету можно надуть для временной остановки кровотока, а переданное по силовому световоду лазерное излучение разрушит бляшку. После выпуска воздуха из манжеты поток крови восстановится.

канал может содержать тонкие проволочки для поворота конца эндоскопа. Через третий канал можно ввести крошечные скальпели для разрезания биоткани и удаления полипов, а также иглы для впрыскивания лекарств. Большая часть производимых в настоящее время эндоскопов имеет длину от 0,3 до 1,2 м и диаметр от 2,5 до 15 мм.

С помощью таких приборов медики могут рассматривать внутреннюю полость пищеварительной, кровеносной, дыхательной и мочеполовой системы человека, брать небольшие образцы биотканей для лабораторных анализов и даже выполнять хирургические операции. При обследовании фиброскопом медики могут обнаруживать полипы в толстой кишке, чужеродные предметы в легких, опухоли в пищеводе и затем удалить их с минимальным хирургическим вмешательством.

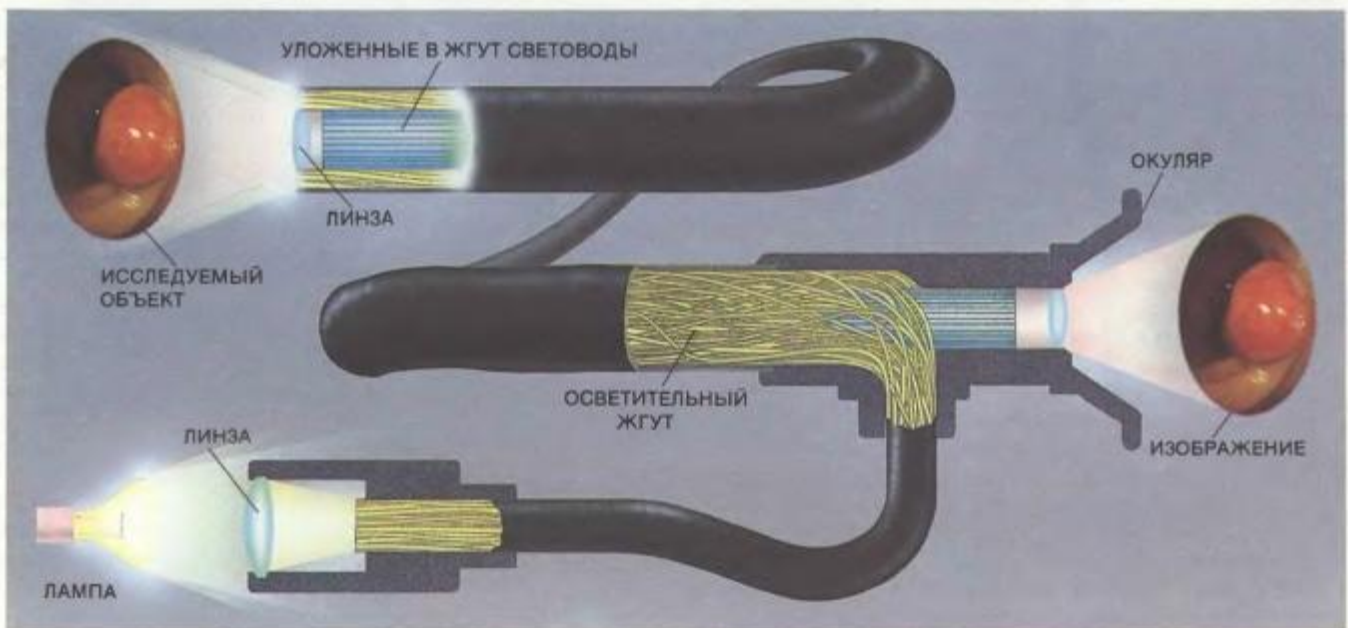
Освоенное в последние годы производство сверхтонких световодов позволило уменьшить диаметр фиброскопов и увеличить количество световодов в жгуте для наблюдений, что в

свою очередь улучшило его разрешение. Новейшие фиброскопы содержат до 10 000 волоконных световодов в жгуте диаметром менее одного миллиметра. Он может разрезать предметы с поперечными размерами в 70 мкм. Такой фиброскоп, введенный через артерию на плече человека, может передавать изображение клапанов сердца, а также закупорок в венечных артериях — сосудах, снабжающих сердце кровью.

КРОМЕ получения изображений с помощью волоконно-оптических систем можно делать прямой и быстрый биохимический и клинический анализы крови и решать другие проблемы физиологии человека. Основным элементом такой системы является волоконный световод, вводимый через катетер в тело человека. Наружный торец световода подсоединяется к источнику света и оптическому прибору, анализирующему отраженный свет. Другой конец световода посылает свет либо непосредственно на нужные участки тела, либо на миниатюрные датчики, называемые оптодами.

Отраженный свет подводится по световоду к анализатору, который замечает такие параметры, как длина волны и интенсивность, и выдает информацию о физиологическом состоянии организма.

Во многих случаях медицинское обследование с применением волоконно-оптических устройств может оказаться точнее, надежнее и экономичнее эффективнее по сравнению с традиционными методами, которые основаны на лабораторных анализах жидкостей, взятых из организма. Волоконно-оптические системы устраняют задержки анализов и уменьшают вероятность ошибок. Кроме того, волоконно-оптические датчики химически не взаимодействуют с тканями организма, не вызывают реакцию иммунной системы. Они долговечнее, универсальнее и потенциально безопаснее по сравнению с микронными приборами, также предназначенными для сбора данных о функциональной деятельности организма и вводимыми внутрь человеческого тела. Некоторые медицинские волоконно-оптические приборы уже по-



ФИБРОСКОП (вверху) может передать изображение желудка и многих других органов. Линза фокусирует свет от лампы на вход жгута из волоконных световодов. Пройдя по световодам свет освещает полип в желудке. Отраженный от полипа свет фокусируется линзой на торец жгута световодов. Каждый световод в жгуте передает часть полного изображения. Когда свет выходит из наружного конца жгута, изображение полипа восстанавливается и его можно увидеть в окуляре. Фотографии полипов (вставленные на верхнем рисунке) получены с помощью фиброскопа в клинике Мэйо. Фиброскопы часто входят в более сложные приборы, называемые эндоскопами (справа), которые также имеют каналы для введения других приспособлений.



ступили в продажу, в то время как многие другие только проходят клинические испытания.

Измерения скорости кровотока с помощью волоконно-оптических средств основываются на замерах параметров света, отраженного от клеток крови. Для этого через катетер в артерию вводится световод, по которому посылается слабое лазерное излучение, попадающее на красные клетки крови. Когда свет рассеивается на движущихся клетках, его длина волны изменяется за счет действия известного эффекта Доплера. Чем быстрее клетка движется к выходному торцу световода, тем меньше длина волны рассеянного ею света. Некоторая часть этого света попадет в световод и пройдет обратно к его входному торцу. Здесь датчик определит разницу между длинами волн лазерного и рассеянного излучений и рассчитает скорость кровотока вблизи выходного торца световода.

О первых экспериментах, демонстрирующих этот метод, сообщалось почти три десятилетия назад, однако клинические испытания приборов начались только в последние годы. Мгновенные измерения скорости кровотока с помощью новых средств помогут медикам определять, достаточно ли количество крови поступает к жизненно важным органам.

Волоконные световоды позволяют также непосредственно определять содержание кислорода в крови. Гемоглобин (химическое вещество, ответственное за перенос кислорода кровью) отражает значительно больше красного света, когда он несет кислород, чем когда кислорода нет. Инфракрасный же свет отражается от всех молекул гемоглобина одинаково, независимо от содержания кислорода в них. Поэтому если красный и инфракрасный свет одновременно пропускаются по волоконному световоду в кровь, то интенсивность отраженного красного света пропорциональна количеству переносимого кислородом гемоглобина, в то время как интенсивность отраженного инфракрасного излучения является мерой полного содержания гемоглобина в крови. Этот метод, используемый теперь в обычной медицинской практике, помогает установить, насколько кровь пациента способна переносить кислород, а сердце и легкие поставлять его организму.

Миниатюрные датчики, присоединенные к концам волоконных световодов, позволили проводить измерения большого числа других физиологических параметров (см. рисунок на с. 66). Так, разработаны датчики для измерения давления в артериях, моче-

вом пузыре, мочеиспускательном канале (уретре) и в прямой кишке. Чувствительный датчик для этих целей состоит из маленькой трубки, прикрепленной к концу световода. Другой конец трубки герметизирован тонкой отражающей мембраной. Когда давление внутри и снаружи трубки одинаково, мембрана остается плоской и свет, прошедший по световоду, отражается обратно в него. Если давление вне трубки больше, чем внутри, мембрана прогнется внутрь, образуя выпуклое зеркало, которое будет отражать в световод уже меньшее количество света. Если же давление вне трубки ниже, чем внутри, мембрана изогнется наружу, и образующееся при этом вогнутое зеркало сфокусирует в световод больше света, чем плоская мембрана. В ряде клинических испытаний было получено хорошее соответствие между результатами измерений волоконно-оптическими приборами и результатами обычных измерений.

Разрабатываются также датчики, анализирующие биохимические характеристики крови. Датчики для измерения pH крови основываются на применении органических красящих веществ, которые люминесцируют под воздействием ультрафиолетового излучения. Изменение pH крови вызывает более яркую люминесценцию некоторых красителей, в то время как люминесценция других красителей при этом не изменяется. Помещенные в оболочку из пористого полимера, такие красители прикрепляются к концу световода. Полимер пропускает через себя ионы водорода, но не дает более крупным ионам взаимодействовать с красителем и разрушать его. В медицинской практике этот датчик может измерять pH крови с точностью до 0,01.

В датчики подобных конструкций вводят также различные биомолекулы, такие как ферменты и антитела. Изменения флуоресцирующей способности этих биомолекул может указать на наличие или отсутствие специфических химических соединений в довольно сложных смесях, таких как кровь или другая ткань. Волоконный же световод передает информацию от датчика к процессору, который анализирует ее и выдает результаты измерений для большого числа химических соединений, содержащихся в теле человека. Такие датчики уже применяются для контроля концентраций глюкозы и пенициллина и скоро их можно будет использовать для измерений концентраций лекарственных веществ, гормонов, токсинов, продуктов метаболизма и микроорганизмов.



ПРАВЫЙ ЖЕЛУДОЧЕК СЕРДЦА человека сфотографирован через сверхтонкий фиброскоп, введенный в плечевую артерию. Фиброскоп, диаметр которого меньше одного миллиметра, разработан в фирме Olympus Corporation в Токио.

В ПОСЛЕДНИЕ годы наиболее значительным применением волоконных световодов в медицине была передача энергии лазерного излучения внутрь человеческого тела для хирургических и терапевтических целей. Взаимодействие лазерного излучения с тканями человека зависит от длины волны и интенсивности используемого излучения. Хотя каждый вид лазера обычно излучает свет одной длины волны, или цвета, сейчас имеется широкий набор лазеров, излучающих свет в видимом, инфракрасном или ультрафиолетовом диапазонах спектра. Поглощение света живыми тканями зависит от длины волны света и от свойств хромофоров — содержащихся в ткани окрашенных агентов, таких как гемоглобин, меланин и кератин. Поэтому излучение лазера с определенной длиной волны воздействует лишь на определенные ткани и вызывает характерные только ей фотохимические реакции.

Маломощное лазерное излучение обычно вызывает слабый, локальный нагрев, который приводит к коагуляции белков и свертыванию крови. Поэтому с помощью лазерного луча можно сшивать плотные ткани и таким путем заживлять раны или соединять кровеносные сосуды. Мощное лазерное излучение уничтожает ткань в основном путем испарения из нее воды. Оно также прижигает разрезы, так что в процессе операции теряется минимальное количество крови. Для хирургических применений требуются лазеры непрерывного излучения мощностью от 10 до 100 Вт и импульсного излучения с пиковой мощностью от 1000 до 10 000 Вт. Посколь-



ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК может измерять давление в артериях, мочевом пузыре и мочеиспускательном канале. Датчик состоит из прикрепленной к концу световода трубки, дальний конец которой герметизирован тонкой отражающей мембраной. Когда давление вне трубки больше, чем внутри (*слева*), мембрана прогибается внутрь, образуя выпуклое зеркало, которое отражает обратно в световод лишь часть света. Если же давление вне трубки ниже, чем внутри (*справа*), мембрана изгибается наружу и образующееся при этом вогнутое зеркало фокусирует в световод больше света.

ку такие мощности воздействуют на ткань на площади менее одного квадратного миллиметра, плотности мощности при этом примерно равны тем, которые были бы необходимы в пучковом оружии для пробивания оболочки управляемой ракеты, находящейся в фазе ускорения.

Проблема передачи столь мощных лазерных излучений по волоконным световодам была предметом пристального внимания специалистов на протяжении последних двух десятилетий. Все волоконные световоды в какой-то степени ослабляют проходящее по ним излучение за счет поглощения и рассеяния. Частично это ослабление обусловлено собственными свойствами материала световода, оно зависит от длины волны света и мощности передаваемого излучения. Энергия лазерного луча может также ослабляться в результате рассеяния на поверхности световода или на дефектах внутри его. Все эти причины ограничивают уровень мощности лазерного излучения, которое можно передать по световоду к месту операции. Если мощность вводимого в све-

товод излучения превышает некоторый критический уровень, его торцы могут перегреться, расплавиться и даже испариться. В последние годы многие из этих трудностей были преодолены открытием новых материалов для волоконной оптики и разработкой методов изготовления высокочистых световодов из этих материалов.

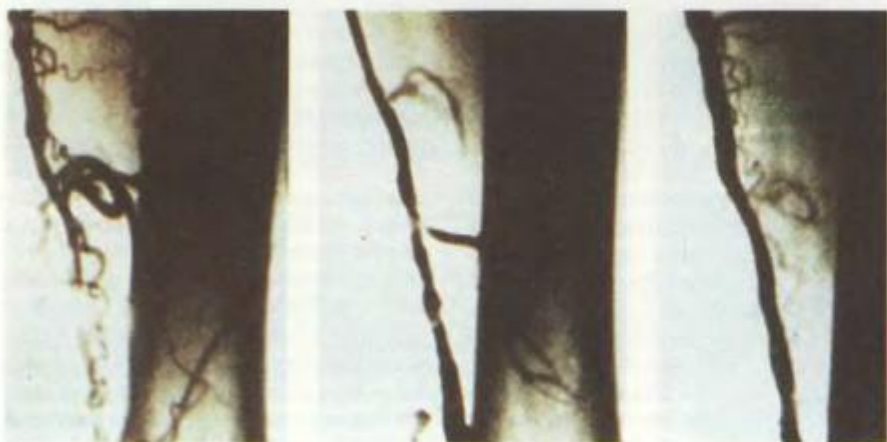
В противоположность световодам на основе кварцевого стекла, используемым в системах наблюдения и диагностики в медицине, световоды для лазерной хирургии изготавливаются из довольно необычных материалов. Кварцевые световоды предназначены для передачи зеленого излучения аргонового лазера, ультрафиолетового излучения эксимерных лазеров и ближнего инфракрасного излучения ИАГ: Nd-лазера (по названию лазерного материала — кристалла иттрий-алюминиевого граната с добавками ионов неодима). По таким световодам передавали непрерывное лазерное излучение мощностью до 100 Вт, достаточной для большинства хирургических целей. Несмотря на это, ис-

следователи продолжают поиск материалов для световодов, которые смогли бы эффективно пропускать излучение инфракрасных лазеров, особенно лазера на двуокиси углерода (см. М. Дрекстейдж, К. Мойнихэн. Инфракрасные волоконные световоды, «В мире науки», 1989, № 1). В настоящее время лучшими инфракрасными световодами для этой цели являются поликристаллические световоды, изготавливаемые из кристаллов галогенидов металлов.

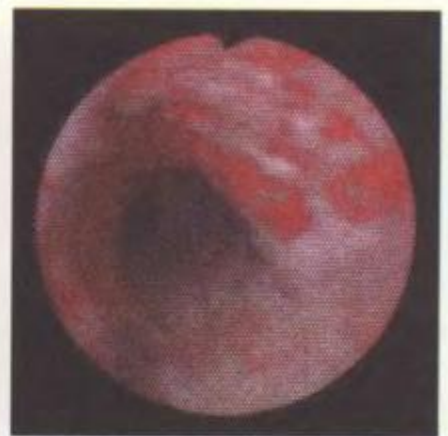
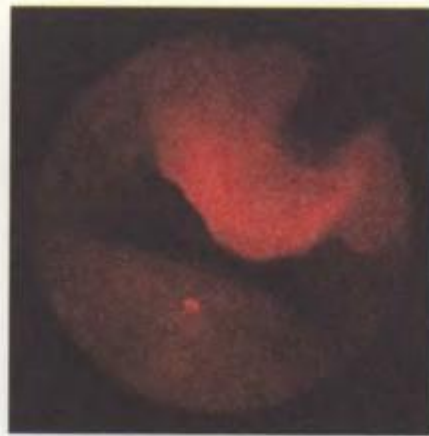
ПЕРВЫЙ медицинский прибор, объединивший в себе лазеры и волоконные световоды, был разработан в 1973 г. для контроля за кровотечением при язве желудка. Он состоял из фиброскопа для проведения визуальных наблюдений и отдельного силового световода для передачи лазерного излучения, которым прижигали язву. С тех пор такие приборы успешно лечат кровоточащие язвы в желудке, кишечнике и толстой кишке. Передающие лазерное излучение световоды служат также для разрушения камней в почках. Однако наиболее интересная перспектива терапевтического применения лазерно-световодных систем заключается в лечении сердечно-сосудистых заболеваний и локальных опухолей.

Многие наиболее тяжелые формы сердечно-сосудистых заболеваний развиваются вследствие утолщения стенок артерий кальцифицированными жиросодержащими отложениями, называемыми атеросклеротическими бляшками, или закупорки сосудов сгустками крови. Если при этом нарушается циркуляция крови, возникают внезапные сердечные приступы, инсульты или гангрена конечностей. Сегодня для лечения закупорки венечных артерий медики могут прибегнуть к методу, называемому подкожной коронарной ангиопластикой. При этом методе используется специальный катетер, имеющий на конце крошечный баллончик. Если артерия закупорена только частично, в область ее сужения можно ввести конец катетера. Затем баллончик надувают, так что он надавливает на стенки сосуда и его просвет увеличивается. Этот метод неприменим при полном перекрытии кровеносных сосудов, да и положительные результаты его применения могут быть только временными.

В таких случаях медики могли рекомендовать только более радикальную хирургическую процедуру, известную как аортокоронарное шунтирование, при которой взятая из ноги вена через вскрытую грудную клетку вживляется вместо заблокированной артерии. Хотя операция шунтирова-



РЕНТГЕНОВСКИЕ СНИМКИ бедренных артерий демонстрируют достижения лазерной баллонно-катетерной ангиопластики. На снимке слева артерия полностью заблокирована. После воздействия лазерного излучения от исходной закупорки осталось только 30% (в центре). Для расширения канала кровотока в артерию вводят катетер с надуваемым баллончиком, после чего нормальный кровоток восстанавливается (справа).



ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ позволяет удалить опухоль, закупорившую трахею (слева). Пациенту вводят краситель, который опухоль поглощает быстрее, чем здоровой тканью. Введенный в опухоль волоконный световод

(в центре) подводит лазерное излучение, воздействующее на краситель. Через два дня, как видно на фотографии (справа), опухоль после облучения омертвила, и теперь ее можно удалить.

ния обычно восстанавливает кровоток к сердцу, она является дорогостоящей и сильно травмирующей процедурой, требующей длительного восстановительного периода.

Разработка волоконных световодов, способных пропускать лазерное излучение большой мощности, сделала доступными несколько новых методов устранения закупорок артерий, известных как лазерная ангиопластика (пластическая операция на сосудах). В одной группе методов на выходной конец световода надевается маленький металлический наконечник. Если такой световод ввести в закупоренную артерию и по нему пропускать лазерное излучение, металлический наконечник нагреется и расплавит закупорку. Метод требует тщательного контроля, поскольку нагретый наконечник может прилипнуть к стенкам артерии или даже прожечь их. Сейчас имеется уже несколько успешно работающих установок для лазерной ангиопластики.

Другой метод, потенциально более эффективный, но и более сложный в техническом исполнении, основан на непосредственном удалении бляшек лазерным пучком. Первые экспериментальные установки такого типа включали в себя аргонный лазер, излучающий зеленый свет. Этот лазер был выбран благодаря его высокой надежности и высокой эффективности передачи его излучения по обычным кварцевым световодам. Эксперименты, однако, показали, что поглощенный зеленый свет вызывает обширные тепловые разрушения близлежащих тканей и недостаточно эффективно удаляет бляшки. Эти проблемы оказалось возможным преодолеть с помощью импульсного ультрафиолетового или инфракрасного лазерного излучения. Недавно В. Грундфест, Дж. Форрестер и Ф. Лит-

вак из Медицинского центра Седарс-Синай в Лос-Анджелесе испытали установку с ультрафиолетовым эксимерным лазером и кварцевым световодом. С помощью примененной ими установки были успешно очищены от закупорок венечные артерии у нескольких пациентов.

Основными проблемами, которые в этой области лазерной медицины еще необходимо решить, являются сложность управления лазерным пучком внутри артерии и проблема выявления пораженных участков артерии. В будущих «клизмных» системах, использующих флюоресценцию и эндоскопию, эти задачи будут решены и кровеносные сосуды будут защищены от прожигания.

МОИ коллеги из Тель-Авивского университета и я считаем, что в самом ближайшем будущем новые волоконные световоды, способные передавать инфракрасное излучение лазера на двуокиси углерода, позволят создавать хирургические системы, отличающиеся большей безопасностью, надежностью и долговечностью. Мы испытали такую систему на имплантации закупоренных бляшками человеческих артерий в тела животных. Затем для очистки артерии от бляшек в артерии вводились волоконные световоды, по которым пропускали излучение лазера на двуокиси углерода.

Современное состояние дел в рассматриваемой области позволяет предположить, что в течение нескольких ближайших лет такие хирургические инструменты будут усовершенствованы и встроены в прибор, снабженный фиброскопом и различными чувствительными датчиками. Такой лазерный эндоскоп будет, вероятно, иметь диаметр меньше двух миллиметров, причем фиброскоп в

нем займет лишь около половины объема. Прибор будет включать также силовой волоконный световод для передачи инфракрасного, ультрафиолетового или видимого лазерного излучения. Волоконно-оптические датчики в нем будут служить для измерения кровяного давления, температуры и скорости кровотока, а еще один канал позволит прокачивать через эндоскоп жидкости и газы.

Такой эндоскоп подобно обычному катетеру можно будет вводить в венечные артерии, при этом медики смогут наблюдать за закупорками артерий и измерять в них давление и скорость кровотока. С помощью надуваемого баллончика (манжеты) можно будет остановить кровоток, а затем ввести через промывочный канал прозрачный физиологический раствор, который очистит артерию от остатков крови. Лазерное излучение, передаваемое по силовому световоду, разрушит найденные закупорки, а образующиеся при разрушении бляшек газы будут откачаны по отводному каналу эндоскопа или выведены самим организмом. Операционным процессом будут управлять связанные с вычислительным устройством волоконно-оптические датчики, которые также предотвратят перегрев торцов световода и иссечение здоровых кровеносных сосудов. После завершения ангиопластической операции из баллончика выпускается воздух и для подтверждения того, что венечная артерия вновь открыта, измеряется скорость кровотока.

ДРУГИМ новым применением волоконных световодов являются обнаружение и лечение небольших злокачественных опухолей. Например, для выявления очень малых опухолей в легких, которые невозможно обнаружить ни при помощи компью-

терной томографии, ни рентгеновским просвечиванием, исключительно удачным оказался диагностический метод флюоресцентной эндоскопии. При этом методе пациенту в течение нескольких дней вводится производная гематопорфирина — краситель, который под воздействием ультрафиолетового излучения флюоресцирует красным светом. Этот краситель поглощается опухолью значительно сильнее, чем здоровыми тканями.

Если теперь подозрительные области облучить через кварцевый волоконный световод ультрафиолетовым излучением, генерируемым, скажем, криптоновым лазером, то излучающие красный свет злокачественные опухоли будут легко обнаружены. Для выделения красного света на выходе жгута наблюдения помещается фильтр, который пропускает красный свет и отсекает отраженное ультрафиолетовое излучение.

Если же вместо ультрафиолетового излучения ткань облучить красным светом большой интенсивности, то результаты будут совсем иными. Производная гематопорфирина сильно поглощает красный свет. Энергия поглощения вызывает серию фотохимических реакций, которые убивают злокачественные ткани, предварительно насыщенные этим красителем. Высокоинтенсивный красный свет может излучать лазер на парах золота. Свет от лазера пропускают по кварцевому световоду и направляют прямо на опухоль. Этот свет селективно разрушает раковые клетки. Метод такой фотодинамической терапии в настоящее время проходит клинические испытания (см. рисунок на с. 67).

Описанные выше методы диагностики и хирургические системы можно объединить в единый лазерный эндоскоп для лечения опухолей. Это задача ближайшего будущего. Прибор будет включать в себя фиброскоп, один кварцевый световод для передачи возбуждающего ультрафиолетового излучения и другой кварцевый световод, пропускающий красный свет, для фотодинамической терапии. К месту подозреваемой опухоли эндоскоп будет подводиться через естественные отверстия в теле человека или через разрезы на коже. По первому световоду будет пропускаться ультрафиолетовое лазерное излучение, а изображение можно наблюдать через фильтр, пропускающий красный свет. Через несколько недель (или после нескольких курсов лечения) процедуру можно повторить, чтобы быть уверенным, что рост опухоли остановлен.

ГИБКИЕ фиброскопы, оптические датчики и передающие мощное лазерное излучение системы открывают новую эру в методах диагностирования и лечения с минимальным травмированием тканей. Лазерные эндоскопы будут включать в себя фиброскоп с жгутом для наблюдения и жгутами для облучения; волоконные световоды, связанные с диагностическими датчиками; силовой световод для мощного лазерного излучения, а так-

же канал для введения и отсасывания жидкостей или газов. Высокая четкость телевизионных изображений исследуемых участков тела человека, точность медицинских лабораторных исследований, совершенство в проведении операционных процедур, а также наличие инструментов, которые можно ввести в мельчайшие кровеносные сосуды, — все это в медицине будущего смогут обеспечить волоконные световоды.

Наука и общество

Неисчерпаемый источник энергии?

В МАРТЕ этого года два исследователя, работающие независимо друг от друга, заявили, что им удалось осуществить при комнатной температуре реакцию ядерного синтеза, используя для этого совершенно новую методику. До этого считалось, что для осуществления ядерного синтеза необходимо либо создание высокой температуры и высокого давления, при которых возможно удержание плазмы, либо использование мюонов, элементарных частиц, выступающих в качестве катализатора реакции ядерного синтеза при комнатной температуре. Сообщения, сделанные двумя учеными, были встречены специалистами с глубоким скептицизмом. «Я готов поспорить на свой дом, что они ошибаются», — заявил Уильям Хэппер-младший, исследователь из Принстонского университета. И все же полученные результаты, если, конечно, они будут подтверждены, могут сыграть решающую роль в развитии энергетики будущего.

Сообщение об осуществлении реакции ядерного синтеза при комнатной температуре было сделано Мартином Флейшманом из Саутгемптонского университета (Великобритания) и американцем Б. Стэнли Понсом из Университета шт. Юта на совместной пресс-конференции. По их словам, им удалось зарегистрировать реакцию ядерного синтеза во время электролиза с использованием катода из палладия и тяжелой воды (окись дейтерия) в качестве электролита. Палладий способен поглощать значительное количество дейтерия, изотопа водорода. Как отмечают Флейшман и Понс, атомы дейтерия задерживаются в палладию, где происходит их ядерный синтез с образованием более тяжелых ядер.

Доказательством того, что происходит реакция ядерного синтеза, служит выделение большого количества тепла, причем, как подчеркивает Флейшман,

плотность выделяемой энергии составляет примерно 5 МДж/см^3 — в 10 раз больше, чем при любой химической реакции. В ходе реакции было получено больше энергии, чем затрачено на нее. Ее побочными продуктами являются нейтроны и тритий, однако их образуется в миллиард раз меньше, чем при всех известных видах реакции ядерного синтеза.

Все эксперименты проводились исследователями в течение 5 лет в Университете шт. Юта за их собственный счет. Этот же университет подал заявку на получение патентов на изобретение новой методики проведения реакции низкотемпературного ядерного синтеза. Статья с описанием результатов этих экспериментов помещена в майском выпуске журнала "Journal of Electroanalytical Chemistry". «Мы считаем, что это изобретение будет сравнительно просто воплотить в технологию, которую можно использовать для выработки тепла и электроэнергии», — отмечает Флейшман.

Почему мы стареем

УСПЕХИ нейробиологии, иммунологии и молекулярной биологии сделали возможным анализ молекулярных изменений, происходящих при старении. «Произошли значительные сдвиги в составе исследователей», — говорит К. Финч из Университета Южной Калифорнии, один из организаторов состоявшейся недавно в Санта-Фе конференции, посвященной механизмам старения. По словам Т. Джонсона из Колорадского университета в Боулдере, организовавшего вместе с Финчем эту встречу, она знаменовала признание «аутсайдерных» направлений: «Пять лет назад еще не существовало молекулярной биологии старения: теперь же не меньше половины всех обсуждений было об использовании современных биотехнологических подходов».

Некоторым почтенным теориям дали отставку. «Никто уже не верит,

что существует единственный ген, контролирующий старение, — это очевидная переменная по сравнению с представлениями десятилетней давности», — отмечает Финч. По мнению Джонсона, на сегодняшний день нет экспериментальных данных, подтверждающих другую правдоподобную гипотезу, а именно о накоплении в клетке случайных ошибок в генах и белках до тех пор, пока не случится неизбежная катастрофа. В самом деле, стареющие клетки (т. е. клетки, прекратившие деление в культуре) сохраняют способность к репликации ДНК. «Сейчас мы больше не ищем единственную причину, — говорит Джонсон. — Старение развивается в результате действия многих факторов».

Прежние теории уступают место новым. Теперь уже ясно, что многие изменения, связанные со старением, обусловлены генетически запрограммированными процессами. В раковых клетках, способных к неограниченному размножению, обычно не появляются изменений в экспрессии генов, как в нормальных клетках. На генетическую программу можно влиять. Например, известно, что ограничения в питании увеличивают продолжительность жизни. По данным А. Ричардсона из Университета шт. Иллинойс, у крыс это увеличение сопровождается усилением экспрессии некоторых генов в клетках печени. Однако при реализации генетических программ присутствует и случайный компонент. П. Хорнсби из Медицинского колледжа Джорджии показал, что некоторые клетки быка при каждом новом делении с некой фиксированной вероятностью теряют способность к экспрессии определенного гена. (Как сказал Хорнсби, клетки забывают, что им полагалось делать.)

Связанные со старением изменения деятельности некоторых генов могут играть роковую роль. Например, П. Свердлов из Виргинского университета показал, что в человеческих клетках, приближающихся к утрате способности делиться в культуре, снижается содержание связанной формы белка, называемого убикитином. Одна из функций этого белка состоит в «маркировании» отслуживших свой срок других белков для последующего их разрушения. Свердлов полагает, что в стареющих клетках нарушается система связывания убикитина, в результате чего накапливаются поврежденные белки.

Еще один ключ к пониманию процесса старения заключен в механизме, обеспечивающем прекращение размножения клеток в культуре. А. Спиннинг, Дж. Смит и их коллеги из Меди-



КУЛЬТУРА ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ КЛЕТОК, в которой произошло максимально возможное число делений (справа), содержит вариант белка фибронектина (бурые пятна), выявленного при помощи моноклональных антител, полученных М. Портер из Медицинского колледжа Бэйлора. В культуре молодых клеток (слева) нет такой формы фибронектина.

цинского колледжа Бэйлора в Хьюстоне нашли вещество (и сейчас пытаются его выделить), которое присутствует только в стареющих клетках и подавляет синтез ДНК. Им удалось получить мутантную линию клеток человека, способных к неограниченному размножению, но производящих ингибитор, который может действовать на другие клетки.

Весьма интересные результаты получены в исследованиях, посвященных белку фибронектину, который участвует в фиксации положения и поддержании формы клетки. М. Портер из Медицинского колледжа Бэйлора обнаружила вариант фибронектина, присутствующий только в стареющих клетках. Ее данные согласуются с результатами других исследований, согласно которым изменения транскрипции генов в старых клетках часто затрагивают фибронектин. По видимому, измененный белок не способен к выполнению своей функции.

Несмотря на все эти многообещающие направления, остается много неясного. Вновь и вновь возникает вопрос: являются специфические изменения работы генов причиной или следствием старения клеток и имеют ли они отношение к старению целого организма. Здесь подходящими объектами для изучения могут быть деструктивные заболевания нервной системы, такие как болезнь Альцгеймера, которая, возможно, отчасти обусловлена генетически. К. Миллер из Университета Южной Калифорнии применил моноклональные антитела для идентификации небольших групп нейронов, дегенерирующих при таких заболеваниях; эти исследования, возможно, помогут разобраться в механизме неврологических нарушений.

Если важные изменения при старении действительно запрограммированы генетически, то для чего? Быть может, это оказалось выгодно в ходе эволюции? Джонсон обнаружил у

червя *Caenorhabditis elegans* ген, названный им *age-1*, который уменьшает продолжительность жизни, но компенсирует это увеличением плодовитости. Особи, мутантные по гену *age-1*, живут на 70% дольше, чем нормальные, но производят в 5 раз меньше потомства. Возможно, подобные гены есть и у других видов.

Не исключено, что изменения иммунной системы человека при старении тоже имеют полезные аспекты. М. Векслер из Медицинского колледжа Корнеллского университета обнаружил, что у пожилых людей только четверть всей популяции Т-лимфоцитов в полной мере сохраняет способность к пролиферации в ответе на внешний стимул, чем объясняется большая подверженность пожилых людей инфекционным заболеваниям. Однако это же позволяет иммунокомпетентным клеткам тщательнее следить за собственными тканями организма (похоже, так оно и есть на самом деле), благодаря чему уменьшается вероятность рака.

При всей важности генетических программ старения ясно, что повреждения клеток могут вызываться и естественно встречающимися химическими веществами. Для некоторых тканей это особенно существенно. В настоящее время пытаются создать лекарства против таких повреждений. Уже выпускается препарат ретин-А (третиноин), уменьшающий морщинистость кожи. Его производство является большим достижением фирмы Johnson & Johnson. Этот факт не обошли своим вниманием предприниматели, присутствовавшие на конференции в Санта-Фе, которые особенно заинтересовались новыми данными о фибронектине. И если деятели с Уолл-стрита опоздали сделать ставку на поиски эликсира молодости, которые вел Эрнандо де Сото в XVI в., то сейчас они не хотят упустить такую возможность с его последователями из научных лабораторий.



ГЕНРИ НОРРИС РЕССЕЛ (1877—1957) родился в Ойстер-Бей, шт. Нью-Йорк, и большую часть жизни прожил в Принстоне, куда он переехал в 12-летнем возрасте. С именем Рессела связаны диаграмма Герцшпрунга — Рессела, связывающая блеск звезд с их цветом, и метод связи Рес-

села — Саундерса, который описывает двухэлектронные взаимодействия в атомных спектрах. После 1919 г., когда индийский физик Мегнад Н. Саха успешно разработал квантовомеханическую теорию ионизации, Рессел посвятил себя теоретическому анализу звездных спектров.

Генри Норрис Рессел

Один из ведущих астрономов своего времени, Рессел понимал необходимость построения прочного теоретического фундамента для астрономии. Действуя в этом направлении, он способствовал становлению современной астрофизики

ДЕЙВИД Х. ДЕВОРКИН

В ИЮЛЕ 1923 г. один из сотрудников обсерватории Маунт-Вилсон представил Джорджу Хейлу отчет о «летних встречах», ставших своего рода ритуалом. Вот как он описывал эти встречи: «Приехал Генри Норрис Рессел; он торжественно «вплывал» в помещение... и его буквально распырало от желания говорить. Поначалу говорили все, потом его выступление превращалось в непрерываемое соло. В течение недели он проводил с нами три-четыре беседы; тема бесед — анализ атомных структур с помощью спектроскопии... Перед тем как уехать, большую часть времени он посвятил отождествлению линий титана в соответствии с лабораторными спектрами. Задача оказалась намного сложнее, чем он думал, и он все еще работает над ней, однако главная часть дела выполнена и стало ясно, что собой представляют мультитиплеты...»

Генри Рессел в тот период находился в расцвете сил — это был генератор идей в области применения методов современной физики в астрономической спектроскопии. Достаточно упомянуть лишь небольшую часть того, что связано с его именем: диаграмма Гершпрунга — Рессела, метод Рессела вычисления орбитальных параметров и физических характеристик затменных двойных звезд, связь Рессела — Саундерса. Вместе с Дэганом и Стюартом Рессел написал книгу «Астрономия: Анализ звездных спектров», которая послужила учебником для двух поколений астрономов*. Более 40 лет Рессел был одним из авторов ежемесячных обзоров по астрономии в журнале "Scientific American".

В обсерваторию Маунт-Вилсон Рессела пригласил Хейл с тем, чтобы тот помог его сотрудникам проанализировать множество лабораторных и звездных спектров и интерпретировать результаты астрономических наблюдений с точки зрения современной физики. Хейл надеялся, что

Рессел и другие физики устранят пробел между теоретической физикой и наблюдательной астрономией. Создание теоретического фундамента для астрономии было главной заслугой Рессела, и то, как он решал эту задачу, является не только отражением его профессиональной деятельности, но и переходного периода в развитии астрономии.

Рессел родился в 1877 г. в Ойстер-Бей, шт. Нью-Йорк. Он был старшим сыном в семье священника. Когда ему исполнилось 12 лет, он переехал жить к своей тетке (по материнской линии) в Принстон, чтобы продолжить обучение в этом городе, известном своими первоклассными школами. От своей матери, Элизы Норрис, мальчик унаследовал математические способности и чувство ответственности. Обладая также великолепной памятью, Рессел окончил Принстонскую подготовительную школу в возрасте 16 лет и поступил в Принстонский университет, где изучал математику и астрономию. На Рессела-старшекурсника большое влияние оказал Чарльз А. Янг, пионер в области солнечной спектроскопии, поэтому одна из его курсовых работ того времени была посвящена визуальной классификации звездных спектров. При подготовке выпускной работы его научными руководителями были Янг, математик Генри Б. Файн и астроном Е. О. Ловелл. Не удивительно поэтому, что эта работа Рессела представляла собой смесь математики и астрономии и «потянула» на докторскую диссертацию, которая была посвящена анализу гравитационного воздействия Марса на орбиту недавно открытого астероида Эрос. Результаты этой работы позволили точнее оценить расстояние между Землей и Солнцем.

Уже на старших курсах университета за Ресселом утвердилась репутация человека, способного находить новые вычислительные методы. Им были найдены способы решения уравнений для нахождения масс звезд в визуальных двойных системах и определения плотностей переменных звезд типа

Алголя, которые большинство астрономов того времени считали особым типом затменных двойных звезд. Вскоре Рессел обнаружил, что у него есть «конкуренты»: Хендрик Дж. Звайерс опередил его почти на 2 года в разработке метода анализа визуальных двойных звезд, а Александр Робертс предложил «метод Алголя» почти одновременно с Ресселом.

КОНКУРЕНЦИЯ подстегнула Рессела продолжать работу еще интенсивнее. В 1900 г. он завершает свою докторскую диссертацию, однако в результате перенапряжения у него наступает истощение сил и, чтобы поправить свое здоровье, Рессел на год отправляется в путешествие по Франции. В 1902 г. он продолжает свою работу в Кембриджском университете, но и на этот раз Рессел вынужден был прервать осуществление своих грандиозных планов по изучению (как теоретическому, так и с помощью наблюдений) тригонометрических параллаксов звезд — вероятно, в результате нервного истощения. Не окончив эту работу, он в 1905 г. возвращается в Принстонский университет. В течение следующих пяти лет Рессел пытается найти закономерности между наблюдательными данными и расчетными характеристиками звезд: истинным блеском, цветом, массой, плотностью и спектром.

Основным «материалом» ему послужили звездные спектры, представленные Эдвардом К. Пикерингом, директором обсерватории Гарвардского колледжа. У Пикеринга была целая армия помощников — среди них Анни Дж. Кэннон, — которые собрали самую большую в мире коллекцию звездных спектров и оценок видимого блеска. Пикеринг предложил Ресселу сопоставить абсолютный блеск звезд, который он вычислил по параллаксам в Кембридже, со спектрами этих звезд из гарвардской коллекции.

Результатом этой работы стала знаменитая диаграмма Гершпрунга — Рессела. (Датский астроном

* Учебник вышел в русском переводе в двух томах в 1934—35 гг. — Прим. ред.

Эйнар Герцшпрунг получил ее независимо между 1908 и 1910 гг.) Диаграмма, опубликованная Ресселом в 1914 г. (см. рисунок на этой странице), показывает, как почти все звезды могут быть классифицированы по блеску и цвету. Эта диаграмма остается важным инструментом в руках теоретиков, работающих над построением теории эволюции звезд.

В те годы Рессел занимался разработкой теории эволюции звезд (гигантов и карликов), основываясь на ранее высказанной гипотезе Нормана Локьера. Согласно этой теории, звезда поначалу представляет собой гигантское газовое облако (красный гигант), которое разогревается в результате

гравитационного сжатия до критической точки, в которой она уже не ведет себя как идеальный газ. По мере дальнейшего сжатия звезда охлаждается и превращается в плотный карлик, который продолжает охлаждаться и сжиматься. Не следует забывать, что в то время ядерные реакции не были известны и теория была основана на гравитационном взаимодействии и кинетической теории газа. Кроме того, астрономы также имели мало свидетельств, которые могли бы служить подтверждением, что звезды ведут себя как идеальный газ. Связь между современной физикой и астрономией была все слабой.

В 1911—1912 гг. Рессел предложил

эффективный метод вычисления орбитальных параметров и физических характеристик затменных двойных звезд, который позже стал известен как метод Рессела для затменных двойных звезд.

В 1910 г. за работы в области звездной астрономии Рессел получил должность профессора в Принстонском университете, где он оставался до конца жизни. Хотя Рессел был далек от политики и не создавал никаких новых учреждений, к началу первой мировой войны он был одним из ведущих астрономов США, который мог влиять на выбор направлений исследований и играть определенную роль в профессиональной деятельности других людей далеко за пределами Принстона. Один из его первых учеников, Херлоу Шепли, стал в 1921 г. директором обсерватории Гарвардского колледжа. Когда Хейл, Эдвин Б. Фрой и Отто Струве поочередно были редакторами журнала "Astrophysical Journal", они обращались к Ресселу за советом по поводу планируемых публикаций.

Число учеников Рессела было невелико, но они были среди лучших. Так, Дональд Х. Мензел, ставший в 1954 г. директором обсерватории Гарвардского колледжа, внес значительный вклад в изучение внешних слоев Солнца и физической природы газовых туманностей. Лайман Спитцер-младший одним из первых применил идеи физики плазмы к изучению звезд. В 1947 г., после ухода Рессела в отставку, он стал директором обсерватории Принстонского университета. По мнению Струве, в 30-х годах Принстонский университет был единственным учебным заведением в США, где, благодаря усилиям Рессела, читался курс теоретической астрофизики.

ПЕРВАЯ мировая война заставила Рессела направить свою энергию на исследования в области аэронавигации и звукометрии, однако он не переставал изыскивать пути комплексного развития американской астрономии. Благодаря самым лучшим в мире телескопам и благоприятному астроклимату США занимали лидирующее положение в наблюдательной астрономии. В обсерватории Гарвардского колледжа, Ликской и Йеркской обсерваториях проводились главным образом исследования звезд, начавшиеся еще в конце прошлого века.

Рессел понимал, что США отстали от Европы в области теоретической астрофизики, поэтому он поставил под сомнение целесообразность осуществления бесконечного числа про-

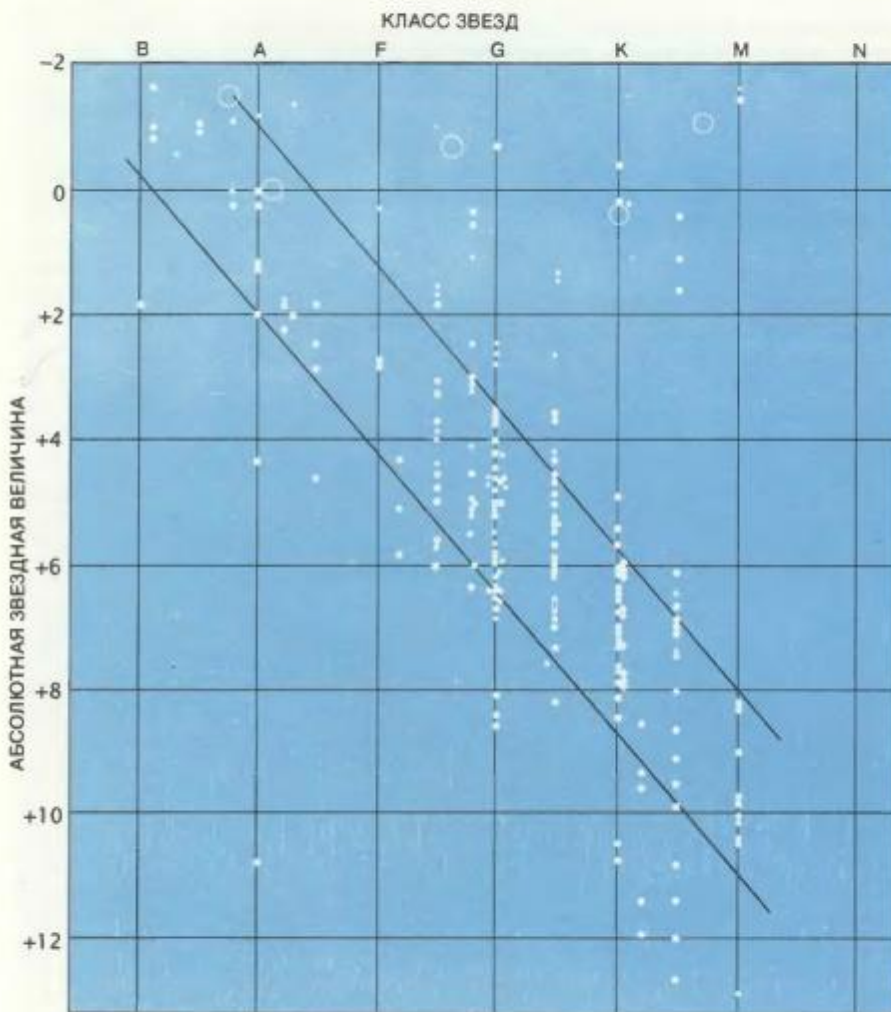
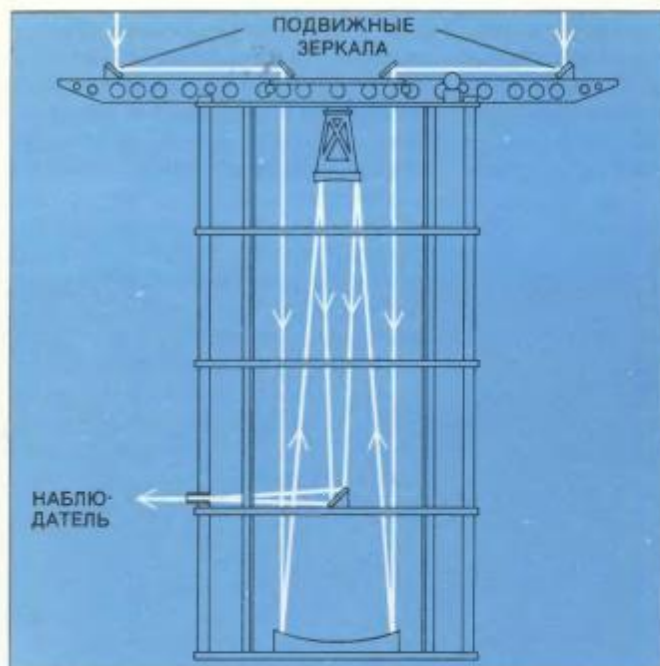


ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА — РЕССЕЛА была построена Эйнарсом Герцшпрунгом и Ресселом независимо друг от друга в период между 1908 и 1913 гг. На диаграмме логарифм светимости, или абсолютная звездная величина (вертикальная ось), представлена в виде зависимости между спектральным классом (горизонтальная ось) звезд, который обычно лежит в пределах от синего (O) до красного (M). Большинство звезд располагается на так называемой главной последовательности, простирающейся по диагонали от верхней левой части к нижней правой. Красные гиганты находятся в верхней правой части, а белые карлики — в нижней левой. Большинство астрофизиков XX в. пытались дать теоретическую интерпретацию диаграммы. Изображенная здесь диаграмма, построенная Ресселом, впервые была опубликована в 1914 г. в журнале "Popular Astronomy". Кружки соответствуют различным доверительным уровням для звездных параллакс.



ИНТЕРФЕРОМЕТР МАЙКЕЛЬСОНА был установлен в 1920 г. на 100-дюймовом телескопе обсерватории Маунт-Вилсон. Свет от звезды отражается от двух подвижных зеркал, расположенных на каждом конце фермы длиной 6 м. Два луча света сходятся в фокусе телескопа, где они интерферируют. Перемещая зеркала, можно добиваться исчезновения интерференционных полос. Расстояние



между зеркалами в этой точке является мерой углового размера звезд. С помощью этого метода разрешающая способность телескопа становится такой же, как и у телескопа с диаметром зеркала 6 м. Инструмент был собран под руководством Майкельсона, а в конце 1920 г. Фрэнсиз Г. Пиз (запечатлен на снимке) впервые определил угловой размер звезды Бетельгейзе.

ектов каталогизирования, которые хотя и позволяли картографировать небо со все возрастающей детальностью, однако не имели соответствующего теоретического базиса. Несколько столетий назад законы, открытые Ньютоном, были успешно использованы для описания орбитального движения небесных тел. Можно ли применять законы теплового излучения и квантовой физики, открытые Планком, Бором и Эйнштейном, для изучения строения звезд?

Рессел и другие теоретики считали, что, прежде чем планировать дальнейшие программы в области наблюдательной астрономии, необходимо попытаться ответить на эти вопросы. В 1916 г. он открыто выразил сомнения в целесообразности работ своего старого друга и наставника Пикеринга. По словам Рессела: «Слишком часто работа начинается вестись полным ходом еще до того, как полностью отработаны методы». В 1917 г. по просьбе Хейла Рессел подготовил первый анализ развития астрономии для наладно созданного Национального исследовательского совета. В этом анализе он подчеркивает, что теоретическая физика могла бы стать прочной основой для многих направлений в астрономии. В своем письме Пикерингу, написанном в том же году, Рессел так отзывается о предстоя-

щей работе одной из ассистенток Пикеринга: «Откровенно говоря, мне кажется, что мисс Кэннон больше интересуется то, как *выглядят* спектры, а не то, что они *означают*. Не думаю, что это умаляет ее заслуги перед астрономией, наоборот, ее пристальное внимание к фактам, безотносительно к современным теориям, делает ее особенно пригодной к выполнению той грандиозной работы, которой она занята».

В ответ на это Пикеринг, полагавший, что Гарвардская наблюдательная программа не была представлена должным образом в Национальном исследовательском центре, заметил, что в интересах развития астрономии было бы, возможно, неплохо, если бы «мечтатель запрашивал у практичного человека те факты, которые ему нужны». Спор дальше этого не пошел. После смерти Пикеринга в 1919 г. Рессел воздал ему должное, сказав о нем следующее: «...ни кто иной, как Пикеринг, предоставил мне спектральную информацию о звездах с измеренными мною параллаксами — безвозмездный дар молодому и неизвестному ученому, — которая вывела меня на путь, приведший к теории гигантов и карликов. Я думаю, вряд ли найдется более щедрый ученый».

И все же Рессел был непоколебим в том, что астрономия должна изме-

нить направление своего развития. В 1917 г. в одном из своих писем Пикерингу, он отмечал: «Современная астрономия напоминает мне армию, наступающую по двум направлениям — на одном из них ведутся наблюдения, на другом — изучаются основные принципы. Если движение в этих направлениях будет совершаться без постоянного взаимодействия, армия не продвинется вперед». Рессел поставил перед собой задачу возглавить «теоретический фланг» в американской астрономии и превратить его в современную астрофизику.

НЕСМОТЯ на свои намерения, в послевоенные годы Рессел порой «плыл по течению». В 1914—1919 гг. им было опубликовано 26 астрономических статей, тематика которых охватывает 15 различных областей: двойные звезды, орбита Луны, энергия звезд и их эволюция, звездные величины и массы, параллаксы, переменные звезды и др. Хотя эта работа была значительной, она определенно не стала вехой на намеченном Ресселом пути.

Доклад Рессела, представленный в Национальный исследовательский совет в 1917 г., свидетельствует о том, что он понимал, что изучение структуры и эволюции звезд на основе открытий, сделанных Планком, Бором и Эйнштейном, было невозможно без

анализа звездных спектров, вместе с тем Рессел был ограничен в своих попытках идти по такому пути. В то время астрономы могли идентифицировать химические элементы, порождающие некоторые линии излучения

или поглощения лишь путем их сравнения с лабораторными стандартами. Классификация звезд по их спектрам производилась только качественно — по отсутствию или наличию спектральных линий и их интенсивно-

сти. Астрономы имели лишь смутное представление о физических механизмах, определяющих характер линий поглощения и излучения в спектрах. Рессел и другие исследователи признавали, что различия в звездных

12

SCIENTIFIC AMERICAN

July 2, 1921

The Heavens for July, 1921

What a Study of Atoms and Electrons Tells Us of the Stars

By Henry Norris Russell, Ph.D.

IT is becoming more and more evident, as both sciences advance, that the astronomy of the future will be intimately associated with and dependent upon the concepts and the results of physics, and especially of that branch of physics which deals with the constitution and properties of atoms. Our knowledge within the latter field has been very greatly extended within the last decade, and many astronomical observations which before were puzzling have thereby been explained.

This is particularly true in the realm of spectroscopy. The main facts regarding the emission of light by hot bodies, and by hot gases in particular, have been known for many years; but it is only recently that we have even begun to have an idea of the processes taking place inside the atoms of the gas, which are involved.

For example, when the vapor of a given element, such as calcium or iron, is confined in a heated tube or "furnace" and observed through the end of the tube, the spectrum of the light which it emits shows certain bright lines. If the temperature is raised these lines grow stronger and new lines appear in addition. When the same metal is brought into an electric arc (which is hotter, and also subject to direct electrical action), more lines appear; while a yet more advanced stage may be reached by passing a powerful spark, fed by a source of current of high tension, between two bits of the metal; and in the spectrum from this lines may be found which were not to be observed at any of the lower stages of temperature.

Extensive studies have been made of these phenomena, and long lists of "furnace" and "spark" lines compiled, with important astronomical applications. But the physical explanation, from the atomic standpoint, lagged behind, and came only with the application of the modern quantum theory, which has been remarkably successful.

Why Are the Spectral Lines?

We have good reason to believe that an atom of any element consists of a central, and very small, nucleus, carrying a positive electrical charge, surrounded by a number of negatively charged electrons, which under the system of forces acting between them and the nucleus arrange themselves automatically in a definite pattern, probably consisting of several concentric shells or layers, at least in the heavier atoms. In the hydrogen atom there is but one electron; in helium two; in oxygen eight; in sodium eleven; in iron twenty-six; and so on up to 82 for lead and 92 for uranium. The inner electrons are held by very powerful forces, and are hard to dislodge; but a few of the outermost are relatively easy to displace, and it is these which are concerned in the chemical affinity between atoms of different sorts, and also in the production of the radiation of the visible spectrum. To pull one of these electrons away from the rest of the atom, or as it is called to ionize the atom, demands a certain expenditure of energy; and this produces an absorption of light by the gas of which this atom is a part. When some other free electron comes near to the ionized atom, it will be attracted to it (provided it does not go by too fast); and, in falling back, a corresponding amount of energy will be emitted in the form of light radiated by the gas.

Recent research has shown that this is but part of the story. There appear to be many different positions in which the electron can stop, short of being pulled clear away from the atom. The farther out it gets the more energy is required to raise it—the greatest amount of all corresponding to the complete removal of the electron, or the ionization of the atom.

Now when an electron changes from one of these states to another, light is absorbed, if it is pulled up to a "higher level" nearer the outside of the atom, or emitted if it drops to a "lower level"; and this light consists of vibrations at a perfectly definite rate, giving a sharp line in the spectrum. The most remarka-

ble feature remains to be mentioned. The number of light vibrations per second is exactly proportional to the amount of energy which is required to pull the electron up from one position to the other, or is liberated when it comes back. The reason for this famous "quantum relation"—and indeed the reason why the various possible positions for the electron should exist at all—remains still a mystery, which is regarded by the ablest physicists as one of the hardest problems of science. But the fact has been tested in so many ways that no doubt remains.

When the spectra of the elements are studied from this standpoint it is found that the furnace lines correspond (in the case of absorption) to the raising of the electron from the very lowest "level" at which it normally is situated in the undisturbed atom to various higher levels; while the arc lines, in general, correspond to the raising of the electron from one of these higher levels to another. When light is emitted we have to do with an electron falling back over one of the same intervals.

The enhanced lines correspond to still another process. After one electron has been taken clear out of the

stars most of the atoms are completely ionized, and are therefore ready to have a second electron removed, with absorption of the light corresponding to the spark lines. For some elements, such as calcium, this process occurs with relative ease; hence the spark lines of calcium—the great H and K lines in the violet—appear strongly in the sun. Helium on the other hand is the most difficult of all the elements to ionize; and the amount of energy required even to lift an electron from the lowest "level" to the next above is so great that the corresponding light vibrations are exceedingly rapid, and lie so far in the ultra-violet that all ordinarily transparent substances are opaque for them. The visible lines of helium correspond to a lifting of an electron from the second, or even a higher level in one still above, and can only be produced in an atom which has already been violently jostled, as is to throw the electron up to the second "level." This explains why the absorption lines of helium are found only in the very hot stars, like those in Orion. Spark lines of helium, corresponding to the loss of a second electron, are known; but these are found only in a very few stars which, from other evidence as well, we have reason to believe to be the hottest in the heavens.

Many beautiful applications of this theory have recently been worked out by an Indian physicist, Dr. Megh Nad Saha, of the University of Calcutta. Much of the foregoing discussion is adapted from his work, and one more instance of it may be given. The dark lines of sodium are strong in the solar spectrum. Those of potassium are present, but weak. The rare alkali metals, rubidium and caesium, show many strong lines but these do not appear in the sun at all. This has long been a puzzle, but Dr. Saha has given the solution.

Laboratory experiments have shown that it is fairly easy to remove an electron from a sodium atom, easier to get one out of a potassium atom, and still easier for rubidium and caesium. To get a second electron away from any of these atoms, after the first is gone, is however very difficult. Calculation shows that, in the sun's atmosphere, sodium vapor should be largely ionized, with however a considerable percentage remaining non-ionized atoms, which still retain one electron that may be removed by the action of light, with absorption of the well-known sodium lines. For potassium, almost all the atoms are ionized, leaving very few in a position to produce the absorption lines. Rubidium and caesium, still easier to ionize, would be completely ionized, leaving no atoms at all in a position to produce the absorption lines which are so conspicuous under the less extreme conditions of our laboratories. Hence the weakness of the potassium lines, and the absence of those of the other elements, is completely explained.

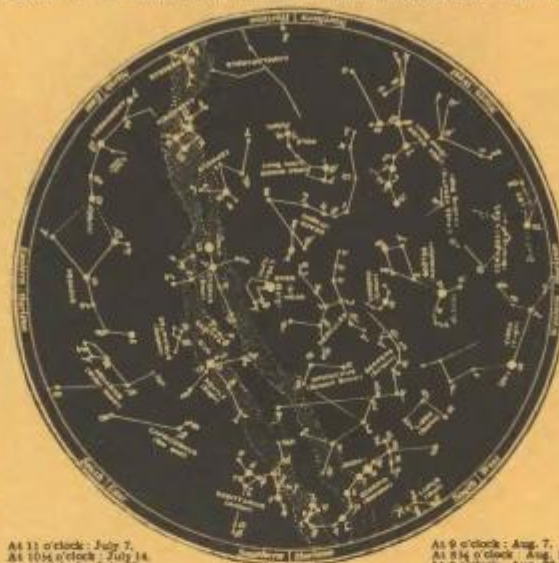
When more laboratory work has been done (largely by electrical methods) on these matters, it probably will be possible to calculate with fair precision the temperatures of the atmospheres of the various types of stars, simply from a knowledge of the degree to which the various sorts of atoms in them are ionized, as indicated by the lines in their spectra.

The Heavens

At our hour of observation Vega is almost overhead. Cygnus is high in the east, and Aquila in the southwest, a little lower. Below it lie Capricornus and Aquarius, and to the right, due south, is Sagittarius, with Scorpio to the west of it, and Ophiuchus above the latter. Bootes is the most conspicuous western constellation, with Corona above it and Hercules almost overhead. Ursa Major is in the northwest, Ursa Minor and Draco in the north, Cassiopeia and Cepheus in the northeast, and Pegasus has just risen in the east.

The Planets

Mercury is an evening star at the beginning of the (Continued on page 18)



The hours given are in Standard Time. When local summer time is in effect, they must be made one hour later: 12 o'clock on July 7, etc.

NIGHT SKY: JULY AND AUGUST

atom, it is often possible, by a greater force, to pull a second electron out, and doubly ionize the atom. In this process too there are various possible "levels" between which the second electron may shift, and a corresponding set of lines, all quite different from the furnace or arc lines. It is even possible that an atom may lose a third or actually a fourth electron, and there is reason to suppose that some spectral lines, produced only in very violent sparks, are of this origin.

What It Means to the Astronomer

With these ideas in mind it is very easy to see why the furnace lines are characteristic of the red stars, like Betelgeuse; the arc lines of yellow stars, like the sun; and the spark lines of very white stars, like Sirius. In the hot atmospheres of the stars, the atoms collide and jostle one another. The red stars are the coolest, and the collisions are the least violent, so that most of the atoms are in their undisturbed condition, and absorb only the flame lines. In the hotter atmospheres of the sun many of the atoms are jostled so that the electrons within them are raised to higher "levels" and are in a position to be raised further, with absorption of the arc lines. Finally, in the still hotter white

температурах были главной причиной различия спектров, а состав звезд — вероятно, лишь вторичной причиной, однако высказывались сильные аргументы против этой точки зрения. В то время еще не существовало убедительного объяснения, почему различия в температуре порождают различные особенности звездных спектров.

Более уверенно астрономы чувствовали себя в объяснении сплошных спектров: непрерывного радужного фона, на который наложены линии излучения или поглощения звезд. Благодаря в основном блестящим колориметрическим экспериментам, проведенным в Германии, существовала некоторая уверенность, что количественный показатель звездного излучения в заданном диапазоне длин волн (колор-индекс звезды) имеет некоторое отношение к известному спектру Планка для абсолютно черного тела, т. е. спектром теоретического объекта, чья излучательная способность зависит лишь от температуры. Однако эта связь была еще недостаточно установленной; кроме того, многие звезды, казалось, ведут себя вовсе не как абсолютно черное тело.

Рессел не был единственным, кто осознавал необходимость более глубокого изучения звездных спектров. В Великобритании эту точку зрения разделял главный «напарник» Рессела — Артур Стэнли Эддингтон, проводивший исследования в Кембриджском университете. Формула Планка позволяет подсчитать поверхностную яркость объекта, т. е. количество излучения, испускаемого единичной площадью объекта в единичном телесном угле. Чтобы показать, что звезда ведет себя как абсолютно черное тело, необходимо знать соответствующий ей телесный угол или ее видимый диаметр. И наоборот, если допустить, что звезда ведет себя как абсолютно черное тело и известна ее поверхностная яркость, то можно подсчитать ее видимый диаметр.

В 1920 г. Эддингтон в своем президентском обращении к Ассоциации содействия развитию науки в Великобритании отмечал, что «в наши дни, вероятно, самой настоятельной потребностью звездной астрономии, удовлетворение которой дало бы нам возможность убедиться, что наши теоретические изыскания начались с верных позиций, являются средства измерения видимого углового диа-

метра звезд». Эддингтоном была затем оценена температура и поверхностная яркость Бетельгейзе по ее колор-индексу: он показал, что если бы она вела себя как абсолютно черное тело, то соответствующая ей дуга равнялась бы $0,051''$ или $1/36\,000$ углового диаметра Луны.

Вскоре эта оценка была подтверждена. Эддингтону и Ресселу было известно, что в обсерватории Маунт-Вилсон под руководством Альберта Абрахама Майкельсона строится принципиально новый астрономический инструмент — 20-футовый оптический интерферометр, который будет установлен на новом 100-дюймовом телескопе Хукера (см. рисунок на с. 73). Интерферометр давал возможность измерять малое разделение двойных звезд и даже угловой диаметр звезд. Хейл, работавший в то время в Пасадене, прочитав в журнале "Nature" (за 2 сентября 1920 г.) обращение Эддингтона, тут же написал Майкельсону, что наконец-то у них есть приемлемое теоретическое предсказание углового диаметра одной из звезд. В декабре интерферометр Майкельсона был введен в действие и вскоре с помощью него предсказание Эддингтона подтвердилось. Это было первым подтверждением средством наблюдательной астрономии, что поведение звезд действительно согласуется с законами современной физики.

Рессел также теоретически вычислил диаметр Бетельгейзе; его результаты, опубликованные в конце декабря 1920 г., не намного отличались от наблюдаемой величины, однако предсказание Эддингтона было ближе к ней. Хотя позже Майкельсон по достоинству оценил предсказание Рессела, сам Рессел уже понимал из этого эпизода, что в астрономии будущего центральная роль будет принадлежать методам Кембриджской школы, занимавшей передовые позиции в применении достижений теоретической физики в изучении звезд.

В ДЕКАБРЕ 1920 г. произошло событие, изменившее многое. В тот месяц Ресселу попал в руки октябрьский номер журнала "Philosophical Magazine", содержащий статью Мегнады Н. Саха — мало известного молодого физика из Калькутты. В своей работе Саха связал ионизирующий потенциал химического элемента (энергию, необходимую для высвобождения электрона из ядра) и степень его ионизации с температурой и давлением окружающей среды. Рессел сразу понял, что подход Саха является главным ключом к спектрам

звезд, который он искал. В своем письме к Уолтеру С. Адамсу, одному из своих коллег в обсерватории Маунт-Вилсон, Рессел отмечал: «Я думаю, что через несколько лет мы сможем использовать наши знания об ионизирующих потенциалах для вычисления температуры атмосфер звезд по спектроскопическим данным».

Используя боровскую модель атома, Саха применил концепции термодинамического равновесия и термической ионизации к атмосферам звезд. Согласно модели Бора, при столкновении фотона с атомом может происходить переход электрона с одного энергетического уровня на другой, фотон при этом поглощается. В обратном процессе, при переходе электрона на более низкий уровень происходит излучение фотона. Саха пришел к выводу, что вышеуказанные концепции можно применить для объяснения поведения атомов в атмосферах звезд. В частности, он показал, почему спектральные линии данного элемента сильнее при одних температурах и слабее при других.

Например, когда температура атмосферы звезды намного ниже 4000 К, в большинстве атомов водорода электроны находятся на низшем энергетическом уровне. (Такие звезды относятся к классам К и М в известной Гарвардской классификации — О, В, А, F, G, K, M, в которой звезды класса О — самые «голубые», а класса М — самые «красные».) Фотоны не способны вызывать переход между более высокими энергетическими уровнями и поглощаться в этом процессе. В результате в спектре будут отсутствовать линии поглощения, соответствующие переходам между более высокими уровнями. При температуре около 10 000 К происходят переходы между этими уровнями, и в оптическом диапазоне преобладают линии поглощения («серии Бальмера»). В значительно более горячих звездах (класс А) большая часть атомов водорода ионизована или находится в сильно возбужденном состоянии, и все переходы совершаются за верхней границей оптического диапазона, поэтому линии поглощения водорода вновь становятся слабыми. Высокое давление приводит к уменьшению степени ионизации, поэтому давление атмосферы звезды также влияет на вид ее спектров поглощения и излучения.

Вскоре Саха, находясь по-прежнему в Калькутте, опубликовал еще две статьи. Затем он отправился в Англию, надеясь поработать в Кембридже, но встретил дружеское отношение лишь со стороны Альфреда Фау-



МЕГНАД Н. САХА родился в 1893 г. в Восточной Бенгалии (ныне Бангладеш) в семье лавочника. В нем рано проявились способности к математике и физике. В 1918 г. Калькуттский университет, который он закончил, присудил ему степень доктора наук. Вскоре после этого Саха занялся решением астрофизических проблем, используя свои познания в термодинамике и квантовой механике. В статьях, написанных в 1919—1921 гг. в Калькутте и Великобритании, Саха применил понятие термоионизации в исследовании атмосфер звезд и проложил путь к изучению звездных спектров. Эти его работы некоторые считают началом современной астрофизики.

Несмотря на важность работ Сахи, он не был приглашен его американскими и европейскими коллегами для совместного дальнейшего развития его теории. Саха вернулся в Индию в Калькуттский университет, но вскоре получил должность профессора физики в Университете Аллахабада. В последующие 20 лет он играл одну из главных ролей в создании Индийского Национального института наук, Индийского физического общества и Индийской организации научных новостей. После возвращения в Калькуттский университет в 1938 г. он основал Институт ядерной физики и настаивал на необходимости создания системы национального планирования на научной основе. В 1951 г. Саха был избран в Индийский парламент как независимый его член и оставался им до своей смерти в 1956 г.

лера из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне. Свою четвертую статью Саха опубликовал после того, как он стал работать в лаборатории Фаулера. В ней он показал, что классификация O, B, A, F, G, K, M представляла не только последовательность колор-индексов звезд от синего до красного, но и последовательность абсолютных температур, причем класс O соответствовал самым горячим, а класс M — самым холодным звездам.

Находясь в Лондоне, Саха как-то с сожалением заметил: «У нас практически нет лабораторных данных, которыми мы могли бы руководствоваться». Рессел также осознавал острую необходимость в надежных данных спектрального и ионизационного анализа, но в отличие от Сахи он знал, где достать их — у Джорджа Хейла, в обсерватории Маунт-Вилсон.

УЖЕ в своем декабрьском письме Адамсу Рессел наметил пути, позволяющие использовать открытие Сахи. Адамс уже давно предполагал, что различия в давлении в атмосферах звезд могут влиять на вид звездных спектров. Его собственный метод спектроскопических параллакс, который он разработал совместно с Антоном Кольшюттером и в котором некоторые спектральные особенности могут служить показателями расстояния, лишь «намекнул» на роль давления в формировании спектров звезд. Теория же Сахи поставила этот метод на прочную теоретическую основу. Рессел обратил на это внимание Адамса и посоветовал ему воспользоваться его же огромным «запасом» звездных спектров, накопленным в Маунт-Вилсоне, при этом он предложил Адамсу попытаться обнаружить молекулярный водород в атмосфере очень холодных звезд.

Следующим летом Рессел сам приехал на Маунт-Вилсон с тем, чтобы совместно с другими исследователями попробовать применить теорию Сахи к объяснению звездных спектров. На Маунт-Вилсоне он провел все лето. В течение последующих двух десятилетий Рессел оставлял Принстон один, иногда два раза в год и отправлялся в Пасадену работать в отделе, где хранились спектры, полученные в обсерватории Маунт-Вилсон. По пути он часто останавливался в других обсерваториях, где давал консультации, добывал для себя спектроскопические данные и читал лекции по широкому кругу вопросов. Хотя Рессел продолжал заниматься многим из того, над чем работал раньше, например изучением двойных и переменных

звезд, новую свою цель он видел в создании теории звездных спектров. Во время своего первого пребывания летом на Маунт-Вилсоне он сказал на одной из своих лекций, что теория Сахи «дала возможность астрономам, физикам и химикам построить атомную модель излучения и поглощения». К тому времени Рессел уже использовал спектроскопию Солнца на обсерватории Маунт-Вилсон, с тем чтобы показать, что некоторые предсказания Сахи были верными и что его теория в целом способна объяснить поведение элементов в солнечной атмосфере. Рессел отмечал: «Это лишь единственный пример огромных возможностей, которые открывает новая область исследований. Даже для оценки этих возможностей предстоит выполнить большую работу; астрономы, физики и химики должны объединить свои усилия в этом направлении... Без излишней самоуверенности можно предположить, что через несколько лет ученые будут располагать теорией звездных спектров и намного продвинутся вперед в изучении строения атомов».

Рессел не был единственным, кто видел эти возможности. Саха продолжал работать над своей теорией и нуждался в поддержке — в одном из своих писем Хейлу он попросил предоставить ему те же данные, что были в распоряжении Рессела. В то же время исследователи из Великобритании Ральф Х. Фаулер и Артур Милн также поняли потенциальное значение работы Сахи. В течение следующих нескольких лет они работали над завершением его теории. Фаулер и Милн обратили внимание на то, что формула Сахи для описания спектральных Гарвардских классов как последовательности абсолютных температур не учитывала должным образом тот факт, что атмосфера звезды состоит из более чем одного элемента, и внесли необходимые коррективы. Кроме того, они более четко определили роль давления.

Теория Сахи легла в основу работ многих других исследователей, однако наиболее «массированное наступление» на звездные спектры было предпринято на Маунт-Вилсоне под руководством Рессела и Хейла. Рессел сам ответил на письмо Сахи, оказав тем самым любезность Хейлу, в котором он обрисовал планы работ на Маунт-Вилсоне. Он заверил Саху, что они намерены следовать его путем. Однако сам Саха не был приглашен присоединиться к ним.

ВСКОРЕ после проверки предсказаний Сахи Рессел пошел в том же направлении, что Фаулер и Милн с

целью доработки самой теории, в частности чтобы попытаться объяснить спектральные аномалии, неучитенные в первоначальном варианте теории Сахи. Поначалу предстояло найти ответы на следующие вопросы: чем объясняется неожиданное поведение бария и почему во всех спектрах звезд обнаруживается водород?

Рессел установил, что барий был гораздо сильнее ионизован, чем натрий в солнечном спектре, что выглядело весьма странно, поскольку два этих элемента имеют одинаковый потенциал ионизации. В поисках решения этой проблемы Рессел погрузился в теорию, чтобы классифицировать спектры щелочноземельных металлов, к которым относится барий.

Щелочноземельные металлы отличаются своей двухвалентностью, т. е. тем, что имеют на внешней орбите не один, а два электрона. Вместе с Саундерсом Рессел построил уточненную модель структуры атомов, согласно которой в генерировании спектральных линий участвовали два электрона. Правила двухэлектронного взаимодействия, выведенные в этой совместной работе, в настоящее время известны как метод связи Рессела — Саундерса. С его помощью были объяснены спектры бария и щелочноземельных металлов. Еще не окончив эту работу, Рессел предпринял следующий шаг — исследовал спектры трехвалентных атомов. Он выбрал титан и вывел еще одно правило перехода. Рессел был в восторге — его методы раскрывали секреты звезд, а звездные спектры могли теперь служить также инструментом для более глубокого проникновения в тайны атомов.

Хотя работа Рессела по изучению особенностей спектров бария и титана увенчалась успехом, проблема водорода не давала ему покоя. В то время астрономы полагали, что ни один из элементов не преобладает в атмосферах звезд, которые рассматривались как газообразные смеси в основном тяжелых элементов — в частности железа. Кроме того, теория строения звезд Эддингтона требовала, чтобы средний молекулярный вес газа на много превышал молекулярный вес водорода. Тем не менее водород обнаруживался практически во всех звездных спектрах.

В поиске решения этой проблемы Рессел и астрономы из обсерватории Маунт-Вилсон решили перекалибровать длины волн солнечного спектра по лабораторным стандартам. В Принстоне Рессел и его бессменный ассистент Шарлотта И. Мур произвели калибровку интенсивности линий солнечного спектра в соответствии с

новой теорией, разработанной Ресселом и другими астрономами. В результате интенсивность различных линий была выражена через относительные концентрации элементов в солнечной атмосфере.

Однако проблема водорода оставалась нерешенной. Несмотря на спектроскопические данные, Рессел скептически относился к тому, что водород преобладает в атмосфере всех звезд. Вскоре он посылает Мензела в Гарвард с тем, чтобы тот проанализировал гарвардскую коллекцию звездных спектров. К тому времени относится приезд в обсерваторию Принстонского университета молодого астронома Сесилии Пейн, недавно окончившей Кембриджский университет в Великобритании (директором обсерватории этого университета был Эддингтон) и вооруженной идеями Фаулера и Милна. Она также намеревалась исследовать атомную структуру, используя гарвардские спектры, и научиться определять присутствие элементов в атмосфере звезд лучше, чем это делал Саха. Пейн удалось осуществить задуманное и результаты ее работы сохранились в знаменитой докторской диссертации, написанной ею в 1925 г., где она первая пришла к выводу, что водород — самый распространенный элемент в атмосферах звезд.

Вывод Пейн был принят не сразу. Он угрожал теории строения звезд Эддингтона, и Рессел попытался убедить Пейн, что ее результаты немислимы. В опубликованном варианте своей диссертации Пейн последовала «указаниям» Рессела, хотя втайне считала свой вывод верным.

Тем не менее проблема избыточности водорода возникала снова и снова. Рессел продолжал утверждать до 1928 г. включительно, что такой проблемы не существует, несмотря на то, что многие из его коллег стали склоняться к тому, что первоначальный вывод Пейн был все же верным. Рессел мобилизовал все силы, имевшиеся в его распоряжении в Принстонском университете и на Маунт-Вилсоне, для окончательного решения этой проблемы. Наконец в своей блестящей статье, написанной в 1929 г. (о которой сам Рессел говорил, что это была предпринятая им «разведка новой местности»), он объединил все спектроскопические данные, собранные совместно с Муром, и сделал вывод, что атмосферы звезд действительно состоят главным образом из водорода.

ВТОТ период Ресселу стало известно, что Альбрехт Унзольд — ученик физика-теоретика Арнольда Зоммерфельда, прекрасно владеющий ме-

тодами квантовой теории, — смог «извлечь информацию» об абсолютной избыточности водорода в атмосфере звезд по профилям спектральных линий — подход, который сам Рессел никогда прежде не пытался применить. Унзольд также подтвердил, что атмосфера звезд состоит главным образом из водорода, и Рессел понимал, что метод молодого немца был гораздо более эффективным, чем его собственный.

Работа Унзольда, столь успешно применившего квантовую теорию, была предвестником будущих методов изучения атмосфер звезд. Унзольд и многие другие ученые Европы уточнили первую грубую оценку относительного содержания элементов в солнечной атмосфере, полученную Ресселом. Хотя Рессел был рад, что результаты его работы обрели более точную форму, он понимал, что лидерство перешло к «квантовым механикам». Даже в середине 20-х годов, когда Рессел был занят разработкой теории мультиплетных спектров, Зоммерфельд, Х. Хёкел и Р. де Л. Крониг уже «шли по горячим следам» и опередили его в публикации своих результатов.

Участвуя в этих состязаниях, Рессел убедился, что в Европе уже целая армия физиков занимается изучением атомных структур. Он видел, что они имели численное превосходство и значительно дальше продвинулись вперед. Частично это поражение объясняется неприятием нового направления развития физики. Рессел не чувствовал себя уверенным в сложном математическом мире квантовой механики и предпочитал работать с тем, что он называл «астрономической моделью атома Бора, не идя при этом дальше понятия «спин». И много позже, как и Макс Борн, Рессел по-прежнему называл принцип неопределенности Гейзенберга «принципом ограниченной измеримости». С сомнением относился Рессел и к идее корпускулярно-волнового дуализма, хотя с готовностью применял каждую из двух моделей для решения «практических задач».

В конце 20-х годов Рессел решил уступить место другим в определении пути развития теории. Он продолжал восхищаться действенностью и всеобщностью модели атома Бора и ее способностью приводить к правилам для вычисления атомных спектров. Вместе со многими другими физиками-спектроскопистами своего поколения Рессел довольствовался решением задачи — как применить модель атома Бора к спектрам, с тем чтобы изучать, как устроены атомы.

Ресселу принадлежит роль пионера в астрофизике в том смысле, что он

был одним из тех, кто указал путь, которым следует идти. Он был переходной фигурой, которая никогда не совершала сама переход полностью. Это сделали его ученики, перенявшие многое от своего учителя. К ним относятся такие известные в астрономии имена, как Спитцер и Мензел, а также те, кого они сами учили.

Учитывая ту роль, которую Рессел сыграл в астрономии, Шепли присвоил ему титул «Главы американских астрономов». В Ресселе сочетались два классических типа ученых — одному из них была свойственна глубина познания, другому — масштабность. Он понимал необходимость проведения систематических астрономических наблюдений, но в то же время, без должного теоретического уровня чувствовал себя неуютно там,

где намечались обширные проекты. Сквозь завесу неопределенности Рессел умел различать перспективные направления исследований. Как однажды заметила Сесилия Пейн-Гапошкин в конце своей жизни: «Рессел умел отличить стоящую вещь». Благодаря этой своей особенности, а также способности вызывать у других интерес к проведению систематических исследований, основываясь на теории, Рессел обрел широкую известность. В обзоре астрономов, опубликованном в 1946 г., Рессел упоминается чаще всего как прекрасный учитель, умеющий заинтересовать учеников; его работы цитировались в среднем 50 раз в год в 60-х и 70-х годах, т. е. спустя много времени после его смерти в 1957 г., последовавшей на 79 году жизни.

Наука и общество

Космическая загадка

БОЛЕЕ 20 лет назад американские и советские спутники, с помощью которых контролировалось соблюдение договоров о ядерных испытаниях, впервые зарегистрировали в космосе мощные всплески гамма-излучения. С тех пор таких всплесков длительностью от долей секунды до нескольких минут зарегистрировано около 1000 по всем участкам неба. Ни один из этих всплесков ранее не связывали с каким-либо конкретным объектом. Астрономы считали, что источники этого излучения находятся в Млечном Пути или далеко за его пределами.

В настоящее время две группы ученых обнаружили в нашей Галактике объекты с сильным магнитным полем, которые, вероятно, могут быть источником обнаруженных гамма-всплесков или по крайней мере большей части из них. Одна группа под руководством Д. Лэмба-младшего из Чикагского университета и Э. Фенимора из Лос-Аламосской национальной лаборатории пришла к такому выводу на основании данных наблюдений гамма-всплеска, проведенных с высоким разрешением японским спутником "Ginga" в прошлом году. Его спектр включал не только гамма-, но и рентгеновское излучение. Обычный рентгеновский спектр указывал на то, что это излучение было рассеяно циклотронным излучением, которое возникает при ускорении заряженных частиц магнитным полем. По меньшей мере 20% всех всплесков имеют примерно такой же спектр рентгеновского излучения.

Сравнив полученные данные с результатами моделирования на компьютере, Лэмб и его коллеги сделали вывод, что гамма-всплеск, зарегистрированный спутником "Ginga", по всей вероятности, «зародился» в магнитном поле, в триллион с лишним раз более сильном, чем магнитное поле Земли. По мнению Лэмба, только нейтронная звезда, образующаяся при коллапсе обычной звезды, может создавать такое сильное магнитное поле. Высказывалось также предположение о действии неких «пусковых» механизмов, подобных термоядерному «пожару» на поверхности нейтронной звезды или мощным «толчком» в ее недрах, но Лэмб называет эти идеи гипотетическими.

Ученые второй группы, возглавляемые М. Боэром из Центра по изучению космических излучений в Тулузе, дали более точное объяснение небольшому числу нескольких зарегистрированных гамма-всплесков. Большинство таких всплесков является синглетами (они «вспыхивают» лишь однажды в определенном участке неба и больше там уже никогда не появляются), но были обнаружены три так называемые «повторяющиеся» гамма-всплески. Они намного «мягче», т. е. энергия их излучения ниже «классических» всплесков.

В статье, опубликованной в журнале "Nature", Боэр и его коллеги отмечают, что спектр повторяющихся всплесков напоминает спектр излучения, испускаемого веществом, падающим на белый карлик, обладающий сильным магнитным полем. Ученые полагают, что эти всплески начина-

ются, когда вблизи белого карлика проходит комета и она распадается на части; каждый раз, когда кусок кометы направляется к звезде, он испускает поток гамма-лучей.

Б. Пажинский из Принстонского университета считает, что оба эти предположения интересны, но в то же время они неопределенны, поскольку основаны на результатах анализа небольшого числа событий. «Всплески гамма-излучения, — замечает Пажинский, — настоящий зоопарк явлений». Он предполагает, что планируемый НАСА в следующем году запуск космической обсерватории Gamma Ray Observatory поможет навести порядок в этом «зоопарке».

Наука служит гурманам

ПРЕДСТАВЬТЕ себе такую картину: прохладный зимний день на юге Франции, под ногами шуршат листья, ветки дубов скрипят на ветру, вы ведете на поводке свинью, которая рвется вперед и рыщет носом по земле, вынюхивая трюфели из корней деревьев. В течение столетий гурманы прибегали к такому способу поиска этих пикантных грибов. Теперь все проще: трюфели выращивают на фабриках. Одна французская компания производит искусственное «трюфельное» масло, которое имеет аромат грибов, а два предпринимателя из Калифорнии разводят трюфели в помещениях.

Хотя *Tuber melanosporum*, или черный трюфель, по своему происхождению столь же зауряден, как каштановый грибок и плесень, из которой когда-то был выделен пенициллин, он считается «изюминкой» кулинарии. По мнению Д. Келлоуэя, шеф-повара Американского кулинарного института, слова не в состоянии передать нежный вкус этого гриба. (Впрочем, особый аромат привлекателен и для тех, кто не отличается изысканным вкусом: свиньям-самкам он напоминает запах боровов.) Что касается цен на трюфели, то они тоже вне конкуренции: в Нью-Йорке баночка черных трюфелей весом четыре унции (около 120 г) стоит 60 долл.

Для истинных гурманов уменьшающиеся урожаи трюфелей — настоящая беда. Своего нормального размера (3—5 см в диаметре), трюфели достигают через семь лет, а произрастают они лишь в нескольких районах Франции, Италии и Испании. Если в 1925 г. годовой урожай трюфелей составлял 450 т, то в 1986 г. он упал до 20 т. Причина этого, возможно, лежит в уменьшении количества дубов, в корнях которых преимущественно растут грибы.

На помощь кулинарии пришла наука. Тьерри Талу, химик из отделения сельскохозяйственных ресурсов Национального политехнического института в Тулузе, в этом году заканчивает докторскую диссертацию по трюфелям. По предложению французской фирмы Rébeuge Ltd., основного поставщика трюфелей на внешний рынок, Талу последние несколько лет пытался выявить летучие составляющие аромата трюфелей. Для этого он использовал метод газовой хроматографии. По словам Талу, в аромате зрелого трюфеля присутствуют по меньшей мере 14 составляющих, в то время как характерный запах некоторых фруктов и овощей создается всего одной составляющей. Одним из основных среди этих 14 ароматических компонентов является диметилсульфид. Смешав выделенные составляющие с растительным маслом, Талу удалось воспроизвести аромат трюфелей.

Насколько близок запах этого масла к аромату трюфелей? Что касается химических составов масла и вещества, определяющего специфический запах гриба, то, как отмечает Талу, они близки. Трюфельное масло дегустировали лучшие французские повара, которые заверили Талу, что оно «превосходно имитирует аромат знаменитых черных трюфелей». Однако более строгим тестом следует считать полевые испытания. «Обученные собаки находили закопанные в почву пахучие образцы с тем же успехом, что и настоящие трюфели», — сообщил Талу. (Два года назад Талу пытался использовать для поиска трюфелей вместо животных портативные газовые детекторы. Этот прибор состоит из вакуумного насоса и пламенно-ионизационного детектора. Хотя прибор легко улавливал наличие грибов на открытой поверхности, обна-

рживать их в земле он не мог; собака же в том же месте находила по три гриба. Поэтому Талу больше доверяет испытаниям с животными.)

Вместе с тем, как заявил М. Шифрин, находящийся сейчас на пенсии иммунолог из Калифорнии, существуют и другие способы создать аромат трюфелей. Последние 30 лет Шифрин посвящал свое свободное время изучению спор этих грибов. Несколько лет назад ему удалось создать питательную среду, благоприятную для роста трюфелей в чашке Петри. С помощью Р. Дориана, занимавшегося ранее исследованиями в области биотехнологии, Шифрин добился урожая около 60 фунтов (27 кг) в неделю. Однако, поскольку Шифрин собирает трюфели в возрасте одного года, они гораздо меньше своих диких собратьев. Поэтому он продает трюфельное масло, пасту, муку и сок, но не свежие трюфели.

Год назад продукция Шифрина под названием «Ла Трюфф» стала поступать на американский рынок. Дочерняя фирма компании Rébeuge с прошлого года начала поставлять в европейские рестораны «искусственный аромат трюфелей» по рецепту Талу. Хотя оба исследователя утверждают, что потребителям их продукты пришлись по вкусу, нельзя сказать, что все обстоит благополучно. Как отмечает Талу, ссылаясь на мнение дегустаторов, искусственный аромат «составляет» лишь 75—80% вкуса продукта. Что касается калифорнийских трюфелей, то, по словам Талу, во Франции продукт «Ла Трюфф» должен быть подвергнут проверке на соответствие строгим стандартным нормам (одна из которых предусматривает ограничение на количество спор в продукте), прежде чем он получит право именоваться «трюфелями».



ЧЕРНЫЕ ТРЮФЕЛИ растут под землей, обычно у корней дубов. Их собирают зимой с помощью специально обученных собак и свиней. (Фотография публикуется с разрешения компании Rébeuge Ltd.).

Как изготовить голограмму в домашних условиях



ДЖИРЛ УОЛКЕР

ГОЛОГРАММА — это разновидность фотоснимка, но в отличие от обычной фотографии она создает иллюзию глубины, а также позволяет видеть изображаемый объект в разных ракурсах. Изображение может быть настолько реалистичным, что кажется, будто перед вами сам объект. Есть несколько способов изготовить голограмму, и во всех случаях пленка освещается в течение нескольких секунд лазерным лучом, отраженным от объекта. Многие из этих методов весьма «чувствительны» к сотрясениям аппаратуры при длительной экспозиции, поэтому специалистам, занимающимся изготовлением голограмм, приходится принимать различные меры, чтобы защитить аппаратуру от вибраций.

Недавно Роулэнд М. Бэгби из Университета шт. Теннесси и Лори Райт из Истменской стоматологической клиники в Лондоне прислали мне описание метода, позволяющего делать голограммы, не обращая внимания на вибрации. Используемое ими устройство было сконструировано Райтом и покойным Брайаном Кином из Королевской клиники графства Сассекс в Англии, а впоследствии усовершенствовано Бэгби. Оно основано на методе изготовления голограмм, изобретенном в 1962 г. советским ученым Ю.Н. Денисюком. Аппарат настолько компактен и прочен, а метод настолько нечувствителен к вибрациям,

что Бэгби может погрузить все устройство в свою машину, поехать в местную школу, и, установив его на обыкновенном столе, приступить к изготовлению голограмм за считанные минуты. Кроме того, эти голограммы можно рассматривать не только при освещении их лазером, но и в белом свете лампы накаливания.

Чтобы оценить метод Денисюка по достоинству, надо понять основные принципы голографии. Создаваемая голограммой иллюзия трехмерного изображения объекта объясняется тем, что голограмма представляет собой «отпечаток» интерференционной картины, формируемой двумя световыми пучками. Один пучок, называемый объектным, отражается от объекта, а другой — опорный — не испытывает отражения.

Пучки должны идти от одного источника (в качестве него используется лазер), чтобы к тому моменту, когда они достигнут фотопленки, между ними существовала фиксированная разность фаз. Фаза определяет «состояние» световой волны, проходящей через выбранную точку. Волна находится в одной фазе, когда проходит ее «гребень», и в противоположной фазе, когда проходит ее «подкова». Если через точку проходят две волны с одной и той же длиной, то разность их фаз является мерой того, насколько близки их состояния: говорят, что волны в фазе, если они нахо-

дятся в одинаковом состоянии, и в противофазе, если они находятся в противоположных состояниях.

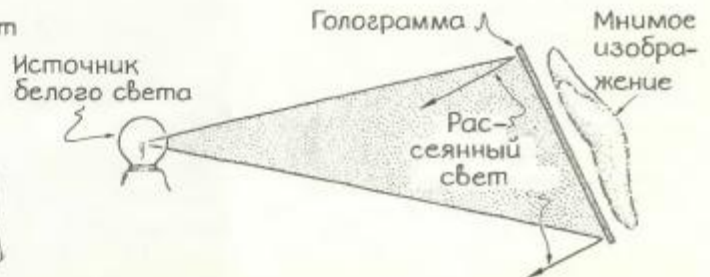
Когда волны полностью совпадают по фазе, говорят, что они интерферируют конструктивно; при этом место их встречи ярко освещено благодаря совмещению гребней с гребнями и подошв с подошвами. Когда волны находятся в противофазе, они интерферируют деструктивно, и из-за полного их несовпадения та точка, где они встречаются, оказывается темной. Если пути волн длинные и непрерывные, разность фаз остается постоянной и уровень освещенности в точке, где они встречаются, также не меняется. Направление, в котором распространяется свет, не имеет значения: пучки могут быть направлены в одну сторону, в противоположные стороны или под углом друг к другу.

В голографии интерференционная картина создается в эмульсионном слое пленки. Когда пучки начинают свой путь, они полностью совпадают по фазе, так как исходят из одного и того же источника. Но поскольку лучи в объектном пучке отражаются от разных точек объекта, на пленке разность фаз меняется от места к месту. В некоторых точках пленки яркий свет активирует зерна серебра, а в других точках из-за отсутствия освещения эти зерна остаются неизменными. Когда пленку проявляют, измененные зерна становятся непрозрачными, а неизменные остаются прозрачными. Пленка, ставшая голограммой, покрыта маленькими темными и прозрачными полосками и представляет собой «отпечаток» исходной интерференционной картины. В некоторых процессах, включая метод Денисюка, пленку отбеливают, чтобы сделать голограмму ярче. Все линии становятся тогда прозрачными, но они различаются по коэффициенту преломления, и поэтому по-прежнему являются отпечатком интерференционной картины.

Если голограмму осветить пучком, идентичным опорному, то свет рассеивается на линиях, превращаясь в по-



Схема изготовления голограмм по методу Денисюка



Как рассматривать голограмму в белом свете

добие объектного пучка. Когда вы смотрите на голограмму под определенным углом и вам в глаза попадает часть рассеянного света, вы видите изображение объекта. Если вы немного сместите направление взгляда, то вам в глаза попадет другая часть рассеянного света и вы увидите объект под другим ракурсом.

Первые голограммы изготавливались без использования лазера, поэтому даваемые ими изображения были мутными и темными. Сегодня голографические изображения получаются ярче и резче благодаря лазерам, более качественной пленке и более совершенным способам ее экспонирования. Обычно лазерный луч расщепляется полупрозрачным зеркалом на два пучка, которые затем последовательно отражаются другими зеркалами и в результате достигают пленки. По пути один из них отражается от объекта и становится объектным пучком. Второй — опорный пучок — направляется на пленку с той же стороны, что и объектный пучок, но по другому пути.

При изготовлении голограмм таким способом установка должна быть защищена от колебаний, чтобы на пленке в течение долгой экспозиции сохранялась неизменная интерференционная картина. Если толкнуть какой-либо элемент на пути объектного или опорного пучков, то разность фаз волн, достигающих каждой точки пленки, изменится и отпечаток интерференционной картины окажется размытым.

Этот метод имеет еще один недостаток: голограммы приходится рассматривать в таком же пучке света, какой применялся при экспонировании пленки. Соответственно голограмму нельзя рассматривать в белом свете лампы накаливания. Это объясняется тем, что рассеяние света на голограмме зависит от длины волны; если имеется много волн разной длины, как в белом свете, то множество картин рассеяния накладывается друг на друга, создавая такую путаницу, что различить ничего нельзя.

Эту проблему можно обойти, если экспонировать пленку так, чтобы готовая голограмма создавала изображение только на одной длине волны. Для этого объектный и опорный пучки направляются на пленку с противоположных сторон; в толстом эмульсионном слое пленки умещается много «слоев» конструктивной и деструктивной интерференции, отстоящих друг от друга на расстоянии, равном половине длины волны. Информацию об объекте по-прежнему несут горизонтальные вариации интерференционной картины, а информация о

длине волны света определяется интервалом между «слоями».

Проявленную пленку освещают пучком белого света, идущим по пути опорного пучка, и рассматривают ее со стороны источника. Хотя на голограмму падает много волн разной длины, в направлении наблюдателя отражается лишь тот свет, длина волны которого совпадает с длиной волны исходного опорного пучка. Такое избирательное рассеяние объясняется тем, что интервал между «слоями» интерференции равен половине длины волны: свет с «нужной» длиной волны претерпевает сильное обратное рассеяние на пленке, а со светом любой другой длины волны этого не происходит.

Рассеяние можно рассматривать как форму отражения, и поэтому голограммы этого вида называются отражательными голограммами. Когда вам в глаза попадает часть рассеянного света, вы воспринимаете изображение, как бы находящееся на дальней стороне голограммы. Это так называемое «мнимое» изображение; оно строится вашей зрительной системой, экстраполирующей попадающие в глаза лучи назад, до их предполагаемой исходной точки. Если поместить на место, где предположительно находится изображение, картонку и посмотреть на нее «напрямую» (не через голограмму), изображение вы не увидите.

Голограмма Денисюка — это отражательная голограмма, но при ее изготовлении свет лазера не расщепляется на два пучка полупрозрачным зеркалом, а расширяется, проходя через одну или две линзы, а затем идет непосредственно сквозь установленную под углом прозрачную фотопленку, достигая объекта, находящегося сразу за пленкой. Часть этого света (объектный пучок) рассеивается назад, попадая на пленку сзади, и интерферирует со светом, падающим на нее спереди (опорным пучком). Проявив пленку, которая превратилась в голограмму, ее можно рассматривать в белом свете, направленном по тому же пути, по которому шел первоначальный лазерный луч. Отметим, кстати, преимущество наклонной ориентации пленки во время экспозиции. Если бы лазерный луч был перпендикулярен пленке, то при рассматривании голограммы источник белого света пришлось бы держать прямо перед лицом, а не в стороне.

Метод Денисюка особенно удобен потому, что на него мало влияет вибрация. Объект и пленка находятся рядом друг с другом: если один из них колеблется, то другой колеблется практически также, и интерференци-

онная картина на пленке почти не изменяется. Если объект поместить дальше от пленки, это преимущество утрачивается, и установку приходится оберегать от колебаний.

Для изготовления голограммы по методу Денисюка можно использовать установку, созданную Райтом и Кини. Она показана на следующей странице, а детали, которые для нее требуются, перечислены в таблице на с. 83 (размеры и форма деталей не являются строго обязательными).

Соберите главную раму устройства из трубок с квадратным сечением, «уголков» и втулок. Соединяя узлы, пользуйтесь резиновым или пластмассовым молотком, но осторожно. Положите раму на лист фанеры и проверьте ее устойчивость; затем прикрепите ее к фанере с помощью Z-образных скоб и шурупов.

U-образная рамка-держатель, на которой должна лежать пленка, изготовляется из трех более коротких трубок. (Рамка будет находиться внутри торцевой грани главной рамы с боковыми зазорами около 3 мм.) К нижней трубке рамки снаружи болтами прикрепите трубку такой же длины. Вставьте эти болты в отверстия, просверленные в обеих трубках; для того чтобы они держались, нарежьте в отверстиях резьбу или затяните болты гайками. Дополнительная трубка образует узкую полку, предназначенную для размещения фотографируемого объекта.

Найдите и отметьте положение оси вращения рамки, соответствующей ее равновесному положению, а затем установите ее вертикально в торце главной рамы примерно в 2 см от нижней трубки. Отметьте положение оси вращения рамки на вертикальных трубках главной рамы, снимите рамку, а затем просверлите отверстия диаметром 6 мм в боковых трубках главной рамы в отмеченных точках. Просверлите такие же отверстия в отмеченных точках в рамке-держателе и нарежьте в них резьбу. Снова вставьте рамку-держатель в торец главной рамы, пропустите через отверстия в раме болты, наденьте на них шайбы, а затем вверните болты в резьбовые отверстия в рамке. Шайб должно быть столько, чтобы рамка могла вращаться на болтах, но, будучи установленной, удерживалась бы в одном положении благодаря трению в шайбах. Вырежьте под размер рамки зеркальное стекло и укрепите его в рамке с помощью резиновой прокладки или иным способом. (Райт сделал одно устройство из дерева.)

Оптическая скамья должна иметь в длину от 30 до 60 см. На скамье устанавливаются два держателя для

штифтов, ввинчиваемых в оправу линз. Можно либо купить имеющиеся в продаже штифты и оправы, либо захватить линзы зажимами, ввинтить зажимы в деревянные шпонки, а затем вставить эти шпонки в держатели штифтов. (Чтобы снизить стоимость устройства, можно сделать оптическую скамью самому.) Линзы должны быть плосковогнутые или двояковогнутые с фокусным расстоянием от -15 до -30 мм. Перед окончательной сборкой фанеру, оптическую скамью и все, что на ней находится, за исключением линз, надо покрасить матовой черной краской, чтобы избежать попадания постороннего света во время экспозиции.

Поставьте всю систему на устойчивый стол. Чтобы уменьшить вибрации, установите ножки стола в банки из-под кофе, частично наполненные каким-нибудь сыпучим материалом (если впоследствии окажется, что вибрации все-таки мешают, возможно, придется поставить стол на надутые автомобильные камеры). Установите скамью и оптические элементы, обрежьте белый лист бумаги по размерам пленки (примерно 10×12 см) и положите бумагу на стекло, вставленное в рамку-держатель, которая должна быть наклонена к линзам. Затем отрегулируйте линзы так, чтобы их

центры были на одной оси с центром бумаги. Включите лазер и отрегулируйте его высоту, а также высоту и положение линз на скамье так, чтобы лазерный луч равномерно освещал бумагу. (Следите за тем, чтобы вам в глаза не попал сам лазерный луч или его яркое отражение.) Отрегулировав положение всех компонентов, закрепите скамью на фанере и отметьте положение держателей штифтов.

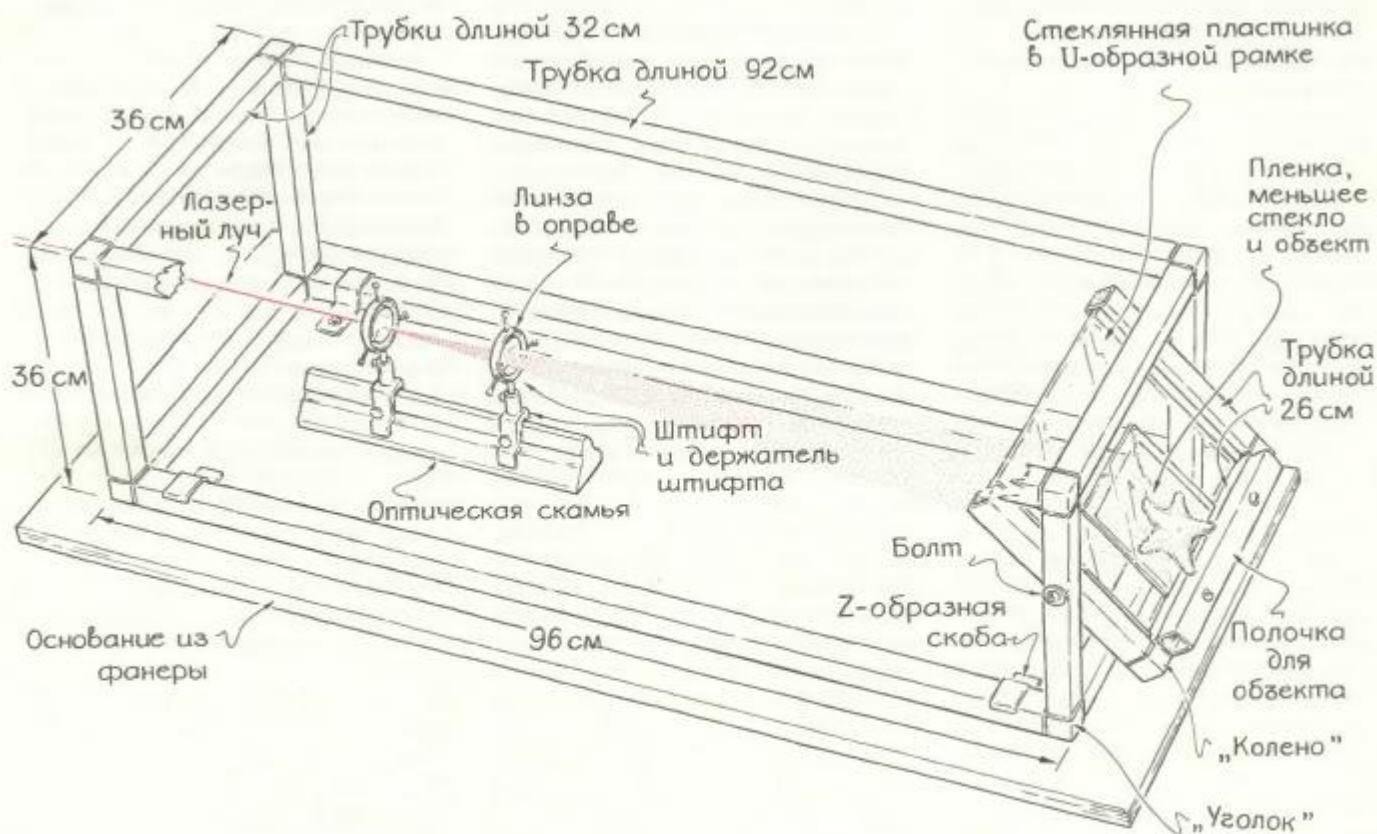
По словам Бэгби и Райта, для опытов можно взять любой гелий-неоновый лазер, но лучше такой, который генерирует поляризованный свет и имеет выходную мощность по меньшей мере 5 мВт (чем слабее лазер, тем дольше должна быть экспозиция, а при длительных экспозициях вибрации в конце концов могут сыграть свою отрицательную роль). Эмульсионный слой должен быть толще 6 мкм, прозрачным для света с обеих сторон и чувствительным к красному свету лазера.

Для обработки пленки потребуются мелкозернистый высококонтрастный проявитель, а также отбеливающая смесь. Если проявитель хранится в прохладном месте в непрозрачной пластмассовой бутылке, им можно пользоваться повторно. Отбеливающий раствор нужен для осветления голограммы: без этого отражатель-

ные голограммы будут темными. Бэгби и Райт прислали рецепты двух отбеливающих смесей. Чтобы приготовить одну из них, надо добавить по 25 г бромистого калия и железосинеродистого калия к 900 мл воды (дистиллированная вода лучше всего), перемешать, пока порошки не растворятся полностью, довести объем воды до 1000 мл, а затем осторожно добавить 10 мл концентрированной серной кислоты. (Все это следует делать в раковине, пустив из крана воду, чтобы вся пролитая кислота разбавлялась до того, как она попадет в трубы. Кроме того, когда вы работаете с отбеливающей смесью, не забывайте надевать защитные очки и лабораторные перчатки.)

Вторая отбеливающая смесь дает еще более светлые голограммы, но зато может изменить цвет изображения. (Если голограмма рассматривается в белом свете, в этом нет ничего страшного, но в исходном свете лазера изображение может быть неясным и вообще не проявиться). Смесь готовят, добавляя 30 г бромистого калия и 30 г сернистого железа к 900 мл воды. Размешав порошки, доведите объем смеси до 1000 мл.

Вам потребуется также некоторое количество абсолютного (100% -ного) метанола, зеленый фонарь и фен для



Установка, построенная Лори Райтом и Брайаном Кини для изготовления голограмм по методу Денисюка

сушки волос, предпочтительно такой, в котором температуру и скорость воздуха можно регулировать по отдельности. Зеленый фонарь позволяет видеть, что происходит при проявке пленки. Метанол служит для быстрого высушивания голограммы (следует соблюдать осторожность: не дышать его парами и не держать вблизи пламени, которое может воспламенить его). Фен используется на этапе окончательной сушки.

Теперь у вас есть все, чтобы изготовить голограмму Денисюка. При выключенном комнатном освещении и включенном лазере еще раз проверьте юстировку, поместив белый лист бумаги на стекло в рамке-держателе, которая должна быть наклонена под углом от 30 до 45° к вертикали. На бумагу положите другое зеркальное стекло, размеры которого должны чуть превышать размеры пленки. Зафиксируйте второе стекло с левого и правого краев липкой лентой, приклеив ее к большому стеклу, а затем вытащите бумагу.

Закройте лазер картонкой, а затем вставьте пленку между двумя стеклами. Эмульсией пленка должна быть обращена к лазеру. Положите фотографируемый объект на верхнее стекло и подождите несколько минут, чтобы дать затухнуть колебаниям. Немного приподнимите картонку, подождите еще 30 с, чтобы затухли новые колебания, и наконец совсем уберите ее, открыв пленку для экспонирования.

Длительность экспозиции зависит от яркости лазерного луча, типа и размеров пленки и отражательной способности объекта, поэтому ее требуется подбирать опытным путем. Если луч от лазера мощностью 5 мВт падает на пленку размером 10 × 12 см и если объект имеет умеренную отражательную способность, требуемое время экспозиции может составить около 5 с. Чтобы прекратить экспозицию, надо снова установить картонку перед лазером. Затем вытащите пленку и поместите ее в светонепроницаемую кассету до проявления.

Проявлять пленку следует только при свете зеленого фонаря. Надев защитные перчатки, погрузите пленку в бачок с проявителем, убедившись, что эмульсионным слоем пленка обращена вверх и не поцарапается о дно бачка. Вращайте пленку в проявителе до тех пор, пока она не станет совсем темной; для этого может потребоваться от 30 с до 2 мин (чтобы определить точное время, вам придется поэкспериментировать). Затем в течение 2 мин прополощите пленку в проточной воде и поместите ее в один из отбеливателей. Если пленка не станет

Черные трубки с квадратным сечением (2×2 см)	<ul style="list-style-type: none"> 4 трубки длиной 92 см 8 трубок длиной 32 см 4 трубки длиной 26 см
Прочие механические детали	<ul style="list-style-type: none"> 8 угловых соединений 2 коленчатых соединения 2 набора втулок 2 резиновые полоски с прорезью длиной 25 см и шириной 0,6 см 4 Z-образных скобы 4 шурупа с круглой головкой длиной 2 см 1 лист фанеры толщиной 2,5 см, размером 43 × 117 см или длиннее 1 зеркальное стекло толщиной 0,6 см, размером 25 × 26 см 2 стеклянные пластины толщиной 0,6 см по размеру пленки 6 стальных шайб с внутренним диаметром 0,6 см 2 стальных болта диаметром 0,6 см и длиной 4–5 см
Оптические детали	<ul style="list-style-type: none"> 1 оптическая скамья 2 оправы линзы 2 держателя штифтов шириной 30 мм 2 винта для установки держателей штифтов 2 плоско-вогнутых или двояковогнутых линзы

Компоненты установки Райта и Кини

вскоре более прозрачной, значит, она была переэкспонирована, перепроявлена или обработана слишком старым отбеливателем.

Если пленка просветляется, снова прополощите ее в течение 2 мин в проточной воде. Если водопроводная вода жесткая, промойте пленку в дистиллированной воде, чтобы смыть с нее соли. Затем осторожно промокните ее мягким бумажным полотенцем, чтобы удалить оставшуюся на ней воду, но не высушивайте. Для завершения сушки погрузите пленку примерно на 2 мин в метанол. (Если в ванночку с метанолом попадет слишком много воды, проявленная голограмма будет темной.) После этой операции все следует делать быстро: выньте пленку, дайте стечь с нее жидкости и положите на мягкое, сухое бумажное полотенце эмульсионным слоем вверх. Осторожно положите еще одно бумажное полотенце на эмульсионный слой и сразу же приступайте к сушке с помощью фена теплым воздухом. (Если есть опасность, что мотор в фене искрит, держите его подальше, чтобы пары метанола не воспламенились.) В результате вы получите голограмму, которую можно рассматривать в белом свете, при условии, что пучок света узок: карманный фонарь или диапроектор подойдут, но флуоресцентная трубка — нет.

Если объект, который вы хотите сфотографировать, не может устойчиво стоять на узкой полке рамки-держателя, можно просто положить его и пленку на зеркальное стекло, установленное горизонтально и на-

крывающее рамку сверху. Стекло должно быть толщиной около 6 мм и размером 30 × 35 см. Чтобы направить лазерный луч на стекло, требуется зеркало размером 20 × 25 см с передней отражающей поверхностью. Наклоните рамку-держатель от лазера, положите на него зеркало и отъюстируйте систему, чтобы свет лазера распределился равномерно по листу бумаги на горизонтальном стекле. Затем подвергните пленку экспонированию, как описано выше.

Почему все голограммы не делают по способу Денисюка? Прежде всего потому, что иллюзия глубины в голограмме Денисюка часто слабее, чем в голограмме, изготовленной методом расщепленного луча. Объясняется это тем, что лазер испускает не одну непрерывную волну, а последовательность волн, каждая из которых не длиннее примерно самого лазера. При смене волн фаза меняется случайным образом, поэтому для согласованной интерференции лучей при экспонировании пленки нужна одна и та же волна. В методе Денисюка волна после рассеяния на некотором участке объекта по существу складывается с собой же, если этот участок близок к пленке. Если же он находится далеко, возвращающаяся часть первой волны встречается с падающей частью другой волны; поскольку разность фаз между этими двумя волнами не фиксирована, интерференция отсутствует. В голограммах Денисюка хорошо «проявляются» близкие точки объекта и плохо — удаленные.

Моделирование эволюции: «букашки» учатся охоте на бактерий



А. К. ДЬЮДНИ

Для тех, кто, подобно мне, не очень силен в математике, компьютер — это могучий друг воображения.

Ричард Докинз,
«Слепой часовой мастер»

НА ИЛИСТОМ дне прудика с стоявшей водой копошатся инфузории, простейшие одноклеточные организмы. Они питаются бактериями, медленно оседающими на дно, подобно моросящему дождю. Внешне все инфузории выглядят одинаково, но в их поведении можно уловить важные различия. Одни движутся хаотично в поисках бактерий, и в результате их добыча скудна, другие передвигаются более целенаправленно, можно сказать, почти методично, и у них пищи в изобилии. Наблюдать такие микромиры — очень увлекательное занятие, однако в данном случае описываемая сцена имеет особое значение: методично движущиеся простейшие произошли от своих безалаберных предков всего лишь час назад!

Как уже, наверное, догадались многие читатели, эту сцену мы наблюдали не в микроскоп, а на экране компьютера. Действие на экране порождается программой «Модель эволюции», которую создал Майкл Пал-

майтер, учитель средней школы из Тэмпл-Сити (шт. Калифорния). Крошечные белые инфузории, которых Палмайтер называет букашками, ползают по экрану, поедая фиолетовых бактерий. По мере того как одно поколение букашек сменяет другое, можно наблюдать, как изменяется их поведение в охоте за бактериями.

Ричард Докинз из Оксфордского университета также пытался проникнуть в тайны эволюции, исследуя программы, в которых он пытается моделировать различные ее аспекты. Одна такая программа, написанная самим Докинзом, была темой нашей статьи, опубликованной немногим более года назад (см. «В мире науки», 1988, № 4). В программе Докинза действующими лицами являются биоморфы — генерируемые компьютером формы, иногда напоминающие живые организмы. Они эволюционируют в процессе искусственного отбора: оператор, работающий с компьютером, произвольным образом выбирает одну из 9 возможных вариаций существующего в данный момент биоморфа в качестве основы для последующих поколений.

Биоморфы, порождаемые программой Докинза, могут принимать весьма причудливые формы (иногда они даже похожи на живые организ-

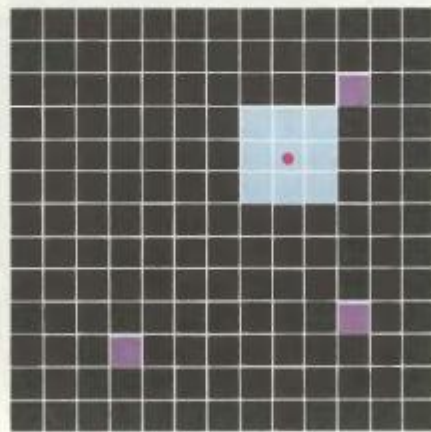
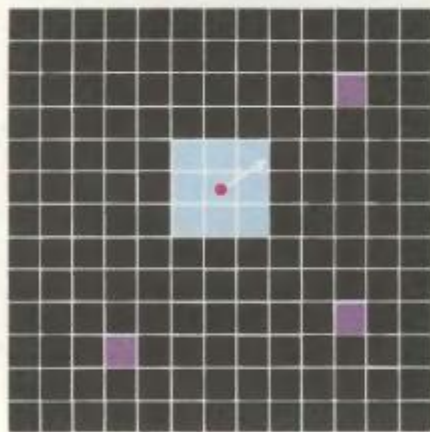
мы), однако о них нельзя сказать, что они являются продуктом естественной эволюции, т. е. внутреннего естественного отбора. И все же Докинз считает, что можно создать компьютерную программу, которая действительно моделировала бы естественный отбор. Генерируемые компьютером «виды», обладающие способностью к «эволюции», могли бы порождать все более сложные формы, многообразие которых ограничивалось бы до разумных пределов механизмом отбора. Более того, выжившие потомки могли бы затем эволюционировать в новых направлениях, совершенно недоступных для их предков.

Одноклеточные букашки Палмайтера, несомненно, являются шагом, приближающим нас к цели, которую поставил перед собой Докинз. Взглянув на рисунок, приведенный на рис. 85, мы видим, что букашки (белые комочки) населяют прямоугольник, в который непрерывно поступают осаждающиеся бактерии (фиолетовые точки). Букашки ведут образ жизни, в котором главную роль играют движение и поедание бактерий. Каждая съеденная бактерия придает букашке 40 единиц энергии, которой хватает на то, чтобы сделать 40 движений. В местах скопления корма букашка может за несколько минут набрать 1500 единиц энергии. Однако сразу после этого начинает действовать странный механизм: сколько бы букашка ни ела, запас ее энергии не увеличивается до тех пор, пока он снова не упадет ниже 1500 единиц.

В то же время может случиться и так, что букашка окажется на голодном пайке в течение достаточно длительного времени. В этом случае запас энергии, которым обладает букашка, может постепенно снизиться до нуля. Букашка замирает на несколько циклов, как бы размышляя о своей близкой кончине, а затем исчезает.

Конечно, для того чтобы букашка всегда была сыта, необходимо, чтобы около нее было относительно большое количество бактерий. Поскольку изначально бактерии распределены на экране более или менее равномерно, интенсивная охота на них в одном месте приводит к тому, что там их становится мало, а в других областях — много. Некоторые букашки, кажется, быстрее других обнаруживают места скопления корма. Здесь все зависит от движений, совершаемых букашкой — так сказать, от ее тактики поиска добычи.

Дарвинистский сценарий программы моделирования эволюции, хотя и носит весьма абстрактную форму, ос-



Букашка совершает повороты относительно направления, в котором она движется

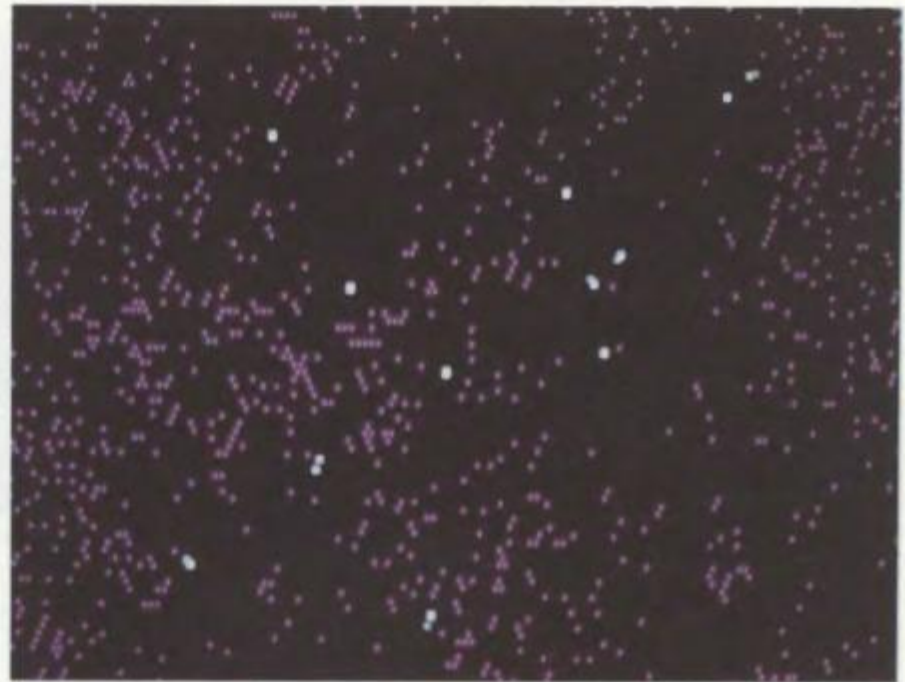
нован на «генах», управляющих поведением букашек. Подобные гены, возможно, не существуют у реальных простейших, у букашек же Палмайтера их шесть. Назовем их *В*, *П*, *СП*, *Н*, *СЛ* и *Л* — соответственно для движений Вперед, наПраво, Сильно наПраво, Назад, Сильно наЛево и наЛево. (Все направления взяты с точки зрения самой букашки. Нормальный угол поворотов составляет 60° в соответствующем направлении, «сильные» повороты составляют 120°.)

Направление каждого нового движения выбирается случайным образом: программа выбирает одно из шести возможных направлений, как бы бросая жребий. Если выпало, к примеру, *Л*, то букашка совершает поворот на 60° влево. Вероятность выпадения того или иного направления зависит от числового значения, присвоенного каждому из шести генов. Таким образом, чем больше значение гена, тем больший вклад этот ген вносит в характер поведения букашки. Если, например, у букашки превалирует ген *Л*, то большую часть времени она будет проводить в движении, направленном в левую сторону.

Каждая из возможных комбинаций числовых значений генов приводит к тому или иному характеру движения, отличному от поведения других букашек. Какие бы гены не были у организма, они останутся неизменными на протяжении всей его жизни. Ему остается лишь надеяться (возможно, это звучит несколько антропоморфно), что у его потомков генный набор окажется более удачным.

После того как букашка совершит 800 движений, она становится «созревшей» и готова к воспроизведению себе подобных. Однако размножаются лишь «сильные» букашки, хранящие под своей белой оболочкой 1000 или более единиц энергии. Например, парамитии размножаются путем так называемой конъюгации (слияния), букашки же размножаются делением: взрослая сильная букашка делится на два организма, каждый из которых обладает половиной энергетического запаса, который имел родительский организм. При этом новорожденные букашки наследуют двигательные гены от родителей, но с небольшими изменениями. Число, соответствующее одному из генов, слегка увеличивается или уменьшается.

Предположим, например, что зрелая сильная букашка обладает следующим генным набором: $V = 3, P = 2, SP = 0, H = -2, SL = 0$ и $L = 1$. Два ее потомка, обозначим их как *A* и *B*, могут унаследовать следующие, подвергнувшиеся мутации наборы генов:



«Трясучки» постепенно эволюционируют в «крейсера»

$$A: V = 4 \quad P = 2 \quad SP = 0 \quad H = -2 \\ SL = 0 \quad L = 1$$

$$B: V = 3 \quad P = 2 \quad SP = 0 \quad H = -2 \\ SL = -1 \quad L = 1$$

Мы видим, таким образом, что у потомка *A* возросло на 1 значение гена *V*, а у потомка *B* уменьшилось на 1 значение *СЛ*.

Как проявится в поведении отличие этих потомков от своих родителей? У потомка *A* будет несколько более выражена тенденция к движению вперед, в то время как потомок *B* будет несколько реже по сравнению со своим родителем совершать сильные движения влево. На экране компьютера такие небольшие изменения тенденций будут едва уловимы даже для тренированного наблюдателя.

В простейшем варианте программа «Модель эволюции» начинается с 10 букашек, наделенных случайно выбранным генетическим набором. В результате большинство из них будет, наверное, снова туда-сюда совершенно непредсказуемым образом. Как правило, букашки с таким хаотичным поведением сравнительно быстро вымирают. Они просто поедают большую часть бактерий в непосредственной окрестности и, продолжая оставаться в ней уже на голодном пайке, погибают. Однако некоторая часть букашек выживает.

Поколения сменяют друг друга приблизительно каждую минуту. Эта борьба за выживание, разворачивающаяся на маленьком экране, представляет собой довольно захватывающее зрелище, но еще интереснее оно ста-

новится, когда через несколько минут наблюдатель начинает замечать, как меняется поведение некоторых букашек. Вместо того, чтобы хаотически сновать туда-сюда, они начинают ритмично подпрыгивать. Затем еще через несколько минут появляются букашки, которые кувыркаются. Приблизительно через 20 минут или немного позже мы увидим планирующих, правда на короткие дистанции, букашек, которые добиваются значительно больших успехов по сравнению со своими предками. Именно по этой причине они буквально на глазах начинают размножаться.

Планирующие букашки в свою очередь сменяются «крейсирующими» — движущимися большую часть времени вперед, но иногда меняющими направление. Это означает, что они почти всегда перемещаются к областям, которые гуще заселены бактериями. Впервые проявившись лишь у нескольких букашек, такое поведение быстро становится доминирующим во всей популяции, поскольку крейсирующим особям достается львиная доля пищи.

Хотя крейсирующие букашки превращаются в своеобразный биологический вид, среди них наблюдаются некоторые вариации. Например, есть такие особи, которые чаще поворачивают вправо, в то время как другие предпочитают левые повороты. Конечно, иногда бывают и неудачи. У некоторых «крейсеров» рождается плохо приспособленное к среде обитания потомство. Чаще всего проявляется передаваемое с генами заболева-



Условия в райском саду (слева) благоприятствуют появлению «вертушек» (справа)

ние, порождающее «вертушек», инфузорий, слишком часто совершающих повороты в одном и том же направлении. Эти несчастные создания обычно погибают, так и не познав радости размножения.

Конечно, интересно наблюдать за эволюцией, завершающейся появлением крейсирующих букашек, но возможности программы Палмайтера этим не исчерпываются. Что, если в среде обитания возникают изменения? Не приведет ли это к возникновению большего количества видов? На этот вопрос можно получить ответ, запустив программу в другом режиме, в котором экран выглядит почти так же, за исключением того, что в левом нижнем углу наблюдается особенно интенсивное сгущение бактерий. Здесь их воспроизводство происходит значительно быстрее, чем в других областях (см. рисунок вверху). Палмайтер называет этот район «райским садом».

Поколения букашек сменяют друг друга, и опять мы видим, как появляется вид крейсеров. Однако в райском саду наблюдается совсем другая картина. Несколько счастливых букашек первого поколения, случайно попавших в богатую бактериями область, были щедро вознаграждены за отсутствие сколько-нибудь упорядоченной тактики поиска добычи. Несмотря на их беспорядочное топтание на месте, пища вокруг них не иссякает.

Однако, когда в конце концов бактерий в райском саду становится все-таки меньше, начинает действовать тонкий механизм естественной регуляции. Топтание на месте становится уже невыгодным. Вот тут и появляются «вертушки». То, что в обычных условиях является катастрофическим дефектом, становится преимуществом в перенаселенном райском саду.

Действительно, через какое-то время эти букашки с сильной склонностью поворачивать в одну и ту же сторону начинают доминировать в популяции, обитающей в райском саду. Дело в том, что букашки, часто совершающие повороты в одном и том же направлении, скажем вправо, в среднем дольше остаются в этой богатой бактериями области, чем их предки.

Через несколько часов большая часть территории райского сада оказывается населенной почти исключительно «высокоспециализированными» представителями рода вертушек. Букашки этой разновидности на протяжении многих циклов следуют определенной замкнутой орбите, затем внезапно сдвигаются на одну ячейку и снова движутся, уже по другой орбите, чисто выметая бактерий после каждого нового сдвига.

Можно ли считать эту программу действительно моделью биологической эволюции? Наверное, лишь в очень ограниченном смысле. Она показывает, как условия окружающей среды могут благоприятствовать определенным вариациям в потомстве, что в конечном итоге приводит к появлению нового вида. Но на этом моделирование и заканчивается. После того как появляются один или два стабильных вида букашек, никаких событий больше не происходит. Что же еще требуется для того, чтобы реализовать мечту Докинза о продолжающейся неопределенно долго эволюции, моделируемой компьютером? По-видимому, ни больше ни меньше, чем целая миниатюрная Вселенная, заключенная в компьютере.

Заинтересовавшиеся американские читатели могут заказать копию программы «Модель эволюции» за 39,95 долл. у компании Life Science Associates, распространяющей обра-

зовательные программы подобного рода. Программа выполняется на IBM PC и совместимых компьютерах и к ней прилагается исчерпывающее руководство. Для тех же, кто уже имеет некоторый опыт программирования и предпочитает написать свою собственную версию «Модели эволюции», я опишу упрощенную программу, которую я назвал BUGS (букашки).

Букашка в программе BUGS может быть представлена маленьким квадратиком на экране, сторона квадрата будет равна 3 пикселям (точечным элементам изображения). Шесть направлений, в которых может двигаться букашка, могут быть такими, как показано на рисунке на с. 84. Простая таблица указывает, как меняются координаты центрального пиксела букашки, в зависимости от направления, в котором она движется. Таблица содержит два массива, каждый из которых имеет по шесть элементов, *xmove* и *ymove*.

<i>dir</i>	0	1	2	3	4	5
<i>xmove</i>	0	2	2	0	-2	-2
<i>ymove</i>	2	1	-1	-2	-1	1

Направление, в котором движется букашка (в пределах компьютерного экрана), определяется значением переменной *dir*. Соответствующие числа в массивах *xmove* и *ymove* указывают, на сколько пикселей, в горизонтальном и вертикальном направлениях, соответственно, букашка должна перемещаться на экране за один акт движения. Если, например, букашка движется в направлении 2, она должна сместиться вправо на два пиксела и вниз на один пиксел, поскольку *xmove*(2) = 2 и *ymove*(2) = -1.

Программа BUGS определяет направление движения для каждого ор-

ганизма согласно формуле, основанной на генетическом коде букашки, который хранится в двумерном массиве *gene*. Элемент *gene* (*k*, *j*) содержит значение *j*-го гена букашки под номером *k*. В этой формуле значения всех генов выступают в роли показателей степени двойки. Это делается для того, чтобы избежать появления отрицательных чисел. Вероятность того, что букашка будет двигаться в направлении *d*, определяется путем деления двойки, возведенной в степень, равную значению гена *d*, на сумму двоек, возведенных в степени, равные значениям всех генов набора. Например, вероятность того, что при следующем акте движения букашка совершит сильный поворот влево, будет равна результату деления $2^{CЛ}$ на сумму $2^В + 2^П + 2^{СП} + 2^Н + 2^{CЛ} + 2^Л$.

Аналогичным образом программа BUGS вычисляет вероятности для всех остальных направлений. Если просуммировать все эти вероятности, результат, естественно, должен быть равен 1. Можно представлять себе вероятности шести актов движения как шесть различных диапазонов, которые вместе целиком заполняют интервал от 0 до 1. Другими словами, если вероятности шести различных направлений движения представлены числами от p_0 до p_5 , то диапазон 0 является интервалом от 0 до p_0 , диапазон 1 — интервалом от p_0 до $p_0 + p_1$, диапазон 2 — интервалом от $p_0 + p_1$ до $p_0 + p_1 + p_2$ и т. д.

На каждом цикле программа BUGS определяет новое значение для направления движения каждой букашки, выбирая случайное число в диапазоне между 0 и 1 в зависимости от того, в какой поддиапазон попало число, и присваивает номер поддиапазона в качестве значения переменной *turn* (поворот). Считается, таким образом, что значение *turn* равно 0 для направления В, 1 для П, 2 для СП, 3 для Н, 4 для СЛ и 5 для Л.

Несколько несложных операторов завершают алгоритм движения:

```
dir = dir + turn (mod 6)
bugx (k) = bugx (k) + xmove (dir)
bugy (k) = bugy (k) + ymove (dir)
```

Элементы массивов *bugx* (*k*) и *bugy* (*k*) содержат координаты *k*-й букашки на данный момент времени.

В первой строчке направление *dir* изменяется путем прибавления результата бросания жребия, зафиксированного в переменной *turn*. Сложение выполняется по модулю. Например, если *dir* = 5 (а это означает, что букашка движется вверх и влево) и *turn* = 2 (т. е. она должна совершить крутой поворот вправо), новое значение *dir* будет $5 + 2 \pmod{6} = 1$, и сле-

дующим движением букашки будет смещение вверх и вправо.

Программа должна перемешать всех букашек согласно этой формуле, проверяя на каждом шаге, не наткнулась ли букашка на стенку или на бактерию. Кроме того, она должна следить за возрастом каждой инфузории и ее энергетическим запасом, чтобы вовремя определить, не подлежит ли букашка уничтожению и можно ли ей уже делиться. Как только букашка оказывается готовой к размножению, программа просто заменяет одну старую букашку двумя новыми, находящимися в точке, где произошло деление. Эти отпрыски наследуют родительский набор генов, за исключением того, что значение случайно выбранного гена одного отпрыска увеличивается на некоторую величину, а у другого значение случайно выбранного гена, наоборот, уменьшается.

Некоторым из тех, кто захочет попробовать свои силы и написать такую программу, приведенного описания программы BUGS будет достаточно. Тем же, кому оно покажется не очень подробным, следует проконсультироваться у более опытных программистов и попросить их составить полное алгоритмическое описание.

ЭНТУЗИАЗМ читателей по поводу программы, порождающей фракталы, SLO GRO (Медленный Рост), описанной во втором номере журнала за нынешний год, нарастал отнюдь не медленно. Внушительный мешок писем говорит о неослабевающем интересе к фракталам любого вида и формы. Научным языком эту программу можно описать как моделирование диффузионно-ограниченной агрегации — процесса, наблюдаемого при образовании определенных минералов, электролитическом осаждении металлов и даже накоплении сажи.

Рецепт программы SLO GRO оказался достаточно простым и понятным для многих читателей, и они в нем хорошо разобрались. Основной алгоритм строится на введении случайно движущейся «частицы» в круговую область из произвольной точки окружности, ограничивающей эту область. Когда частица входит в контакт с другой, неподвижной, частицей, она также прекращает движение, и, таким образом, происходит агрегация частиц. Программу было нетрудно написать, но наблюдать за ее работой некоторым людям показалось утомительным занятием. В результате несколько читателей предложили, как изменить алгоритм, чтобы ускорить его работу.

Э. Х. Кидера IV из Колумбии (шт. Мэриленд) достиг ощутимого ускорения, начиная с маленькой

окружности и постепенно увеличивая ее радиус по мере роста объекта. Ряд читателей внесли предложения, заключающиеся в том, чтобы ускорить проверку на контакт с группой неподвижных частиц. Для этой проверки в программе осуществлялось сравнение координат прилетающих к частице пикселей с зафиксированными позициями каждой неподвижной частицы растущего агрегата.

С. С. Рид из Университета Ватерлоо в Онтарио сделал следующее предложение по этому поводу: «Для тех, кто пользуется Бейсиком (а я уверен, что им пользуются многие ваши читатели), существует значительно более простой способ. Нужно лишь воспользоваться командой Бейсика POINT, чтобы высветить, был ли окрашен интересующий в данный момент пиксел. Таким образом, экран как бы выступает в роли запоминающего устройства».

Самым нетерпеливым, однако, оказался У. Х. Пратт из Колледжа шт. Пенсильвания. Зачем вообще заставлять частицу совершать случайное движение? Почему бы сразу не выбрать для нее случайное место в ближайшей окрестности агрегата? Но, к своему немалому удивлению, Пратт обнаружил, что его объект оказался совершенно не похожим ни на одну из иллюстраций, сопровождавших статью в февральском номере журнала. И хотя края объекта были, конечно, неровными, в целом он был более плотным — можно сказать, имел другую природу.

Сам того не ведая, Пратт получил в своих экспериментах то, что называют моделью роста Ричардсона. Эта модель является излюбленным экспериментальным инструментом группы математиков, которых прозвали «мафия», работающей на частицах». Исследователи из этой группы (некоторые ее представители работают в Висконсинском университете в Мадисоне) уже более 10 лет занимаются изучением всевозможных моделей роста. В одной из будущих статей я надеюсь рассказать о своем недавнем визите в Мадисон.

Темой нашей мартовской статьи были «психологические» головоломки: логические задачи, которые можно решить только с учетом возможного хода мыслей других участников рассматриваемых ситуаций. Целый класс таких задач был представлен головоломкой о трех философах, проснувших после полуденного сна в тени раскидистого дерева. Каждый философ заметил, что у обоих его коллег лбы были запачканы, по-видимому, птицей, сидевшей на дереве. Лишь после того, как все они какое-то время посмеялись друг над

другом, самый мудрый из них догадался, что его собственный лоб был также запачкан. Как он пришел к этому выводу?

Мне как-то не пришло в голову, что можно сформулировать задачу о двух «философах». На эту возможность указал Дж. Клейн из Колледж-Плейс (шт. Вашингтон). Клейн опробовал эту задачу, рассказав своим детям историю о двух рабочих, свалившихся со строительной платформы. При падении никто из них не ушибся, но у одного оказалось перепачканным лицо. Почему рабочий с чистым лицом побежал умываться, в то время как другой, с испачканным лицом, спокойно вернулся на рабочее место? Клейн пишет: «Было очень интересно слушать, как дети рассуждают вслух, и наблюдать за тем, как меняется выражение их глаз, когда приходит решение».

Другая задача была заимствована мною из книжки Денниса Шаша «Удивительные приключения доктора Экко». Армии двух генералов времен наполеоновских войн оказались разделенными горным хребтом. Генералы захотели скоординировать совместную атаку на неприятеля, посылая друг другу сообщения с почтовыми голубями. Но что следует написать в сообщении? Если первый генерал пошлет сообщение: «Атакуем с рассветом», то он должен ждать, пока второй генерал пришлет подтверждение, что он получил сообщение. А что, если один из голубей не перелетит хребта? И даже если оба голубя благополучно долетят до пунктов назначения, каким образом второй генерал узнает, получил ли первый его подтверждение? По-видимому, здесь неизбежен бесконечный обмен сообщениями.

Ситуация, в которую попали генералы, напомнила У. Клементсу из Беверли-Хиллза (шт. Калифорния) о малоизвестной пьесе, шедшей одно время на Бродвее, в которой агент, работавший сразу на две разведки, снует туда-сюда между двумя враждующими государствами. Сначала агент узнает, что государство *A* расшифровало секретный военный код государства *B*. Агент отправляется в государство *B*, чтобы сообщить офицерам разведки это известие. «Мы уже знаем об этом», — говорят офицеры. Сначала агент растерялся, но потом сообразил, что может продать эту информацию офицерам разведки государства *A*. Те, в свою очередь, отвечают: «Мы знаем, что разведка *B* уже знает об этом и посылает нам ложные сообщения». Агент поспешил обратно в государство *B*: «А вам известно, что они уже поняли, что по-

лучают ложные сообщения?» «Конечно», — отвечают ему в разведке *B*. Агент возвращается в государство *A*, чтобы разъяснить там истинное положение дел, и т. д. Сколько же раз придется агенту путешествовать из страны в страну, сообщая сведения о том, что известно другой стороне? Хотя в этой задаче две стороны не координируют свои действия, а враждуют друг с другом, решение задачи не упрощается — его просто не существует.

Психологические задачи встречаются и в нашей повседневной жизни. Их изучением занимался покойный Эрвин Гоффман, социолог. Я обратился к читателям с просьбой привести свои примеры и получил несколь-

ко ответов, в том числе от П. М. Камбеена из Муйдена (Голландия). Во время второй мировой войны офицер германских оккупационных сил пожаловался одному голландцу, что плохо понимает настроения его соотечественников. Голландец ответил ему следующее: «Голландцы обладают тремя главными достоинствами. Они умны, лояльны и сочувствуют нацистам. Однако каждый конкретный, отдельно взятый голландец обладает лишь двумя из этих достоинств и одним, противоположным третьему». Пока до немецкого офицера доходил логический смысл этого высказывания, у шутника было достаточно времени, чтобы скрыться.

Наука и общество

Ангиопластика — на крайний случай

ТРОМБ застревает в венозной артерии, просвет которой сужен из-за атеросклеротических бляшек, и перекрывает приток крови к непрерывно работающему сердцу. Так происходит сердечный приступ: сердечная мышца, лишенная крови, повреждается или погибает. Недавно появились лекарства, например тканевой активатор плазминогена, под действием которых тромб разрушается и восстанавливается нормальный кровоток. Однако просвет сосуда остается узким, так что у больного продолжается стенокардия и высок риск повторных сердечных приступов. Должно ли стать обычной врачебной практикой расширение артерии с целью предупреждения подобных осложнений?

В крупномасштабном исследовании, проведенном под руководством Ю. Браунуолда из Медицинской школы Гарвардского университета, на средства Национального института сердца, легких и крови определяли эффективность общепринятого способа предотвращения повторных сердечных приступов, а именно подквозной коронарной ангиопластики. По этому методу в артерию вводится катетер и продвигается по кровеносным сосудам до тех пор, пока не достигнет суженного участка. На входящем в сосуд конце катетера имеется баллончик, который надувается и сдвигает атеросклеротические наросты на стенках артерии, расширяя ее просвет. Эта процедура целесообразна при постоянной стенокардии. Превентивная ангиопластика через не-

сколько дней после сердечного приступа могла бы уменьшить риск повторных приступов стенокардии. Сейчас во многих больницах проводят ангиопластику в профилактических целях.

Результаты этого исследования, опубликованные в журнале "New England Journal of Medicine", приводят к заключению, что применение дорогостоящей ангиопластики далеко не всегда необходимо. Обследовалось около 3200 больных в 50 клиниках. Каждый пациент получал тканевой активатор плазминогена не позже чем через 4 часа после сердечного приступа. Половине больных делали инвазивную контрольную процедуру: через 18—48 ч после приема лекарства через катетер, введенный в венозную артерию, подавался краситель для получения рентгеновского изображения сосуда. Если после разрушения тромба просвет артерии оставался частично закрыт и подходил для операции, то проводили ангиопластику. Остальных пациентов лечили консервативно. Катетеризацию венечных артерий и ангиопластику делали только в тех случаях, когда рецидивы стенокардии или электрокардиограмма свидетельствовали о недостаточном кровоснабжении сердца. В итоге 13,3% пациентам этой группы провели ангиопластику, а в первой группе таких было 56,7%.

Тем не менее в течение последующих 6 недель в обеих группах события развивались по существу одинаково. За это время в группе инвазивной терапии умерли либо перенесли повторные сердечные приступы 10,9% больных, в группе консервативной терапии — 9,7%. Показатели сердечной

деятельности у пациентов из разных групп также были сходными. Эти цифры выглядят весьма обнадеживающе: в других исследованиях повторная закупорка артерий происходила у 20% больных через несколько недель, даже если они принимали лекарства, рассасывающие тромбы. Таким образом, медикаментозная терапия с последующим наблюдением на случай необходимости применения инвазивных средств, которые держат «про запас», дает вполне хорошие результаты. Это должно порадовать тех, кто озабочен ростом сложности и стоимости медицинской помощи. Авторы исследования считают, что в большинстве случаев сердечных приступов медицинская помощь может быть обеспечена местными больницами (которые обычно не имеют оборудования и персонала для катетеризации венечных сосудов), при условии, что, если это необходимо, больной будет помещен в располагающую большими возможностями клинику. В редакторском комментарии к сообщению Браунуолда прогнозируется экономия до 200 млн. долл. в год.

Проблемы энергетики

МРАЧНЫЙ прогноз ученых, обещающий потепление климата Земли в результате парникового эффекта, капиталовложения других государств в поиск новых источников энергии — все это открывает более широкие перспективы перед американскими технологиями использования возобновляемых источников энергии и сохранения получаемой энергии. Наибольшего уровня федеральные ассигнования США на исследования в этой области достигли во время нефтяного кризиса в 70-х гг., однако уже в начале 80-х гг. этот уровень упал на 70%.

Между тем интенсивное использование возобновляемых источников энергии и повышение энергетической отдачи в различных областях могли бы привести к сокращению выбросов в атмосферу двуокиси углерода и других газов и таким образом уменьшить степень предстоящего потепления климата на нашей планете. Аналогичный положительный эффект могла бы, конечно, дать и ядерная энергетика, однако утрата уверенности в ее безопасности, по-видимому, исключает возможность ее дальнейшего развития в США на данном этапе. В настоящее время с помощью таких возобновляемых источников энергии, как солнце, вода и ветер, в США вырабатывается 9% потребляемой энергии. В этом году вопрос проведения энер-

гетических исследований будет находиться в центре внимания Комитета по науке и технике палаты представителей конгресса США. Члены обеих палат конгресса внесли уже на рассмотрение так называемые «парниковые» законопроекты, предусматривающие обязательное увеличение федеральных бюджетных ассигнований на исследования в области энергетики. Кроме того, конгрессмены Мэрилин Ллойд от шт. Теннесси и Филип Р. Шарп от шт. Индиана совместно внесли на рассмотрение законопроект, предусматривающий обязательное финансирование в течение 3 лет исследований по возобновляемым источникам энергии.

Беспокойство вызывает также опасность утраты Соединенными Штатами своих позиций на рынках энергоснабжения и растущая зависимость страны от импорта нефти. По сообщениям некоторых экспертов, приглашенных на недавние слушания в конгрессе, ФРГ и Япония уже опередили США в области фотогальванических исследований. Япония расходует на эти исследования вдвое больше средств, чем США, и занимает ведущее положение на мировом рынке сбыта соответствующей продукции.

Квантовая биология

ИЗВЕСТНО, что туннелирование электронов — так называют квантовомеханический эффект, благодаря которому электрон как бы обходит энергетический барьер — играет важную роль во многих биологических реакциях, в том числе в фотосинтезе. Недавно в журнале "Science" появилась статья Ю. Ча, К. Мюррея и Дж. Клинман из Калифорнийского университета в Беркли, в которой сообщается о том, что элементом механизма одной ферментативной реакции в физиологических условиях является туннелирование водорода.

В реакции, о которой идет речь, фермент алкогольдегидрогеназа дрожжей катализировал превращение бензилового спирта в бензальдегид. В ходе этого процесса от молекулы спирта отщепляется атом водорода с электроном. Фермент многократно ускоряет реакцию, снижая ее энергетический барьер. В «полуклассической» модели реакции связь водорода со спиртом рассматривается по аналогии с грузом на веревке; предсказывается, что ядро атома водорода — протон — может легче преодолеть энергетический барьер, чем ядра его тяжелых изотопов — дейтерия и трития. Это означает, что для водорода скорость реакции выше, чем для его

изотопов, причем можно точно рассчитать, насколько выше.

Однако если реакция протекает с квантовым туннелированием, то для водорода скорость реакции будет больше, чем предсказывает полуклассическая теория. Согласно одному из основных принципов квантовой механики, положение элементарной частицы в пространстве невозможно указать однозначно: вероятность ее нахождения в данной точке описывается волновой функцией. Туннелирование может происходить, если волна распространяется по обе стороны энергетического барьера. Вероятность туннелирования тем выше, чем меньше масса частицы, поскольку тем больше длина ее волны. В биологических молекулах электроны легко туннелируют на расстояния порядка 10 \AA , тогда как протон должен туннелировать не более чем на 1 \AA . Вероятность туннелирования для тяжелых изотопов водорода еще меньше.

Чтобы выяснить, играет ли роль туннелирование в алкогольдегидрогеназной реакции, Ча, Мюррей и Клинман синтезировали два варианта бензилового спирта, в которых в определенных местах молекулы вместо водорода находился тот или другой его тяжелый изотоп. В процессе этой реакции молекула спирта отдает атом водорода молекуле никотинамидадениндинуклеотида (NAD). Исследователи определили, сколько каждого изотопа водорода включается в NAD. Оказалось, что скорость переноса водорода больше, чем предсказывается полуклассической моделью, значит, в процессе реакции должно происходить туннелирование. В принципе фермент может способствовать туннелированию не только снижая энергетический барьер, но и сужая его. Это возможно, если фермент сближает взаимодействующие участки молекул NAD и спирта. «Следующий этап наших исследований — выяснить, далеко ли друг от друга располагаются эти молекулы», — сказала Ча. Она надеется получить мутантные варианты алкогольдегидрогеназы, в которых бы варьировало расстояние между молекулами спирта и NAD.

Многие биохимические реакции включают перенос водорода, так что туннелирование водорода, возможно, широко распространено в биологических процессах. Предварительные результаты новых экспериментов Ча и ее коллег позволяют предполагать, что туннелирование происходит также в реакции, катализируемой ферментом аминоксидазой, содержащейся в крови. «Похоже, что это явление и в самом деле обычно в биологии», — говорит Ча.

Малый ледниковый период; сокровища Теночтитлана; коды и криптография; цветной атлас галактик



ФИЛИП MORRISON

Джин М. Гроув. МАЛЫЙ ЛЕДНИКОВЫЙ ПЕРИОД

THE LITTLE ICE AGE by Jean M. Grove. Methuen & Co. Ltd. (\$144)

НА ФОТОГРАФИИ, сделанной в 1899 г., у края горного ледника стоит дама в длинной широкой юбке и шляпе с большими полями, в каких обитатели отеля «Домик у ледника» отправлялись на прогулку. В руках у дамы ледоруб, которым она только что нанесла несколько ударов по льду. Это Мэри Во, ученый-любитель из Филадельфии, которая на протяжении 25 лет проводила свой отпуск в горах вместе с семьей и систематически обследовала и фотографировала пять ледников в Канадских Скалистых горах. Она была первой в Новом Свете, кто обратил внимание на отступление ледников.

В течение многих столетий путешественников и художников привлекали ледники в Альпах. Недавно ученый из Цюриха Г. Цумбуль просмотрел чуть ли не все европейские коллекции картин и отобрал около 300 изображений Гриндельвальдского ледника, выполненных между 1640 и 1900 гг. Он установил точные даты создания картин и определил для каждой место, с которого писал ее художник. («Некоторые пейзажи оказались совершенно непригодными для анализа») Цумбуль обнаружил, что ледник не стоял на месте: его язык сдвигался то вперед, то назад на несколько сотен метров относительно среднего положения и эти перемещения занимали по несколько десятков лет. С 1850 г. Гриндельвальдский ледник начал неуклонно отступать и в наши дни залегает на 1,5 км выше по долине.

В многочисленных описаниях Монблана отмечено наступание ледников около 1550 г. Э. Ле-Рой Ладурри, автор одной из первых книг по истории климата, опубликованной в 1971 г., скрупулезно изучил заметки французских путешественников XVII в., упо-

минавших «стремительное продвижение огромного ужасного ледника». Некоторые из старых историй явно приукрашены, другие сохранили свою притягательную силу. В 1690 г. скуповатые крестьяне из долины Шамони даже оплатили проезд архиепископа Женевского, упросив его изгнать безжалостного врага, вторгшегося на их угодья. И словно вняв молитвам, ледник почтительно отступил — но лишь на несколько лет.

Особая ценность рецензируемой книги, этого глубокого и увлекательно написанного труда, состоит в том, что автор — географ из Кембриджского университета, потратившая 20 лет на то, чтобы как-то разобраться в запутанных картинах климата и истории — подвергла сравнительному анализу данные геологии на основе такого же оригинального и продуманного подхода, какой характерен для ее первоклассного изложения исторических событий. Такое единство диктуется самой темой исследований: геологи не должны пренебрегать чьей бы то ни было помощью, если хотят изучать последний отрезок последнего межледниковья — т. е. нашу эпоху, представляющую лишь верхушку айсберга геологической истории. Можно ли с помощью физических методов датирования определить, в какие годы на Земле стояла холодная погода?

На такие признаки, как сбрасывание листьев буком или зацветание вишни, вряд ли можно полагаться. Они зависят от многих факторов. Более надежный признак — повсеместные неурожай. Зима 1695 г. была длинной и тяжелой — самой холодной в холодном десятилетии; ледники выросли, а голод собрал обильную жатву в Финляндии, Эстонии, Норвегии и Шотландии. В 70-е годы XVIII в. в Центральной Европе одно лето было хуже другого: шли непрерывные дожди и даже снег. Из них лето 1771 г. было наихудшим: снова разразился голод, а в последующее десяти-

летие наблюдалось быстрое продвижение ледников в Швейцарии. В 1816 г. по обе стороны Северной Атлантики лета практически не было; почти вся кукуруза погибла, сена было собрано мало, хотя пшеница и рожь почти не пострадали. Правительством и фермерам пришлось в этот и последующие годы бороться с последствиями того, что впоследствии было названо «последним великим продовольственным кризисом в западном мире».

Предоставим слово науке. Она не претендует на то, чтобы дать детальные сведения по всем годам. Даже подсчет годовых колец деревьев (например, во фрагментах стволов, захороненных в каменных грядах — моренах, которые оставляет отступающий ледник) не может дать точную привязку к времени. Исключая редкие случаи, когдадвигающийся лед срезал одиноко стоящее дерево, дерево могло расти, даже попав в ледяной плен, а могло погибнуть за несколько лет до похолоданий.

При изучении ближайшего прошлого применяются два новых метода датирования. Один основан на анализе роста лишайников на валунах. Размеры пятен лишайников можно «откалибровать» в соответствии со шкалой времени, если учитывать их вид и структуру поверхности камня. Другой метод датирования учитывает выветривание фрагментов породы. В этом случае калибруется глубина текстурных изменений поверхности породы. Эти новые методы нельзя считать абсолютно точными. Но ошибки свойственны и методу радиоуглеродного датирования, особенно для временных интервалов порядка сотен лет, составляющих лишь несколько процентов от времени жизни углерода-14. Измерения содержания этого изотопа в соседних годовых кольцах деревьев для последних нескольких веков дали датировки, которые отличаются друг от друга на 50 или 100 лет, даже при условии, что учитываются смещения геомагнитного поля, влияющего на такой источник радиоактивного углерода, как космические лучи. Вероятно, причина этих отклонений заключается во флуктуациях потока космических лучей, вызываемых изменениями солнечной активности.

Возможно, по сравнению с писцами и чиновниками, скрупулезно фиксирующими большие и малые события истории человеческого общества, и художниками, останавливающими на холсте мгновения времени, геологи — неважные хронометристы, но то, с какой легкостью охватывают они пространство и время, потрясает.

Датируя гляциальные осадки (главным образом, по образцам древесины и почвы, включенным в эти осадки), геологи узнали о том, как «тучнели» и «худели» ледники от Патагонии до Гималаев, от горы Кения до Южных Альп в Новой Зеландии. Из нарисованной ими картины видно, что похолодание в Малый ледниковый период охватывало весь земной шар. Отступление и наступание ледников происходило на севере и на юге почти одновременно (разница во времени составляла всего одно-два десятилетия), хотя дело не доходило до того, чтобы льды в северных морях отходили так далеко на север, как во времена плаваний викингов к берегам Гренландии. (Проплыв по морскому пути, свободному от льдов, Лейф Счастливый смог достичь берегов Америки.) За 10 000 лет, прошедших с того момента, когда центральные районы северо-американского континента освободились от ледникового покрова, горные ледники на всем земном шаре наступали и отступали несколько десятков раз. Вероятно, причиной этого были колебания температуры с амплитудой около 2—3 °С.

Книга начинается с описания методов анализа. Затем следует подробный рассказ о наблюдениях исландцев, этих пытливых натуралистов и велеречивых поэтов, на протяжении тысячи лет ведущих борьбу за существование среди льдов и вулканического огня. На следующих страницах география исследований все более расширяется. Вначале читатель попадает в Норвегию, затем в горные районы Центральной Европы и наконец перед ним предстает мир ледников в целом (автор не касается лишь Антарктического ледяного щита, очень медленно реагирующего на изменения климата). В трех главах обсуждаются причины и следствия изменений климата и возможные перспективы. Библиография содержит около 2000 названий, однако книга Фридриха Ретлисбергера, выполнившего, пожалуй, лучшие наблюдения за моренами в самых разных районах земного шара, в этот список не попала, поскольку вышла в свет лишь в самое последнее время.

Приведет ли поступление в атмосферу диоксида углерода, обусловленное сведением лесов и промышленными выбросами, к таянию льдов, затоплению прибрежных районов и смещению сельскохозяйственных угодий на север? Считать ли предвестником этого процесса быстрое отступление ледников, начавшееся в 50-х годах прошлого столетия и лишь на короткое время приостановившееся в 70-х годах нашего века? (Сокращение лед-

ников началось слишком давно, чтобы его можно было объяснить влиянием хозяйственной деятельности человека.) А может быть, следует ждать наступления новой миниледниковой эпохи, вызванной вариациями солнечной активности, вулканическими выбросами или действием более тонких механизмов отрицательной обратной связи, в основе которых лежит подъем холодных глубинных вод в океане или изменение отражательной способности снега и льда? Ответы на эти вопросы нам не известны. Подобно тому как одна молитва епископа не положила конец наступанию ледника, одно жаркое лето не означает конец длительного похолодания. «Было бы неправильно утверждать с определенностью, что угроза оледенения навсегда миновала».

Эдуардо Матос Моктесума. Великий храм астеков: Сокровища Теночтитлана. THE GREAT TEMPLE OF THE AZTECS: TREASURES OF TENOCHTITLAN, by Eduardo Matos Moctezuma. Thames and Hudson Inc. (\$ 29.95)

ВЫТЕСНЕННЫЕ в очередной раз с обжитых мест своими недружелюбными соседями, мексиканские астеки под предводительством вождя Теноча набрали наконец на пустынную, затерявшуюся в горах долину, где и обосновались на острове посреди заболоченного озера. Было это в 1325 г. н. э. Вскоре, в честь своего свирепого бога войны и солнца и более смиренного бога воды, дождя и плодородия, астеки возвели величественный храм в виде пирамиды с уступами и раздвоенной вершиной. В последующие 200 лет храм не раз достраивался и расширялся, государство же астеков становилось все более богатым, главным образом за счет обложения данью соседей.

В 1519 г. многочисленные армии индейцев, возглавляемые испанскими завоевателями, принесли на землю астеков войну и неисчислимые бедствия. Боги астеков погибли вместе со своим храмом, разрушенным завоевателями до основания.

Лет через двадцать люди вновь, как и раньше, стали собираться на месте своего храма. Правда, им уже не приходилось наблюдать, как забрызганные кровью жрецы бросают на ступени, ведущие к святилищу бога войны, разрубленные тела людей, принесенных ему в жертву. Теперь все они становились свидетелями и непосредственными участниками различных христианских церемоний и ритуалов, завершавшихся обычно массовым

крещением. На месте разрушенных святилищ вскоре был построен христианский собор.

Там, где когда-то находились роскошные покои правителя астеков Моктесумы II ныне возвышается Национальный дворец. Не осталось и следа от бывшего здесь некогда цветущего благоухающего сада; от мастерских искусных ремесленников; от зоопарка правителя, где содержались ягуары и лисицы, в корзинах с пухом нежились гремучие змеи, а вольер был заполнен птицами с ярким, переливающимся оперением.

Поверженные божества астеков не захотели совсем скрываться от людей — «за обычной каменной кладкой ... или в самом алтаре нового собора вполне отчетливо возникал вдруг образ идола». Именно поэтому, для того чтобы удалиться от «нечестивых святилищ», испанцы решили переместить центральную площадь Мехико немного к югу. Озеро постепенно осушили, а по всему городу раскинулись широкие крыши домов, которые словно пытались защитить его от внезапно хлынувшего дождя перемен. Теперь мадонна и другие христианские святые предпочитали держаться в стороне от богов астеков.

В 1790 г., когда на центральной площади города проводились земляные работы, астецкие божества вновь заявили о себе. Первой была обнаружена 2,5-метровая статуя богини Коатликуэ с кошачьими когтями, которая была «одета в юбку из змей» и украшена резными изображениями человеческих рук и сердец. находку тот же вновь засыпали землей. Известный путешественник эпохи Просвещения Александр Гумбольдт писал: «Профессора, в качестве которых выступали тогда доминиканские священники, не хотели показывать этого идола молодым мексиканцам и поэтому они закопали его ...» рядом с университетом. Во время путешествия по Мексике в 1803 г. Гумбольдт уговорил священников показать ему эту древнюю находку, и вскоре он увидел устрашающую статую Коатликуэ, которая была выкопана из своей новой неглубокой могилы.

На помещенной в настоящей книге карте-схеме показаны несколько кварталов в старой, центральной части Мехико, включая станцию метро, автомобильные стоянки, собор и монетный двор, на которой отмечено по меньшей мере 10 мест, где после 1790 г. в земле обнаруживали (как правило, случайно) предметы, связанные с астецкими религиозными культурами. В нашем столетии во всех этих местах проводились целенаправленные археологические исследования.

Профессор Матос, в настоящее время директор Национального музея антропологии, в начале 1978 г. лишь только обдумывал план раскопок Великого храма астеков, когда пришло неожиданное известие. Рабочие фирмы Electric Light Company, копавшие землю на пересечении улиц в самом центре Мехико, наткнулись на большой камень с резными изображениями. Они тотчас же прекратили свою работу и связались по телефону с археологами в Национальном институте истории и антропологии. За 4 дня был раскопан каменный диск диаметром 3,25 м с барельефным изображением обнаженной обезглавленной женской фигуры с отсеченными руками и ногами. На фотографии мы видим автора книги в тот момент, когда он делает гипсовый слепок с этого диска красноватого цвета на месте его находки — на глубине 2 м под оживленной городской улицей.

После этого были произведены раскопки в большей части современного городского квартала и, как стало известно из письменных источников, на этой всего лишь небольшой части храма, занимающей площадь 26 га, некогда размещалось 78 различных строений. На предлагаемых читателю фотоснимках видны детали каменных скульптурных изображений лягушек и змей, украшавших широкие террасы храма, общий вид его стен и уступов, перемежающиеся слои булыжной засыпки, разделяющие отдельные эпохи строительства и расширения храма. Добраться до самой ранней эпохи, оказавшейся ниже уровня грунтовых вод, археологам не удалось из-за того, что озеро, подобно старым астековским божествам, не исчезло совсем, а лишь опустилось под землю. Сооружения последней, сельской эпохи оказались почти полностью разрушенными завоевателями.

В книге приводится контурное изображение Великого храма астеков среди современных построек; срез слоев, соответствующих эпохам строительства и расширения храма в их естественной последовательности; точная схема, показывающая степень обнажения на сегодняшний день каждого из этих слоев. Следует отметить, что предлагаемая книга не монография для узкого круга специалистов, а прекрасный рассказ археолога, помогающего раскрыть смысл даже наиболее загадочных археологических находок и способного пробудить интерес к своему предмету у самого широкого круга читателей.

В Великом храме было найдено большое число приношений богам, часть которых хранилась в специальных камерах. Приношения ранних

эпох — когда строительство храма велось наиболее быстро — на 4/5 состояли из предметов иноземного происхождения, которые были доставлены в Теночтитлан как дань или привезены из других стран самими астеками. По оценкам, сделанным на основе испанских летописей, источником значительной части (половины или более того) валового национального продукта этого древнего государства являлась дань, которую некогда десятки тысяч носильщиков непрерывно доставляли сюда на своих плечах в любое время года. Остальная часть государственных доходов — результат искусного труда местных ремесленников и садоводов.

К числу великолепных и неожиданных находок относятся две составные глиняные фигуры воинов-орлов в рост человека, со всеми положенными регалиями, включая когти орла ниже колен, крылья вдоль рук и шлем в виде открытого хищного клюва, в котором видно лицо воина. Археологами найдены также три витые морские раковины, мастерски вырезанные древним скульптором из твердого камня в масштабе, значительно превышающем натуральную величину подобных раковин.

На сегодняшний день имеется большое число письменных свидетельств и рукописных иллюстраций, появившихся в период после испанского завоевания и посвященных мифам и обычаям астеков, а также истории их правителей. Автор настоящей книги продолжает развивать эту тему, используя результаты своих археологических исследований. В одной из ее глав Моктесума показывает, как вначале астеки придумали богов по своему собственному образу и подобию (включая бога войны, служившего оправданием жестокой политике этого воинственного государства), а затем воплотили свои мифы в особый ритуал, исполняемый во время торжественных церемоний.

В 1978 г. археологи обнаружили рельефное изображение богини — сестры бога войны. В соответствии с астековской мифологией она была четвертована своим братом и затем сброшена им со священного холма. Именно поэтому этот выразительный барельеф был помещен строителями храма на платформе у основания крутой лестницы, ведущей в святилище бога войны, где было принесено в жертву множество пленников в качестве напоминания об этой трагической истории в семье богов.

Грозным и прекрасным астековским божествам больше уже не приходится скрываться от людей. В 1965 г., чуть севернее нынешнего центра Мехико,

на месте последнего отчаянного сопротивления астеков, появилась памятная доска. В 1521 г., напоминает она, «Тлателолко был завоеван Эрнаном Кортесом. Это не было ни победой, ни поражением — так в муках явился на свет народ со смешанной кровью — народ сегодняшней Мексики». Эта удивительная книга повествует не только об успехах археологов, но и об истоках самобытной культуры и истории целого народа.

Доминик Уэлш. Коды и криптография

CODES AND CRYPTOGRAPHY, by Dominic Welsh. Clarendon Press, Oxford University Press (\$29.95)

В МИРЕ, где ежедневно невероятно огромное количество символов передается по различным каналам связи, старинное искусство кодирования данных оформилось в важнейшую область прикладной математики. Книга Уэлша дает ясное и краткое обозрение современного состояния этой науки. Рассчитанная на хорошо подготовленного математика, книга тем не менее с интересом может быть прочитана каждым образованным читателем, который обнаружит в ней сочетание формальных и неформальных доказательств, ознакомится со смелыми догадками и поучительными ошибками, которые в таком изобилии встречаются в литературе по этому вопросу. Но доскональное овладение материалом, изложенным в работе Уэлша, потребует от читателя подготовки в области современной алгебры, теории вероятности, а также целеустремленности.

Первые попытки рассмотрения криптографии с точки зрения «формальной математики» были предприняты в 30-е годы. Среди них особо нужно выделить работы Л. С. Хилла, предложившего рассматривать традиционные шифры в рамках линейных преобразований. Но современным состоянием идей и понятий криптография обязана послевоенным работам Клода Шеннона по теории передачи информации. Большое внимание в книге Уэлша уделено обобщению результатов Шеннона, основанных на введенном им понятии энтропии информации при передаче по реальным каналам. В книге обсуждаются возможности создания оптимальных методов кодирования, а также способы повышения помехоустойчивости кодов. Рассматриваются и семейства кодов, корректирующих ошибки, их алгебра и геометрия. И наконец, автор дает анализ источников современных языков и свойст-

венной им избыточности информации.

Рассмотрим строки символов DM QASCJDF. Ее можно трактовать как приближение нулевого порядка к какому-либо естественному языку, поскольку буквы выбраны совершенно произвольно. Переходя к выборке букв второго порядка аппроксимации к естественному языку на основе двух выбранных предпосылок, мы сможем, например, распознать строку HE AREAT BEIS HEDE ... как английский текст, SENECTOR VCI QUAE ... как латинский, а MAITAI DU VEILLECAL как французский. Несколько страниц книги Уэлша посвящено самым известным шифрам и их сопоставлению на основе предложенного Шенноном, а теперь уже ставшего классическим определения криптосистемы. Криптосистема представляет собой единство трех составляющих — сообщений M , ключей K , и зашифрованных текстов C , а также двунаправленных алгоритмов связи между ними. Декодирование криптографической системы по сути сводится к нахождению ключа, что позволяет расшифровать текст, если, конечно, известны методы кодирования.

Остановимся подробнее на последовательности ключей. Абсолютная засекреченность информации определяется такой системой, в которой статистическая энтропия сообщения без зашифрованного текста и с ним не отличимы. Для этого достаточно (и необходимо), чтобы ключей было, по крайней мере столько же, сколько и сообщений. Представим себе секретного агента, который пользуется одноразовым блокнотом (такая система была предложена Г. С. Вернамом для телетайпа в 1926 г.). В этом случае для кодирования каждого сообщения используется свой собственный случайный ключ, и зашифрованный текст выглядит совершенно случайным, так что бесполезно искать корреляции между сообщениями. Говорят, что такое кодирование все еще используется для секретных сообщений на самом высоком уровне. Что ж, если это так, то это практическая реклама красивой теории.

В заключительной главе идея кодирования возрождается в новой и не вполне удачной компьютерной реализации. Генерируемые компьютером строки, хоть и называются случайными, в действительности же псевдослучайны, что делает их криптографически ненадежными: параметры наиболее часто применяемого итеративного генератора могут быть воспроизведены по довольно короткой последовательности первых «слу-

чайных» чисел, создаваемых этим генератором. Возможно, сама идея энтропии требует обобщения.

Разрыв между классической и современной теорией произошел в 70-е годы с возникновением теории вычислительной сложности. Рассмотрим цепочки из n -бит. Какое время необходимо для преобразования такой цепочки? Конечно, оно зависит от длины цепочки n . В зависимости от требуемого времени все вычисления можно разбить на два класса: для первого характерное число операций определяется некоторой конечной степенью длины исходной строки n , для другого — число операций экспоненциально возрастает с ростом n . Рассмотрим умножение двух n -битовых чисел. Обычное умножение, знакомое каждому школьнику, требует приблизительно n операций. Количество операций можно уменьшить путем образования подцепочек данных. Но каково нижнее предельное количество операций? По крайней мере не меньше n . Реальный алгоритм быстрого умножения предложили Шенхаге и Штрассен в 1971 г. Умножение совершается за $(n \log n)$ ($\log(\log n)$) шагов, что для чисел длиной в миллион цифр превосходит алгоритм «длинного» умножения в сто тысяч раз и лишь в десять раз «хуже» нижнего предела.

Появление компьютерных сетей способствовало возникновению знаменитых кодов для пересылки конфиденциальных сообщений (скажем, текущее состояние банковских капиталов) огромному числу служащих, акционеров, бизнесменов. Возникает вопрос: как защитить передачу информации от несанкционированного доступа? Если вы распространите единовременный ключ кодирования, вы сможете работать долгое время, но возможен доступ к системе посторонних лиц. Использование хитроумных, короткодействующих шифров приведет к потере информации. Изящное решение этой проблемы — открытое опубликование частичного ключа K и алгоритма его применения. При этом секретность информации сохраняется, поскольку каждый пользователь данной информации имеет собственный ключ L , без которого нельзя воспользоваться опубликованной частью кода. Причем на все части криптосистемы должны быть наложены следующие условия: во-первых, для данных M и K шифр C должен быть легко вычисляемым, и, во-вторых, по заданным C , K и L сообщение M должно быть легко восстанавливаемо, в то время как, если известны лишь C и K , сообщение M должно вычисляться экспоненциально долго.

Кроме того, число ключевых пар K и L должно быть достаточно большим, чтобы никто, даже с помощью суперкомпьютера CRAY, не мог перебрать все возможные комбинации.

Реализация такой криптографической системы, выполненная в 70-е годы, основана на тщательно проверенном предположении, что выяснение множителей чисел, являющихся произведением двух простых чисел, потребует такого количества времени, которое экспоненциально зависит от их длины n . (Заметим, что схемы кодирования, связанные с этим предположением, работают, в то время как не связанные с этой гипотезой и казавшиеся вначале правдоподобными схемы позднее не оправдали себя.) Эти сложные схемы кодирования, требующие больших вычислительных затрат, удалось реализовать лишь с появлением цифровых компьютеров.

Одной из таких схем является современный стандарт кодирования информации. Схема включает в себя 56-битовый ключ и была принята, несмотря на возражения первооткрывателей метода: длина такого ключа слишком мала, чтобы полностью защитить информацию от попыток несанкционированного доступа с помощью суперкомпьютеров. Когда после 10-летнего использования схемы вопрос ее «слабой» защищенности возник вновь, Управление национальной безопасности США оказалось не готовым к пересмотру алгоритма кодирования. (В конце 1988 г. число, длиной в 100 десятичных знаков, было разложено на два простых множителя в результате вычислений на широко распространенных параллельных процессорах. Правда, выполнение этой задачи на 400 процессорах потребовало около месяца.)

Прекрасная аргументация и поучительные замечания, глубокие выводы и экскурс в предысторию проблематики, красивые вычисления, проблемы кодирования и их решение, изумительной по полноте список литературы — все это делает честь книге Уэлша, которая, несмотря на то что требует математической подготовки, может быть рекомендована каждому любознательному читателю.

ЦВЕТНОЙ АТЛАС ГАЛАКТИК. Джеймс Д. Рэй.

THE COLOUR ATLAS OF GALAXIES, by James D. Wray. Cambridge University Press (\$79.50)

С ТЕХ пор как Алан Сэндейдж составил свой замечательный атлас с черно-белыми фотографиями, представляющий и иллюстрирующий

хаббловскую классификацию галактик соответственно их форме, успело вырасти целое поколение. Затем выпустил свою серию Хэлтон Арп, показав галактики искаженные, даже переплетающиеся, — т. е. доказательство в черных и белых цветах, что галактики не всегда бывают одиноки и часто взаимодействуют посредством приливных сил. На протяжении последних десяти лет мы видели разного рода галактики, изображенные в ярких цветах, в виде разноцветных вихрей, больше подходящих для украшения Версаля, очаровывающие и несколько сбивающие с толку.

В атласе мы видим богатое и полное «музейное собрание ярких галактик», выполненных в цвете. В нем есть изображения примерно 600 галактик на всем небе, в Северном и Южном полушариях. Приведены двести самых больших галактик, соответственно их видимому диаметру (кроме четырех самых больших и близких галактик — двух Магеллановых облаков и двух хорошо известных спиральных галактик из Местной Группы). Остальные составляют следующие по удаленности от нас системы нашего Сверхскопления и несколько более далеких образцов, выбранных ради полноты картины. Джеймс Рэй собрал эти фотографии за двенадцать лет кропотливой работы на больших телескопах обсерватории Мак-Дональдс в шт. Техас и на двух высокогорных обсерваториях в Чили. Он тщательно следил за цветом и яркостью поверхности своих объектов, виртуозно используя методы усиления изображений и фотографические фильтры для цветового разделения в трех диапазонах, придавая большой вес ультрафиолету. Три отдельных черно-белых изображения соединяются при помощи сложных методов окрашивания в один цветной снимок, который затем воспроизводится в книге.

Перед нами сверкает коллекция Рэя, оттенки и формы на фоне темного неба. Некоторые из фотографий занимают целую страницу, другие по размеру не больше почтовой марки, но все они дают одинаковое количество зрительной информации, причем цвета практически не зависят от яркости.

Глаз не различает эти оттенки на небе: ультрафиолет не видим человеческим глазом вообще, и видимый свет от галактик обычно слишком слаб. Но при помощи фотографического выравнивания выбранных цветов получают возможность видеть гораздо более глубокие области. Массивные, недавно образовавшиеся звезды составляют основную часть

синих узелков; более старые скопления более холодных звезд представлены желтым цветом; здесь и там светятся фиолетовым цветом флуоресцирующие облака газа; зеленые области соответствуют либо солнцеподобным звездам (в этой системе они изображаются зеленым цветом), либо коротко живущим синим звездам, наложившимся на устоявшиеся желтые области. (Часто бывает, что один элемент изображения соответствует смешанному свету от тысячи звезд.) Пыль обычно вызывает затуманивание и покраснение снимка; а формы в виде спиральных рукавов, прямых линий, тонких дисков, широких ореолов и светящихся ядер наводят на мысль об их предшествующем развитии. Каждая галактика формой и цветом рассказывает о своей эволюции. Снимки сопровождаются подписями, в которых описываются детали изображения.

Книга доступна начинающему астроному, так как текст и фотографии хорошо разъясняют используемые методы. Один яркий синий узелок распадается на дюжину звезд в туманности Андромеды. Доминируют яркие синие звезды, находящиеся на горячем конце спектра, но вместе с тем ясно видны более красные гиганты и супергиганты. В целом цвет получается синим. Только когда синие звезды потеряют свою энергию, где-то через 10 млн. лет, тогда этот узелок станет менее ярким, сделается вначале зеленым и слегка желтоватым, поскольку свет будут испускать множество слабых звезд в желто-красной части спектра и какой-нибудь яркий красный гигант. Один оборот типич-

ной галактики составляет примерно 200 млн. земных лет, так что синие области быстро исчезают. Конечно, они могут возникнуть в любой момент из звездообразующего газа, как и тогда, когда самогравитирующий газ станет достаточно плотным, чтобы сколлапсировать в новую звезду.

Как правило, обычная галактика характеризуется центральным «вздутием» желтого цвета, в котором находятся старые звезды. В ней не образуются новые звезды. Если имеет место диск, он, как правило, состоит из пыли и газа и усыпан синими узелками, располагающимися вдоль спиральных дорожек, выходящих из центра на большое расстояние. Таких нормальных галактик очень много. Но куда следует отнести новые синие узелки, беспорядочно разбросанные по медленно вращающемуся желтоватому диску? Самая яркая в атласе ультрафиолетовая галактика показана только синим цветом; в данный момент «она представляет собой единую формирующуюся звездную массу».

Нам достаточно хорошо известно, как эволюционирует большинство звезд; в ближайшие десятилетия предстоит понять, как развиваются галактики. Это прекрасное собрание фотографий будет служить критическим материалом для наших новых предположений и одновременно подтверждать наши находки еще очень долго. Сейчас, когда цифровые изображения все шире используются в астрономии, эта книга представляет собой один из наиболее щедрых и привлекательных даров от «прошлого века» аналоговых изображений.

Наука и общество

Сколько их?

НАРКОМАН упал на улице и был доставлен в ближайший пункт скорой помощи. У него оказалась пневмония в последней стадии. Сердце остановилось. Врач приемного отделения заподозрил СПИД, но не проверил кровь пациента на присутствие возбудителя — вируса синдрома приобретенного иммунного дефицита (HIV). Считая, что больной все равно умрет через несколько недель, даже при интенсивной терапии, которая обойдется весьма дорого, врач не стал проводить реанимацию и зарегистрировал причиной наступившей вскоре смерти пневмонию.

Историй, подобных этой, которую

рассказал работник здравоохранения, занимающийся проблемой СПИДа в Сан-Франциско, происходит все больше и больше в городах, где много наркоманов, практикующих внутривенные инъекции. По оценке Р. Стоунбернера из Нью-Йоркского городского департамента здравоохранения, среди наркоманов в Нью-Йорке 50% смертных случаев, связанных с инфекцией HIV, остаются незарегистрированными. По данным Дж. Стер-Грин из Центров контроля за заболеваниями, в целом по США не сообщается о 10—30% подтвержденных случаев СПИДа. По мере роста эпидемии эта ситуация может еще более обостриться.

Хотя занижение данных о заболева-

емости СПИДом из-за неполной диагностики и исчерпывающей регистрации — проблема весьма серьезная, она, может быть, последняя в ряду тех, которые беспокоят органы здравоохранения, пытающиеся взять под контроль размеры эпидемии СПИДа. Практически каждый знает, что HIV передается при пользовании общими иглами для инъекций и при половом сношении без презерватива, но, похоже, тем наши знания и исчерпываются. Каков риск при этом? Какая доля населения ему подвергается? Как быстро заболевание, которое сначала поражало гомосексуалистов, наркоманов и их половых партнеров, распространяется среди населения в целом?

Комиссия по СПИДу при Национальном совете по научным исследованиям, возглавляемая профессором статистики Станфордского университета Л. Мозесом, призвала значительно увеличить финансирование исследований, имеющих целью определить распространенность HIV и пути его распространения. Поскольку СПИД в США поражает в основном людей из групп риска, сбор дополнительной информации может быть затруднен или неосуществим. Однако без такой информации невозможно ни планировать лечение жертв СПИДа и помощь группам максимального риска, ни судить об эффективности этой помощи.

Например, считается, что 50% мужчин-гомосексуалистов в таких городах, как Нью-Йорк и Сан-Франциско, заражены HIV, но совершенно неизвестно, как это сказывается на остальных гомосексуалистах и сколько гомосексуалистов проживает в других частях страны. Прошлым летом уполномоченный Нью-Йоркских органов здравоохранения С. Джозеф вызвал протесты общественности, занизив на 100 тыс. человек количество гомосексуалистов в городе, что привело соответственно к уменьшению ожидаемого числа больных СПИДом и сокращению планируемых здравоохранительных мероприятий. В сообщении, недавно опубликованном в журнале "Science", на основании данных за 1970 г. доля активных гомосексуалистов среди мужского населения США оценивается в 1,4%. В конце 1940-х годов эта величина составляла более 4%. Та небольшая цифра, которая получена в 1970 г., на самом деле означает, что доля гомосексуалистов варьирует от 0,7 до 2,1%. А при различных исходных посылах она может увеличиваться до 6,2%.

Количество наркоманов, вводящих наркотики внутривенно, составляет

1,1—1,5 млн.; из них на 1987 г. были заражены HIV 225 тыс. По иронии судьбы, федеральные власти уменьшили финансирование научных исследований по социальным проблемам и прекратили сбор статистических данных о наркоманах как раз в 1981 г., когда началась эпидемия СПИДа.

Из-за неопределенности информации, как считает Ч. Тернер, возглавляющий работы по проблеме СПИДа, идущие под эгидой Национального совета по научным исследованиям, о распространенности инфекции HIV сейчас можно сказать только, что от 500 тыс. до 2 млн. человек заражены, причем наиболее вероятная величина 1 млн. Более точная оценка должна получаться путем обратной экстраполяции исходя из того, что на 13 февраля 1989 г. зарегистрировано 86 157 случаев СПИДа; но из-за длительного инкубационного периода болезни этот метод дает достоверный результат только до 1985 г.

Тернер отмечает, что при нечеткости статистических данных о количестве больных СПИДом и носителей вируса невозможно понять, действительны ли предпринимаемые меры по борьбе с распространением инфекции. Миллион зараженных на сегодняшний день представляет серьезную проблему, но важно также знать, будет ли их в следующем году 1,01 или 2 млн. Сейчас не ведется сбор данных, могущих однозначно указать направление развития эпидемии.

Сегодня осуществляется только одна программа контроля, которая может уменьшить неопределенность в нашем представлении об инфекции HIV в ряде районов США. Центры по контролю за заболеваниями ведут проверку крови новорожденных начиная с 1987 г.; это дает информацию о состоянии как матери, так и ребенка. Однако в сообщении Национального совета по научным исследованиям говорится, что другие программы, финансируемые Центрами по контролю заболеваний (в наркологических центрах, госпиталях, клиниках венерических болезней, туберкулезных больницах и центрах по планированию семьи), потенциально необъективны, и потому их данные нельзя обобщать.

Пожалуй, больше обещает планируемое обследование населения в масштабах всей страны на присутствие HIV в плазме крови. Как заметил Д. Горвиц из Научно-исследовательского института Трайэнгл, установить доверительные отношения, если вы хотите, чтобы люди сдавали кровь на анализ по стуку в дверь, нелегко, но возможно. Летом 1988 г. это учреждение было вынуждено прекратить

обследование в Вашингтоне (округ Колумбия), которое вызвало среди населения вспышку расизма и боязнь злоупотребления полученными данными. Однако аналогичное обследование, заверщенное весной этого года в Питтсбурге, оказалось успешным благодаря создавшейся атмосфере сотрудничества с людьми. Единственный путь добиться добровольной сдачи крови и ответов на вопросы о половой жизни, подчеркивает Горвиц, — это гарантированная анонимность: ни одно имя не должно фигурировать в результатах анализов крови и других обследований. По словам Горвица, в Далласе должно быть проведено более обширное обследование. Если оно будет успешным и конгресс одобрит финансирование проверки населения на зараженность HIV, то по всей стране будет охвачено 50 тыс. человек в возрасте от 18 до 54 лет. Стоимость этого обследования составит 25 млн. долл. В результате будут получены данные, которые позволят оценить распространение HIV в США с точностью до 100 тыс. человек. Как полагает Тернер, несмотря на возможность систематических ошибок при сборе информации (наподобие «недосчета» некоторых небольших групп населения, затрудняющего перепись населения США), тенденцию развития эпидемии удастся отразить достаточно точно.

Конечно, даже наиболее выразительные данные могут оказаться бесполезными, если политические мотивированные решения заранее исключат ориентировку на них. По мнению декана Школы здравоохранения Мичиганского университета М. Бекера, в целом мы проигрываем битву со СПИДом. Социологи знают, как в принципе подойти к решению такой проблемы, как СПИД, указывает Бекер, но федеральные власти отгородились законом (речь идет о поправке к законопроекту, предложенной сенатором Дж. Хелмсом из шт. Северная Каролина) вместо того, чтобы учитывать интересы самих групп высокого риска и уменьшить риск заболевания, а не только декларировать полное половое воздержание.

Имеющиеся документальные свидетельства об уменьшении распространения СПИДа в основных группах риска, по мнению Бекера, говорят о том, что какие-то из осуществляемых ныне просветительных и социальных программ явно дают эффект. Он убежден, что нельзя говорить о принципиальной невозможности повлиять на поведение гомосексуалистов и наркоманов на основании только того, что запретительные кампании ничего не дали. Кроме того, недопу-

стимо, замечает Бекер проводить небольшое исследование, публиковать единственную статью и затем бросить работу по той причине, что на ее продолжение нет денег.

Двуликая Вселенная

Любой студент-физик знает, что окружающий нас мир можно «разделить» на фермионы и бозоны. Фермионы — это субатомные частицы, к которым относятся электрон, протон и нейтрон: обычно их относят к «строительным кирпичикам» вещества. Бозоны, которые включают фотоны, считаются частицами — переносчиками всех взаимодействий в природе.

В статье, представленной недавно в журнале "Physical Review Letters", Т. Имбо, Ч. Имбо и Э. Сударжаном из Техасского университета в Остине утверждают, что при определенных условиях различие между этими двумя типами частиц совершенно исчезает. Эти ученые ввели новые частицы, включая частицы, названные ими «амбионами» (ambions), которые ведут себя и как фермионы, и как бозоны.

Фермионы и бозоны во многом отличаются друг от друга. Фермионы имеют полуцелый спин (1/2, 3/2 и т. д.), тогда как бозоны имеют целый спин (0, 1 и т. д.). Математически фермионы описываются «антисимметричной волновой функцией». Если два фермиона меняются местами, то математическое выражение, описывающее это состояние системы, умножается на -1 . Бозоны же описываются «симметричной волновой функцией». Если два бозона меняются местами, то волновая функция системы не изменяется.

Благодаря этим различиям фермионы и бозоны обладают принципиально различными свойствами. Например, два одинаковых фермиона не могут находиться в одно и то же время в одном месте, поскольку в этом случае, если бы две частицы поменялись местами, волновая функция системы, с одной стороны, должна была остаться неизменной, а с другой — изменить знак, что, очевидно, невозможно. Бозоны, наоборот, стремятся оставаться вместе; это их свойство проявляется, например, в известном явлении — «конденсации Бозе — Эйнштейна».

Почему же физики должны отказываться от этой классификации? «Они живут с ней уже около 50 лет», — говорит Сударжан.

До недавнего времени ученые предполагали, что частицы движутся в

обычном трехмерном пространстве, где приходится учитывать различие между бозонами и фермионами. Однако на двумерной плоскости, например, частицы могут вести себя как нечто промежуточное между бозонами и фермионами. Они будут в этом случае проявлять «промежуточные» свойства между бозонами и фермионами. Эти частицы были хорошо изучены за последние пять лет: они подчиняются «частичной» статистике и обычно называются «энионами» (anyons).

Пространства, изученные группой из Техасского университета, обладают топологией, которая заставляет частицы вести себя и как бозоны, и как фермионы одновременно. Одним из примеров является пара двух идентичных частиц, движущихся по сфере, с выделенными диаметрально противоположными точками. После того как частицы пройдут по некоторым петлям в этом пространстве, «двухбозонная» волновая функция превращается в «двухфермионную». «Это напоминает нам историю с пророком Моисеем, — говорит Сударжан. — Он поднялся на гору (имеется в виду гора Синай. — *Ред.*) одним человеком, а спустился другим». Частицы, которые ведут себя подобным образом, и есть «амбионы».

Поскольку «энионы» существуют на двумерных поверхностях, они как полагают, должны играть важную роль в таких широко известных и хорошо изученных явлениях, как квантовый эффект Холла и высокотемпературная сверхпроводимость. Что касается «амбионов», существующих в более «хитрых» дву- и трехмерных пространствах, то, по словам Сударжана, «чтобы узнать о них, нужно забраться на гору Синай».

Консорциумы и их роль в создании новых технологий

В СЕВЕРНОЙ части Остина (шт. Техас) располагается корпорация Microelectronics and Computer Technology Corp. (MCC), открывшаяся в 1983 г. и ставшая одним из первых промышленно-исследовательских консорциумов в США. Пять лет спустя в 15 милях южнее MCC расположился консорциум Semiconductor Manufacturing Technology (SEMATECH), предприятие, финансируемое совместно правительством и частным промышленным капиталом. Эти центры не единственные в своем роде: в стране насчитывается уже более 75 исследовательских консорциумов, в которых компании объединяют свои

ресурсы для научных исследований в самых различных областях, от цементной до полупроводниковой промышленности.

В 80-х годах исследовательские консорциумы стали весьма популярны. Они различаются по своей организационной структуре. Некоторые научные центры финансируются местными властями, старающимися привлечь капиталовложения к своему региону, другие являются совместными предприятиями университетов и промышленных компаний. Университетам участие в этих проектах приносит дополнительные средства, необходимые для проведения научных работ и улучшения технической оснащенности своих лабораторий, а также помогает привлечь талантливых аспирантов. Компаниям же такое сотрудничество обеспечивает получение новейших результатов фундаментальных исследований в широком диапазоне областей, проведение которых они не могли бы себе позволить, располагая ограниченным штатом научных работников. Кроме того, в процессе сотрудничества компании входят в контакт с многочисленными коллективами высококвалифицированных специалистов.

Тем не менее наибольшее внимание и наибольшее количество средств привлекают к себе консорциумы, подобные MCC и SEMATECH и призванные повысить конкурентоспособность американских промышленных фирм путем создания прогрессивных технологий, которые впоследствии могут быть адаптированы для нужд компаний, участвующих в финансировании разработок. Правительство и частные компании возлагают большие надежды на эти консорциумы, ожидая, что они позволят оживить пошатнувшиеся отрасли промышленности и поддержать усилия США, направленные на развитие новейших технологий в таких областях, как телевидение высокого разрешения или полупроводниковая техника.

Однако, по мере того как консорциумы обретают зрелость, становится все яснее, что они не могут быть просто исследовательскими лабораториями, из которых фирмы-участницы получали бы новые технологии в готовом виде. Они не могут также управлять теми исследованиями, которые проводятся в самих фирмах. Вместо этого консорциумы должны искать пути объединения со своими спонсорами, чтобы совместными усилиями вырабатывать новые подходы и доводить их до уровня прототипов.

«Проведение научных исследований — это легкая часть работы», — говорит Г. Доув, возглавляющий

МСС. Основные же трудности, по его мнению, заключаются в том, чтобы, во-первых, заинтересовать фирму-спонсора в переходе на новую технологию и, во-вторых, добиться того, чтобы исследователи лучше понимали потребности спонсоров и проблемы, с которыми они сталкиваются. «В США новые технологии рождаются гораздо чаще, чем в какой-либо другой стране», — говорит адмирал Б. Инмен, первый директор МСС. — Прогриваем мы на том этапе, когда нужно быстро поставить новую технологию на коммерческую основу или просто внедрить ее».

В большинстве исследовательских центров, задуманных их основателями как неисчерпаемый источник новых технологий, при постановке научных задач мало внимания уделялось вопросу о том, каким образом они будут передавать технологии промышленным компаниям. Как правило, под «передачей технологии» понималось составление разработчиками обобщающих отчетов после получения основных результатов и вручение их заказчику, как говорит Д. Диманческу, один из основателей консультативной фирмы Technology & Strategy Group в Кембридже (шт. Массачусетс).

Спонсоры же видели в консорциумах предприятие, которое на один доллар капиталовложений выдаст научную продукцию ценностью в несколько долларов. Теперь они начинают понимать, что для извлечения полной выгоды из своего участия в проекте требуется сделать значительно больше, чем просто отсчитать доллары. «Те компании, которые ограничиваются лишь финансированием консорциумов и ожиданием результатов, так и не заметят сколько-нибудь значительного эффекта», — говорит М. Кюн, в течение нескольких лет координировавший сотрудничество между исследовательской фирмой Bell Northern Research и фирмой Microelectronics Center в Северной Каролине. (Недавно он был назначен президентом последней.)

Сейчас и консорциумы, и спонсоры поняли, как отмечает Диманческу, что передача технологии означает совместное участие в проекте. Он считает также, что передача технологии превращается в непрерывный процесс, в котором специалисты, главным образом разрабатывающие технологию, и люди, готовые воспользоваться ею, постоянно поддерживают диалог.

В консорциуме МСС к этому пришли на опыте ошибок, совершенных в ходе исследований в области автоматизации проектирования. Исследователи хорошо знали, как нужны

компаниям-спонсорам новые средства автоматизации проектирования на основе компьютеров (САПР). Они начали разрабатывать алгоритмы на языке программирования Лисп. Однако фирмы надеялись получить готовые системы, а не алгоритмы, которые нужно будет потом еще адаптировать. «Мы передали им новые алгоритмы, и это было все равно, что пытаться кормить тигра травой», — сказал Дж. Пинкстон, ведущий специалист МСС. В прошлом году консорциум реорганизовал программу САПР.

Преимущества совместной работы хорошо проявились во время разработки экспертной системы, предназначенной для конструирования интегральных электронных схем. Проектом, который назывался Proteus, заинтересовался старший консультант корпорации NCR. Он рекомендовал компании выделить своего инженера для работы над проектом. На протяжении года инженер из NCR проводила одну неделю в месяц в группе специалистов из МСС. Она возвращалась в свою исследовательскую группу в Форт-Коллинз (шт. Колорадо) с программами, разработанными в МСС. Там она вместе с другими инженерами NCR адаптировала эти программы для своих целей. Затем она снова отправлялась в МСС с вопросами и предложениями, чтобы лучше приспособить проект Proteus к нуждам NCR. Это время было потрачено даром. Приложение проекта Proteus, реализованное в NCR и получившее название «Советник конструктора» (Design Advisor), стало первой технологией МСС, внедренной в промышленное производство.

Консорциумы, подобные МСС, обнаружили также, что им придется быть в такой же зависимости от жестких экономических требований, в какой находятся обычно специалисты, работающие в самих корпорациях. Например, независимо от достоинств разрабатываемой технологии большие дополнительные затраты на проект могут отпугнуть даже самого заинтересованного спонсора. Когда в одной компании узнали, что им придется тратить два доллара у себя на каждый доллар, затрачиваемый в МСС, компания вышла из игры. «Здесь не скажешь — раз мы потратили миллион долларов, то должны будем воспользоваться технологией», — говорит Дж. Бэбок, менеджер группы, занимающейся в МСС технологией программного обеспечения. Ю. Ловентал, который руководит в МСС программой исследований в области компьютерных архитектур, вспомнил об одном проекте, резуль-

татами которого могла бы воспользоваться лишь компания, располагающая параллельными компьютерами. Но никто не захотел закупать дорогую технику. Теперь в МСС пытаются разрабатывать системы, использование которых не будет столь дорогостоящим. «В настоящее время мы переводим часть программного обеспечения, разработанного нами для дорогостоящих систем, на персональные компьютеры», — сказал Бэбок.

В свою очередь компании выделяют больше своих специалистов для совместной работы с исследовательскими центрами. Корпорация Digital Electronics, участвовавшая в финансировании около 200 научных разработок, выполняемых такими организациями, как МСС, SEMATECH и Microelectronics Center, требует теперь, чтобы у каждого проекта был свой индивидуальный спонсор, представляющий компанию. По словам Дж. Маккреди, руководящего в Digital Electronics научными разработками, включение фондов на финансирование внешних проектов в бюджетные ассигнования внутренних исследовательских программ также заставит менеджеров компании внимательнее следить за ходом дел в консорциумах. «Так что здесь нет особой разницы между внутренними и внешними научными программами», — говорит Маккреди.

Эти уроки были усвоены и в консорциуме SEMATECH, перед которым была поставлена задача разработать новые производственные технологии для изготовления полупроводниковых материалов. В отличие от большинства других консорциумов SEMATECH сосредоточил усилия на узкой задаче, а именно на разработке технологии изготовления пятидюймовых (а в перспективе и восьмидюймовых) кремниевых слитков — исходного материала для производства большинства микропроцессоров.

«Если дела пойдут хорошо, то к моменту полной передачи результатов мы передадим свою технологию на 90%», — говорит Л. Новак, менеджер SEMATECH, занимающийся вопросами передачи технологий. Одно из средств достижения этой цели, по его словам, заключается в том, чтобы половину научно-исследовательского персонала в SEMATECH составляли специалисты, прикомандированные на 2 года фирмами, взаимодействующими с этим консорциумом. (Отметим разительное отличие от ситуации в МСС, где лишь 15% специалистов были присланы компаниями.) Р. Нойс, президент SEMATECH отмечает также, что все компании, участвующие в проекте, сами доводят результаты,

полученные консорциумом; SEMATECH лишь создает «набор инструментов», а фирмы уже дорабатывают технологии для производства собственной продукции.

И все же самих по себе консорциумов еще не достаточно, чтобы повысить конкурентоспособность американских компаний. Наиболее важные перемены должны произойти в самих компаниях. И неудивительно, что фирмы, заслуживающие самой высокой оценки за быстрое внедрение технологий, разработанных консорциумами, известны также прогрессивными преобразованиями, проводимыми у себя на производстве. Примером может служить корпорация 3М. Однако представители 3М подчеркивают, что деятельность научных консорциумов — это лишь часть того механизма, с помощью которого новые технологии внедряются в производство. «Было бы трудно себе представить, чтобы консорциум в одиночку сумел разработать какую-нибудь очень важную для промышленной компании технологию», — говорит

Т. Е. Уоллнер, старший вице-президент корпорации 3М.

Более того, по мнению Инмена, фирмы, производящие промышленную продукцию, должны выработать итеративные производственные циклы: сконструировать изделие, изготовить и пустить его в продажу, затем собрать отзывы потребителей, модифицировать продукт и пустить в продажу усовершенствованную модель. «Консорциум — это отличный способ сконцентрировать капитал на проектах повышенного экономического риска, — говорит он, — компании же, в свою очередь, должны научиться модифицировать технологии».

Облака и климат

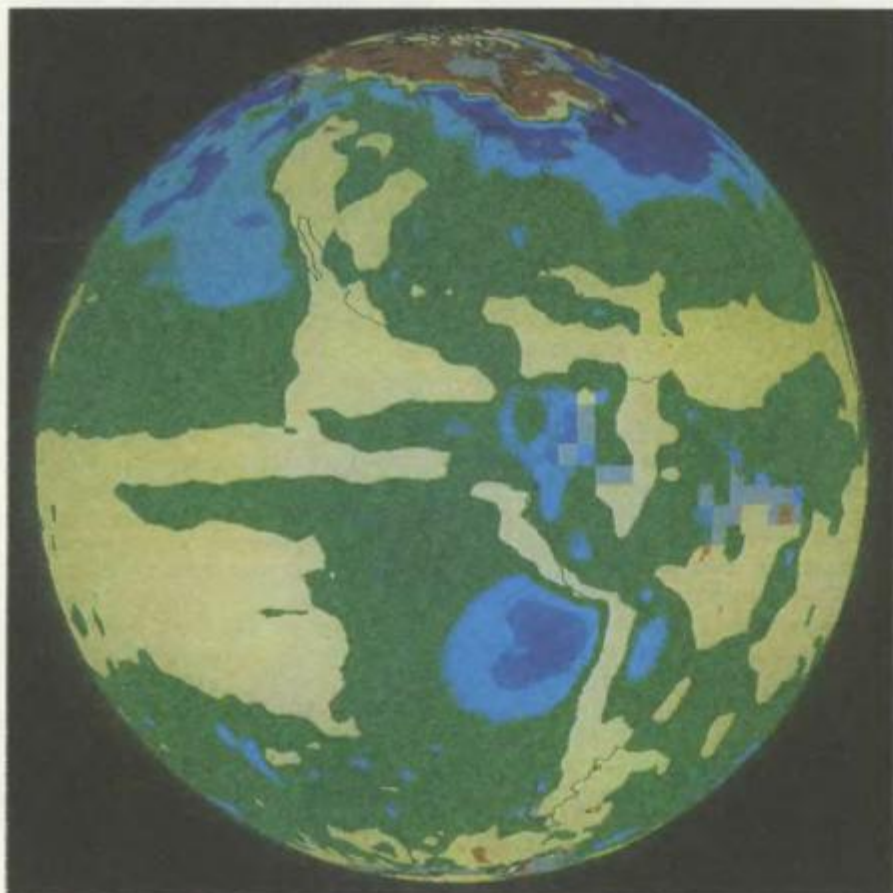
ЧЕМ дольше климатологи смотрят на небо, тем яснее им становится, что они ничего об облаках не знают. Роберт Д. Сесс из Университета шт. Нью-Йорк в Стони-Брук сравнил недавно 12 моделей глобального

климата, разработанных в 6 странах, и показал, что учет облачности при моделировании климата остается нерешенной проблемой. «Выкинув» из моделей уравнения, описывающие влияние облаков, Сесс обнаружил, что даваемые различными моделями прогнозы потепления, связанного с парниковым эффектом, согласуются между собой «исключительно хорошо». Когда же уравнения были «восстановлены в правах», расчеты дали результаты, различающиеся между собой в три раза.

«Пока нет единого мнения относительно того, как повлияет облачность на потепление, вызываемое парниковым эффектом», — сказал Дейвид Рэндалл из Университета шт. Колорадо. Облака, по словам Рэндалла, в какой-то степени подобны «частично отражающим покровам»: с одной стороны, они способствуют охлаждению Земли, отражая назад солнечное излучение, с другой — приводят к ее нагреванию, так как задерживают тепло, излучаемое Землей. Разные типы облаков выполняют эти две противоположные функции с различным эффектом. Например, плотные низкие слоистые облака способствуют охлаждению поверхности Земли, поскольку их альbedo (отражательная способность) относительно велика. Легкие перистые облака частично пропускают солнечную радиацию, но — подобно таким «парниковым» газам, как диоксид углерода, — не дают уходить в космос инфракрасной радиации Земли, поэтому действуют скорее как «нагреватели».

За исключением этих важных фактов, мы почти ничего не знаем о влиянии облаков. Что происходит, например, когда над слоистыми облаками располагаются перистые? «Ответа на этот вопрос пока нет, — говорит Рэндалл. — На сегодняшний день исследователи при анализе стараются избегать таких «смешанных» ситуаций».

По мнению Майкла Э. Шлезингера из Университета шт. Орегон, моделирование влияния облаков отчасти затрудняется тем, что в облаках идут физические процессы самых разных масштабов: на одном конце диапазона масштабов мы находим конденсацию влаги на так называемых ядрах конденсации — микроскопических частицах облака, на другом — «волны» тысячекилометровой длины, создающие хорошо заметную рябь на облачном покрове. «У нас никогда не будет достаточно мощного компьютера, чтобы учесть в модели физические процессы всех масштабов, происходящие в облаках», — говорит Шлезингер.



ВЛИЯНИЕ ОБЛАЧНОСТИ на температуру Земли определялось по данным измерений в ходе «Эксперимента по изучению радиационного баланса Земли». Области, где облака способствовали сильному охлаждению поверхности Земли, окрашены синим; зеленый цвет соответствует несколько меньшему охлаждению; желтый означает, что влияние облаков не существенно, а коричневый — что благодаря облакам поверхность нагревается. Снимок предоставлен В. Раманатаном из Чикагского университета.

На сегодняшний день большая часть данных была получена метеорологами в ходе наблюдений за облаками, которые создают «особую» погоду, например башенно-кучевыми. Однако изменения климата определяются вовсе не ими. Взять, к примеру, слоистые облака над морем, закрывающие большие участки неба; они не сеют дождь и снег и не создают молний. «В них нет ничего интересного, — говорит Роберт Дж. Чарлсон из Вашингтонского университета, — но от них в значительной степени зависит альbedo Земли».

Климатологи развернули несколько крупномасштабных программ по изучению влияния облачности на климат. В рамках Международного спутникового проекта по климатологии облачности (ISCCP) собираются данные с геостационарных спутников погоды и спутников, находящихся на полярных орбитах. В целях улучшения интерпретации спутниковых данных Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) приступило к выполнению программы, названной Первым региональным экспериментом по программе ISCCP (FIRE), которая предусматривает наблюдение за облаками с поверхности Земли и с самолетов и сравнение полученных данных со спутниковыми измерениями.

Еще один проект НАСА — Эксперимент по изучению радиационного баланса Земли (ERBE), в котором со спутников измеряется суммарное влияние облаков на температуру Земли. Эти исследования уже дали важный результат: проведя предварительный анализ данных ERBE, собранных в течение лишь одного месяца в 1985 г., группа ученых во главе с В. Раманатаном из Чикагского университета пришла к выводу, что облачный покров нашей планеты (закрывающий примерно половину земной поверхности) способствует в целом существенному охлаждению Земли.

Как указывает Рэндалл, хотя такие выводы и имеют важное значение, они ничего не говорят о поведении облаков в условиях меняющегося климата. В большинстве случаев расчеты по моделям глобального климата показывают, что парниковое потепление должно приводить к образованию большого количества высоких перистых облаков, которые в свою очередь должны усиливать потепление. «Пока у нас нет способа удостовериться в правильности этих выводов», — отмечает Рэндалл. Хотя отдельные элементы моделей можно проверить, используя палеоклиматические данные, — изучая колонки

льда, океанические осадки или годовые кольца деревьев, — извлечь из этих «записей» информацию о влиянии облачности не удается.

Теоретики также опасаются выпустить из поля зрения какие-то важные факторы, связанные с влиянием облачности. Так, например, два года назад группа исследователей, возглавляемая Чарлсоном, произвела бурно сообщенное о том, что продукты жизнедеятельности планктона, содержащие серу, могут оказывать существенное влияние на образование облаков, а следовательно, и на климат. Стивен Э. Шварц из Брукхейвенской национальной лаборатории недавно выступил с возражениями против этой гипотезы. По его мнению, если бы Чарлсон был прав, промышленные выбросы серы в Северном полушарии, вдвое превосходящие выделения серы, обусловленные жизнедеятельностью планктона, должны были бы вызвать ощутимые изменения климата, тогда как в действительности этого не происходит.

Тони Слино из Национального центра атмосферных исследований в Боулдере, шт. Колорадо, считает, что вопрос о роли планктона остается нерешенным. Теоретики, пытающиеся с помощью компьютерного моделирования прогнозировать изменения климата, сталкиваются с таким множеством неопределенностей, что, по словам Слино, «реальная атмосфера может дать ответ на все вопросы до того, как будет сделан прогноз, и тогда ученым останется лишь объяснить, почему произошло то, что произошло».

Пробивается ли из-за облаков хоть слабый луч надежды? Сесс считает, что все не так уже безнадежно. «Исследователи, занимающиеся моделированием, привыкли делать каждый свое дело в одиночку, — говорит он. — Теперь же мы все работаем сообща».

Думают ли пчелы?

РЕЧЬ пойдет о Дональде Р. Гриффине — первооткрывателе «сонара» летучих мышей. Во многих отношениях он — ученый старого образца. Около 50 лет назад, будучи еще студентом Гарвардского университета, Гриффин сделал открытие, что летучие мыши ориентируются в окружающей среде, «бомбардируя» ее своими криками и улавливая отраженное эхо. В бытность профессором Корнеллского университета, а затем Гарвардского, в котором со временем принял руководство кафедрой биологии, он

стал одним из ведущих специалистов мира в области изучения навигационных способностей летучих мышей и птиц. В 1965 г., оставив Гарвард, Гриффин основал этологический центр в Рокфеллеровском университете в Нью-Йорке, где он сейчас почетный профессор. Он написал четыре статьи для "Scientific American" (см.: Donald R. Griffin "Scientific American", December 1948, August 1950, March 1954, July 1958).

В последние же 15 лет Гриффин совершенно отошел от традиционных взглядов. В своих статьях, докладах и двух книгах он бросил вызов тем биологам — приверженцам бихевиоризма и когнитивной психологии, которые считают животных не более чем неразумными автоматами, механически отвечающими на побудительные стимулы генома и внешней среды. Гриффин настаивает на том, что восприятие мира животными — от шимпанзе до пчелы — в целом не отличается от человеческого восприятия. Более того, по его мнению, если хорошенько присмотреться, можно обнаружить у животных элементы сознательности.

В свои 73 года Гриффин внешне чем-то похож на хищную птицу: длинное, худое лицо, венчаемое серебряным ежиком волос, выдающийся нос и глубоко посаженные глаза. Во время интервью в своем кабинете в Рокфеллеровском университете он азартно набрасывается на самые «скользкие» вопросы. Когда его попросили дать определение сознания, Гриффин стал говорить о неоднозначности ответных реакций, о том, что «здесь следует рассматривать способность помнить прошлое и составлять план действий на будущее, а также иметь намерение». Он считает, что несмотря на утверждения некоторых философов, можно иметь сознание, но не осознавать свое «я» как нечто обособленное. Он пытается провести границы между сознанием, познанием и интеллектом, и, наконец, отступая, говорит: «Я стараюсь не забираться в семантическую чашу».

По всей видимости, лучше всего Гриффин себя чувствует, когда просто описывает всякие удивительные действия животных, которые, по его мнению, плохо описываются общепринятой парадигмой стимул—ответ. Это поведение, явно имеющее намерение: шимпанзе ищет палку и затем извлекает ею термитов из термитника; зук притворяется, что у него подбито крыло, чтобы увести хищника от своих птенцов; медоносная пчела своими движениями сообщает другим особям, где находится поле с цветами. «Мы не привыкли рассматривать насекомых как обладающих

сознанием, — замечает Гриффин, — но коль скоро вы примете это предположение, я могу привести много фактов в его поддержку».

Гриффин с готовностью допускает, что именно прошлые заслуги дают ему индульгенцию в его нынешнем иконоборчестве. «Утверждать такое 30 лет назад было бы, выражаясь биологическими терминами, неадаптивно, — говорит он, — но сейчас мне не о чем беспокоиться». Действительно, полвека назад многие ученые весьма недоверчиво относились к идее о том, что летучие мыши ориентируются путем эхолокации (с помощью сонара). Когда на научной конференции в 1940 г. Гриффин и его сотрудник Р. Галамбос рассказали о своем открытии, один известный биолог воскликнул: «Но ведь не можете же вы и в самом деле так думать!»

Детство Гриффина прошло в тес-

ном общении с природой Скарсдейла, шт. Нью-Йорк, а затем Барнстабла, шт. Массачусетс. Очарованный животным миром, он изучал его в меру своих возможностей: ловил оленьих хомячков и скунсов, выписывал специальные журналы по биологии млекопитающих, охоте и рыболовству. Излюбленным объектом его исследований всегда были летучие мыши. Юношей он облазил пещеры и заброшенные старые здания Массачусетса в поисках бурых кожанов, которых он метил с целью выяснить их миграционные пути. Некоторые из помеченных им особей обнаруживались более 20 лет спустя, благодаря чему были получены первые доказательства относительно высокой продолжительности жизни летучих мышей.

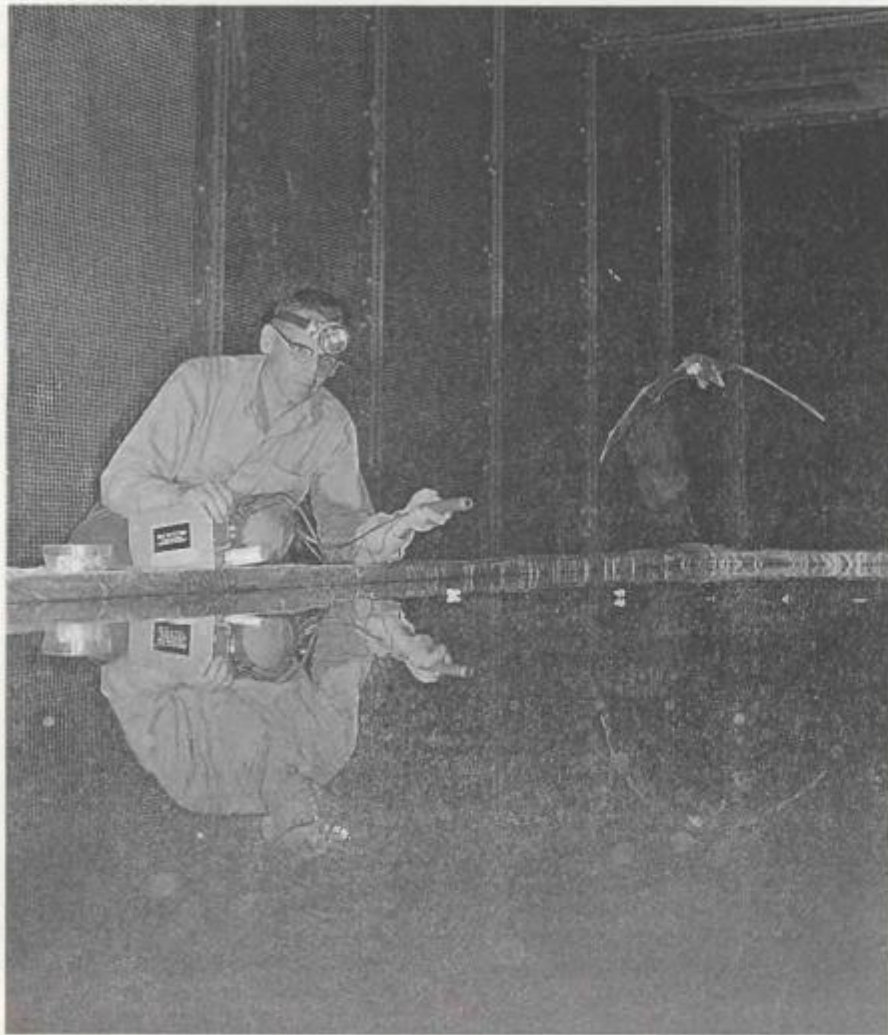
Занимаясь кольцеванием, Гриффин заинтересовался, каким образом летучие мыши ориентируются в глубо-

кой темноте пещер. В 1934 г. он поступил в Гарвардский университет и там узнал, что, как предполагают некоторые биологи, эти животные для ориентирования, возможно, испускают ультразвуковые «крики», частота которых выше верхней границы слуха человека. К тому же, он познакомился с профессором физики Жоржем У. Пирсом, у которого был прибор, позволяющий обнаруживать ультразвуки. «Это оказалось очень удачным стечением обстоятельств», — вспоминает Гриффин.

В экспериментах, осуществленных совместно сначала с Пирсом, а позже с Галамбосом (однокашником Гриффина), было установлено, что летучие мыши в полете действительно испускают отрывистый ультразвуковой «писк». Если уши заклеены или если ультразвуковой шум маскирует эхо, животные теряют ориентировку. В дальнейших исследованиях Гриффин показал, что некоторые виды летучих мышей способны обнаруживать объекты диаметром менее миллиметра и что эхолокация используется не только для избегания препятствий, но и для охоты на насекомых. Когда бурый кожан ловит мотылька, темп его «писка» по мере приближения к добыче возрастает, отмечает Гриффин, от «стрекотания лодочного мотора на холостом ходу до жужжания двигателя модели аэроплана».

Огромный интерес вызывает у Гриффина и способность птиц к навигации и ориентации относительно Земли. В 1941 г. он научился управлять аэропланом, приобрел подходящий аппарат и с его помощью стал изучать хоминг (способность находить «дом») у чаек. Позже для слежения за миграциями птиц применялся радар. Основываясь на собственных данных и результатах экспериментов других исследователей, Гриффин пришел к выводу, что для навигации птицы используют ориентиры на поверхности Земли, а возможно, также солнце и звезды. Но он скептически относится к недавно возникшим гипотезам об ориентации птиц по магнитному полю Земли. Этот вопрос остается, как он выражается, «неразгрызленным орешком».

Гриффин не пытался раскусить «орешек» вопроса о сознательном поведении животных до 1974 г., когда его посетил в Рокфеллеровском университете Томас Нейгел. Нейгел писал статью, которая называлась «Как это — быть летучей мышью»? В ней обсуждалось, может ли человек познать субъективный опыт других видов живых существ. Хотя автор пришел к негативному выводу, Гриффин продолжал размышлять на эту тему.



ДОНАЛЬД Р. ГРИФФИН записывает ультразвуки, издаваемые летучей мышью, называемой большой рыболов, на научно-исследовательской станции Нью-Йоркского зоологического общества в Тринидаде в начале 1960-х годов. Эти животные используют эхолокацию, чтобы обнаружить рыбу, которая нарушает гладь воды. Они хватают добычу своими длинными, кривыми когтями.

Он начал с вопроса, почему большинство ученых (и он сам в том числе) избегают дискуссий об «умственной жизни» животных как якобы ненаучных. Некоторые из традиционных возражений оказались легко отклонить, к примеру, такое, что приписывание животным «умственной жизни» неизбежно отдаст антропоморфизмом. «Такие рассуждения сами нуждаются в доказательстве, — говорит Гриффин. — Ваши доводы, что животные не способны думать, основываются лишь на заявлении, что думать свойственно только человеку».

Основной принцип науки — все подвергать проверке — ставит здесь еще более сложную проблему. Гриффину приходится согласиться с Нейгелом в том, что в абсолютном смысле невозможно ни доказать, ни опровергнуть наличие сознательной деятельности у животных. Однако полная капитуляция перед этим представляется Гриффину формой солипсизма — «видовым солипсизмом». Если люди могут узнать мысли друг друга посредством языка, рассуждает он, почему не могут ученые узнать, что думают животные, изучая, к примеру, как они общаются между собой? «Мы столкнулись с ситуацией, в которой можно лишь оценивать вероятности, — объясняет он, — но в этом для науки нет ничего необычного. Мы всю рассуждаем о первых секундах существования Вселенной, не имея возможности при этом присутствовать и ставить аккуратные эксперименты».

Свои взгляды Гриффин изложил в двух книгах: «К вопросу о сознании у животных», (Griffin D. The Question of Animal Awareness, Rockefeller University Press, 1976) и «Мышление у животных» (Griffin D. Animal Thinking, Garvard University Press, 1984). Ученые приняли его взгляды по-разному. «Меня обвиняли в том, что я перевел часы на столетие назад, вернувшись к идеям Романеса (английский биолог XIX в., сделавший вывод о развитых мыслительных процессах у животных на основании их поведения), но, по моему мнению, мы передвинули стрелки вперед в XXI в. и избежали бихевиоризма». Бихевиоризм отвергает субъективный опыт как несостоятельный, но противоположная концепция — когнитивная психология — также оставляет Гриффина равнодушным. Хотя ее приверженцы упрочили репутацию таких психических функций, как память, восприятие и научение в качестве корректных объектов научного изучения, Гриффин отмечает, что они больше связаны с обработкой информации, чем с субъективным опытом.

Для тех, кто подозревает Гриффина в романтических и даже мистических представлениях о природе, он подчеркивает, что принадлежит к агностикам. По его мнению, «естественный отбор вполне адекватно объясняет природу». Он также не вегетарианец и не проповедник защиты прав животных. «Я полагаю, страдания животных должны быть сведены к минимуму, — говорит он, — но, когда встает серьезный выбор между выгодой для человека и выгодой для животных, боюсь, что нам следует рассматривать собственный вид как более важный». У него даже нет ни собаки, ни других домашних любимцев. «Мы с женой слишком много путешествуем».

Хотя Гриффин три года назад ушел с официальной должности в Рокфеллеровском университете, он продолжает работать. С группой сотрудников Принстонского университета он изучает акустическую коммуникацию

у медоносных пчел, ведя наблюдения в местности около своего дома, бродит по Нью-Джерсийским розовым пустошам и Адирондакским горам в поисках ключика к мыслительной деятельности другого своего излюбленного животного — бобра.

Он также ищет новые примеры изобретательности животных, для того чтобы привести их в своей следующей книге о сознании животных. Один такой пример он извлек из научной литературы: африканская птица медоуказчик использует человека, чтобы получить любимое лакомство — пчелиные соты. Особыми криками и движениями в воздухе птица привлекает внимание потенциального помощника и приводит его к улью, который может находиться на расстоянии более километра. Медоуказчику нужно, чтобы человек достал мед и оставил столько, чтобы птица наелась досыта. Гриффин рассматривает это как форму целенаправленного поведения.

Вниманию ищущих!

Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор

БИОЛОГИЯ

В 3-х томах
Перевод с английского

Написанный английскими авторами современный учебник общей биологии для высшей школы.

Содержание. Т.1 — систематика вирусов, бактерий, растений и животных; основы биохимии и гистологии, типы питания. Т.2 — клеточные механизмы использования энергии; количественные аспекты экологии и принципы проведения экологических исследований; основы физиологии растений и животных. Т.3 — проблемы репродукции и биологии развития, основы генетики, теория эволюции.

Из рецензий: «В отечественной учебной литературе ничего подобного не появлялось...

Весь материал изложен на весьма высоком уровне, простота изложения и удачное расположение тем делают его доступным для неподготовленного читателя. Великолепны рисунки и схемы (среди 900 страниц текста трудной найти страницу без иллюстраций)» (д.б.н. Б.М. Медников). «Выпуск этого руководства будет способствовать подъему общей биологической культуры, как это сделали в свое время издания книги «Биология» Вилли и Детье» (чл.-корр. АН СССР А.В. Яблоков).

Для студентов-биологов, преподавателей биологии в школе, биологов всех специальностей.

1990, 125 л. Цена 9 р. 90 к. за комплект.

На книги, выходящие в 1990 г.,
заказы принимают магазины научно-технической литературы.
Издательство заказы не принимает.



Как вернуть США утраченное лидерство



САЙМОН РАМО

КАЖДОМУ информированному американцу известно, что США утратили лидирующее положение в технике. Соперничающие с нами страны уже догнали нас в исследовании космического пространства, в электронике, биотехнологии, вычислительной технике и программном обеспечении. Действительно, во многих отраслях Соединенные Штаты остались позади. Целые направления в промышленности фактически прекратили свое существование, не выдержав конкуренции с заокеанскими соперниками. Сложилась чрезвычайная ситуация. Если мы не вернем лидерство в технологии, наша экономика начнет давать сбои, а уровень жизни американского населения упадет.

Имеются ли реальные надежды на улучшение? Едва ли. По сравнению с другими странами мы тратим меньшую долю национального дохода на гражданские исследования и разработки и техническое перевооружение производства. Менеджеры наших промышленных компаний и государственные чиновники поглощены сиюминутными интересами и заботами.

Мало внимания уделяется образованию будущих рабочих и менеджеров, уровень которого недостаточно высок, чтобы они могли эффективно работать в условиях постоянного обновления техники. Результаты проверки свидетельствуют о том, что знания наших школьников в области естественных дисциплин и математики значительно хуже, чем у их сверстников практически во всех развитых странах. Доля студентов в наших университетах, изучающих технические дисциплины, упала до 7 человек на 1000, в то время как в Японии число таких студентов составляет 40 на 1000. С развитием научно-технического прогресса, который все в большей степени определяется успехами в области физических наук, у нас сократилось число физиков, которых сейчас меньше чем 10 лет назад; значительно меньше стало и докторов технических и физических наук. Опасная тенденция: с утратой лидирующего положения в технологии промыш-

ленность может оказаться неконкурентоспособной. Рабочие и служащие, которые не обладают достаточной профессиональной подготовкой для быстрой переориентации производства с одного вида продукции на другой, неизбежно окажутся неприспособленными к новым условиям.

Всю вину за утрату технического превосходства вряд ли можно возложить на какую-то часть общества. Правительство, промышленные компании, учебные заведения и профсоюзы — все в какой-то степени способствовало этому. И все же возврат утраченных позиций — дело не безнадежное. Можно выработать новые подходы и программы, учитывающие наши традиционные способности. Одна из них — предпринимательство.

Соединенные Штаты — это фактически единственная страна, в которой технический прогресс всегда был связан с риском. Предпримчивость у нас в крови. Удачливые предприниматели становятся национальными героями. У нас есть тысячи фирм, финансирующих новые разработки, связанные с экономическим риском. Мы располагаем обширной сетью финансовых учреждений, откуда можно черпать средства для капиталовложений. У нас имеются вездесущая система акционерных обществ, охватывающая капиталы даже небольших компаний, и биржа, на которой осуществляется торговля акциями.

Ни в Японии, ни в странах Западной Европы нет ничего подобного. Японская интегрированная система, объединяющая промышленность, правительство, банки и профсоюзы, преследующая единую техническую политику (ее краткое название Japan, Inc.), поддерживает лишь крупные корпорации, не поощряя предпринимателей. Новатор, покнинувший «кисеблшмент», чтобы организовать свою компанию, рассматривается там как выскочка, а не как герой.

Основная численность наших инженерных кадров будет по-прежнему работать в крупных, имеющих солидный опыт технических компаниях; деятельность этих компаний имеет жизненно важное значение для нашей

экономики, в которой решение многих задач под силу лишь очень мощным предприятиям. Однако крупные корпорации имеют и свои слабые стороны. С ростом масштабов деятельности приходит осторожность, стремление избегать риска, появляется тенденция к формализму — иными словами, зарождаются элементы бюрократизма, смертельного врага творчества, а вместе с этим упускаются неиспользованные возможности.

Заметим, что на протяжении первой половины века электричества (начавшегося в 80-х годах прошлого столетия) американские предприниматели создали самую мощную в мире электротехническую промышленность. А вот во второй его половине развитые компании упустили из поля зрения такую вещь, как компьютер, представляющий собой самое крупное электротехническое достижение нашей эпохи. Американские компании, которые теперь стали ведущими в разработке и производстве компьютеров, либо еще не существовали, либо не занимались электротехникой, когда в середине века появилась первая вычислительная машина, которая таила в себе беспрецедентные потенциальные возможности.

Полупроводниковый прибор — важнейшее изобретение с тех пор, как было придумано колесо, заменил вакуумную электролампу. Однако ни одна из 10 ведущих компаний, производителей вакуумных ламп, не вошла в число 10 ведущих фирм, занимающихся производством полупроводниковых приборов. Эта область промышленности также была развита новыми компаниями; существующие гиганты не сумели предвидеть возможностей новой технологии.

Способен ли типичный администратор крупной американской корпорации проявить такую же предпримчивость, какой обладали ее основатели? Привыкнув получать высокие доходы, рискнут ли теперешние лидеры корпораций вложить средства в долгосрочную программу поиска новой прогрессивной технологии и тем самым снизить краткосрочные прибыли? Судя по опыту последних десятилетий, они скорее купят еще одну компанию, работающую в какой-нибудь другой сфере, например оказывающую финансовые услуги. Существует, правда, ряд причин, оправдывающих такую стратегию.

Как предпринимателю, так и его спонсору нужны подходящие условия во внешней экономической среде: низкий банковский процент, невысокий уровень инфляции, низкий налог на долгосрочные прибыли и сравнительно высокий уровень накоплений в сберегательных банках. Для достиже-

ния такого благоприятного климата не нужно нарушать экономические законы или менять привычный образ жизни. Сумели же создать такие условия в Японии и в ФРГ.

Откуда же придут идеи и энергичные предприниматели? В немалой степени активизация предпринимательства в области новых технологий могли бы способствовать университеты. В основном американские инженерные вузы дают лишь теоретическую подготовку и вооружают студентов аналитическими методами. В реальном же мире инженеру требуется еще и многое другое. Нужно уметь конструировать изделия и системы, производство и реализация которых были бы экономически выгодными, т. е. создавать продукцию, которая либо удовлетворяет потребности покупателя лучше старой, либо создает новый емкий рынок. Одновременно эта продукция должна быть конкурентоспособной на мировом рынке и экономически рентабельной. Чтобы стать хорошими предпринимателями, студенты должны выходить из стен института инициативными, предприимчивыми специалистами, нацеленными на творческий поиск и не боящимися конкурентной борьбы. Чтобы университеты могли готовить таких специалистов, им нужно обеспечить максимальную поддержку и со стороны правительства, и со стороны промышленных компаний.

Администрация Буша уже проявила признаки серьезной заинтересованности в создании экономического климата, благоприятного для предпринимательской деятельности в области прогрессивных технологий. Работа в этом направлении должна стать одной из ее первоочередных задач.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

480068 Алма-Ата,
просп. Абая, 35,
магазин «Прогресс»

370105 Баку,
ул. Кушхевели, 556/557,
квартал №17, магазин №28

232000 Вильнюс,
просп. Ленина, 29,
магазин «Техника».

603006 Горький,
ул. Горького, 156,
магазин №29 «Наука»



ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС, ЗАНЯТОСТЬ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ В АМЕРИКАНСКОЙ ЭКОНОМИКЕ

TECHNOLOGICAL CHANGE: MEASUREMENT, DETERMINANTS, AND DIFFUSION. E. Mansfield in *The Employment Impact of Technological Change*. U. S. National Commission on Technology, Automation, and Economic Progress, U. S. Government Printing Office, 1966.

TECHNOLOGY AND EMPLOYMENT: INNOVATION AND GROWTH IN THE U. S. ECONOMY. Edited by Richard M. Cyert and David Mowery. Panel on Technology and Employment, Committee on Science, Engineering and Public Policy, National Academy Press, 1987.

EMPLOYMENT FUTURES: REORGANIZATION, DISLOCATION, AND PUBLIC POLICY. Paul Osterman. Oxford University Press, 1988.

THE FUTURE OF TECHNOLOGY AND WORK: RESEARCH AND POLICY ISSUES. Edited by Bruce E. Henderson and David C. Mowery. Committee on Science, Engineering and Public Policy, National Academy Press, 1988.

THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL CHANGE ON EMPLOYMENT AND ECONOMIC GROWTH. Edited by Richard M. Cyert and David C. Mowery. Ballinger Publishing Company, 1988.

СИНТЕЗ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

IDENTIFICATION OF ELEMENT 107 BY α -CORRELATION CHAINS. G. Münzenberg et. al. in *Zeitschrift für Physik A*, Vol. 300, No. 1, pages 107—108; June, 1981.

EVIDENCE FOR ELEMENT 109 FROM ONE CORRELATED DECAY SEQUENCE FOLLOWING THE FUSION OF ^{58}Fe WITH ^{209}Bi . G. Münzenberg et. al. in *Zeitschrift für Physik A*, Vol. 315, No. 1, pages 145—158; January, 1984.

ON THE PRODUCTION OF HEAVY ELEMENTS 106 TO 109. Peter Armbruster in *Annual Review of Nuclear and Particle Science*, Vol. 35, pages 135—194; 1985.

OBSERVATION OF THE ISOTOPES $^{264}108$ AND $^{265}108$. G. Münzenberg et. al. in *Zeitschrift für Physik A*, Vol. 328, No. 1, pages 49—59; September, 1987.

RECENT ADVANCES IN THE DISCOVERY OF TRANSURANIUM ELEMENTS. Gottfried Münzenberg in *Reports on Progress in Physics*, Vol. 51, No. 1, pages 57—104; January, 1988.

Флеров Г. Н. СИНТЕЗ ЭЛЕМЕНТА 107. «Вестник АН СССР», 1977, т. 7, с. 50.

FUSION AND FISSION INDUCED BY HEAVY IONS. YU. TS. OGANESSIAN IN "Lecture Notes in Physics", vol. 33, p. 221—252; October, 1974.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FORMATION AND RADIOACTIVE DECAY OF ISOTOPES WITH $Z = 104$ —109. Yu Ts. Oganessian et al. in "Radiochimica Acta", Vol. 37, p. 113—120; January, 1985.

SYNTHESIS AND STUDY OF ATOMIC NUCLEI WITH $Z = 100$. G. N. Flerov and G. M. Ter-Akopian in "Progress in Particle and Nuclear Physics", Vol. 19, p. 197—239, 1987.

ТОПОБИОЛОГИЯ

ARRANGEMENT AND EVOLUTION OF EUKARYOTIC GENES. G. M. Edelman and J. A. Gally in *The Neurosciences*, edited by Francis O. Schmitt. The Rockefeller University Press, 1970.

CAMS AND IGS: CELL ADHESION AND THE EVOLUTIONARY ORIGINS OF IMMUNITY. Gerald M. Edelman in *Immunological Reviews*, No. 100, pages 11—45; December, 1987.

ASYMMETRIC EXPRESSION IN SOMITES OF CYTOTOXIN AND ITS PROTEOLYCAN LIGAND IS CORRELATED WITH NEURAL CREST CELL DISTRIBUTION. Seong-Seng Tan, Kathryn L. Crossin, Stanley Hoffman and Gerald M. Edelman in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 84, No. 22, pages 7977—7981; November, 1987.

ТОПОБИОЛОГИЯ: AN INTRODUCTION TO MOLECULAR EMBRYOLOGY. Gerald M. Edelman. Basic Books, Inc., 1988.

ДИНАМИКА ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

SOLAR-TERRESTRIAL PHYSICS. Syun-ichi Akasofu and Sydney Chapman. Oxford University Press, 1972. [Имеется перевод: Акасофу С., Чепмен С. СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА.— М.: «Мир», 1974].

AURORA. A. Vallance Jones. D. Reidel Publishing Co., 1974.

MAJESTIC LIGHTS. Robert H. Eather. American Geophysical Union, 1980.

THE NORTHERN LIGHTS: From Mythology to Space Research. Asgeir Brekke and Alf Egeland. Springer-Verlag, 1983.

THE SOLAR WIND AND THE EARTH. Syun-Ichi Akasofu and Yosuke Kamide. D. Reidel Publishing Co., 1987.

Сергеев В. А., Цыганенко Н. А. МАГНИТОСФЕРА ЗЕМЛИ — М.: «Наука», 1980.

ФИЗИКА АВРОРАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ. Отв. ред. Б. Е. Брюнелли, В. Б. Ляцкий. — Л.: «Наука», 1988.

ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ АМАЗОНИИ

EQUATORIAL ATLANTIC DEEP-SEA ARKOSIC SANDS AND ICE-AGE ARIDITY IN TROPICAL SOUTH AMERICA. John E. Damuth and Rhodes W. Fairbridge in *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 81, No. 1, pages 189—206; January, 1970.

SEDIMENTATION AND SEDIMENTS OF AMAZONIAN RIVERS AND EVOLUTION OF THE AMAZONIAN LANDSCAPE SINCE PLIOCENE TIMES. G. Irion in *The Amazon: Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and Its Basin*, edited by Harald Sioli. Dr. W. Junk Publishers, 1984.

BIOGEOGRAPHY AND QUATERNARY HISTORY IN TROPICAL AMERICA. Edited by T. C. Whitmore and G. T. Prance. Oxford University Press, 1987.

AMAZON DIVERSITY IN LIGHT OF THE PALEOECOLOGICAL RECORD. Paul Colinvaux in *Quaternary Science Reviews*, Vol. 6, No. 2, pages 93—114; 1987.

PLEISTOCENE FOREST REFUGES IN THE AMAZON: EVALUATION OF THE BIOSTRATIGRAPHICAL, LITHOSTRATIGRAPHICAL AND GEOMORPHOLOGICAL DATA. Jukka Salo in *Annales Zoologici Fennici*, Vol. 24, pages 203—211, 1987.

СУМЧАТЫЕ ЛЯГУШКИ

MULTIPLE NUCLEI DURING EARLY OOGENESIS IN *FLECTONOTUS PYGMAEUS* AND OTHER MARSUPIAL FROGS. Eugenia M. del Pino and A. A. Humphries, Jr. in *The Biological Bulletin*, Vol. 154, No. 2, pages 198—212; April, 1978.

A NOVEL DEVELOPMENT PATTERN FOR FROGS: GASTRILUTION PRODUCES AN EMBRYONIC DISC. Eugenia M. del Pino and Richard P. Elinson in *Nature*, Vol. 306, No. 5943, pages 589—591; December 8, 1983.

OOGENESIS IN THE EGG-BROODING FROG *GASTROTHECA RIOBAMBAE* PRODUCES LARGE OOCYTES WITH FEWER NUCLEOLI AND LOW RNA CONTENT IN COMPARISON TO *XENOPUS LAEVIS*. E. M. del Pino, H. Steinbeisser, A. Hofmann, C. Dreyer, M. Campos

and M. F. Trendelenburg in *Differentiation*, Vol 32, pages 24—33, 1986.

ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ В МЕДИЦИНЕ

FIBER OPTICS: THEORY AND PRACTICE. W. B. Allen. Plenum Press, 1973.

HANDBOOK OF FIBER OPTICS: THEORY AND APPLICATIONS. Edited by H. F. Wolf. Granada Publishing, Inc., 1979.

LASERS IN SURGERY. John A. Dixon in *Current Problems in Surgery*, Vol. 21, No. 9; September, 1984.

OPTICAL FIBERS IN MEDICINE IV. In *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, edited by A. Katzir, Vol. 1067; June, 1989.

ГЕНРИ НОРРИС РЕССЕЛ

THE HISTORY OF ASTRONOMICAL SPECTROSCOPY. Donald H. Menzel in *Annals of the New York Academy of Sciences*, Vol. 198, pages 225—244; 1972.

ASTRONOMERS TAKE UP THE STELLAR ENERGY PROBLEM. Karl Hufbauer in *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 11, Part 2, pages 277—303; March, 1981.

QUANTUM PHYSICS AND THE STARS. David H. DeVorkin and Ralph Kenat in *Journal for the History of Astronomy*, Vol. 14, No. 40, Part 2, pages 102—132; June, 1983 and Vol. 14, No. 41, Part 3, pages 180—222; October, 1983.

STELLAR EVOLUTION AND THE ORIGINS OF THE HERTZSPRUNG-RUSSEL DIAGRAM IN EARLY ASTROPHYSICS. David H. DeVorkin in *Astrophysics and Twentieth-Century Astronomy to 1950*, edited by Owen Gingerich. Cambridge University Press, 1984.

НАУКА ВОКРУГ НАС

HOMEGROWN HOLOGRAPHY. George Dowbenko. American Photographic Book Publishing Co., Inc., 1978.

LASERS AND HOLOGRAPHY: AN INTRODUCTION TO COHERENT OPTICS. Winston E. Kock. Dover Publications, Inc., 1981.

HANDBOOK OF HOLOGRAPHY: MAKING HOLOGRAMS THE EASY WAY. Fred Unterseher, Jeannene Hansen and Bob Schlesinger. Ross Books, 1982.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

THE BLIND WATCHMAKER. Richard Dawkins. W. W. Norton & Company, 1987.

ARTIFICIAL LIFE: THE PROCEEDINGS OF AN INTERDISCIPLINARY WORKSHOP ON THE SYNTHESIS AND SIMULATION OF LIVING SYSTEMS HELD SEPTEMBER, 1987, IN LOS ALAMOS, NEW MEXICO. Edited by Christopher G. Langton. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 19.06.89.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Бумага офсетная №1.

Усл.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 17,25.

Усл. кр.-отт. 51,36.

Изд. № 25/6785. Заказ 529.

Тираж 26830 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Госкомиздата СССР

129820, ГСП, Москва, И-110,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Госкомиздата СССР

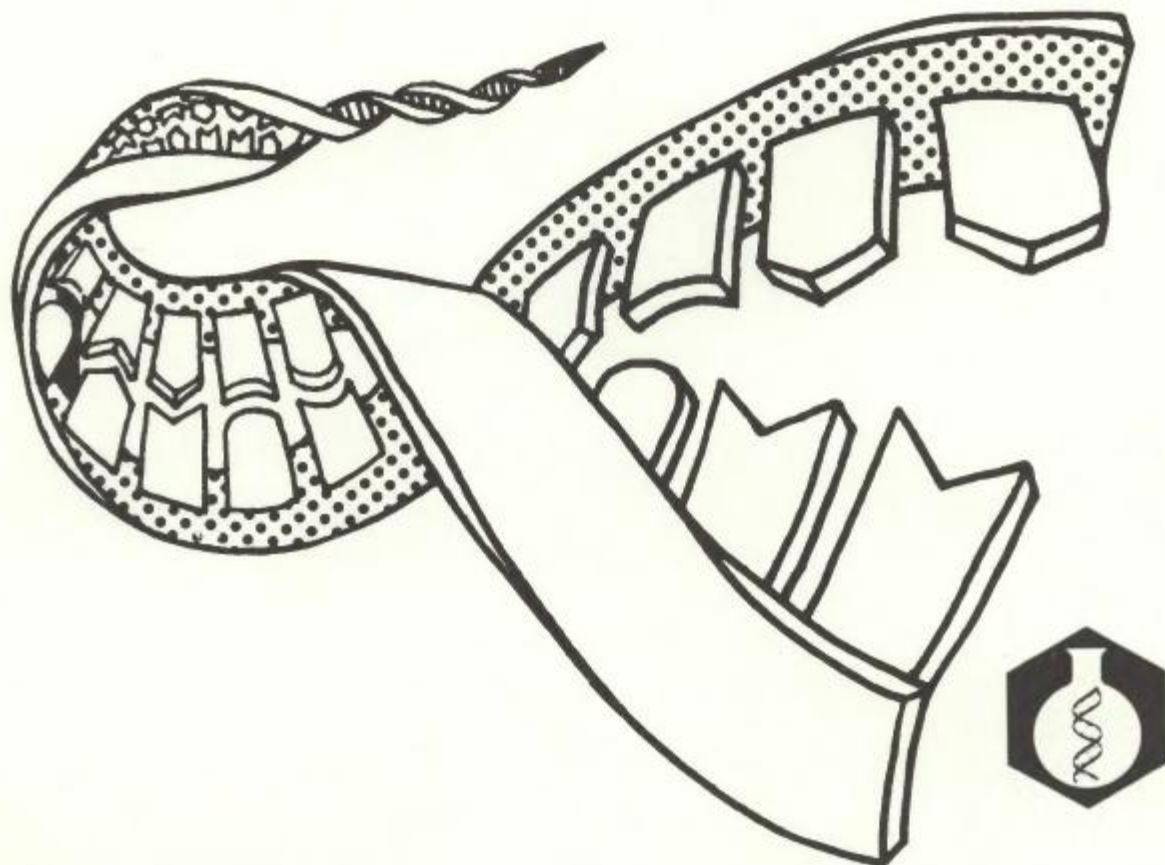
127576, Москва, Илимская, 7



Внимание читателей!

АНАЛИЗ ГЕНОМА

Перевод с английского
Под редакцией К. Дейвиса



Сборник методов, применяемых в молекулярной биологии и генетике, в частности, в программе по картированию генома человека. Изложению каждого метода предшествует краткое теоретическое введение, что делает книгу доступной для начинающих исследователей.

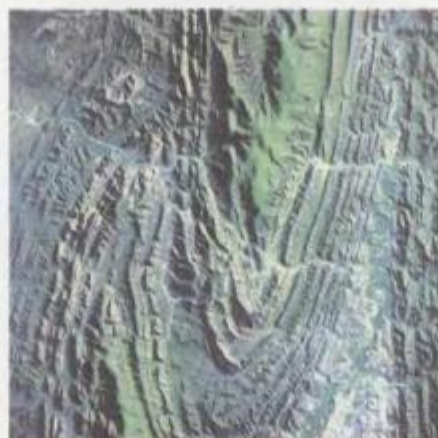
Содержание. Методы трансфекции эукариотических клеток. Рестрикционное картирование. Технология больших молекул ДНК. Выявление единичных замен нуклеотидов в ДНК. Цепная полимеразная реакция получения ДНК. Молекулярная дактилоскопия.

Для молекулярных биологов и генетиков.

1990, 17 л. Цена 3 р. 40 к.



В следующем номере:



СКРЫТЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

К НОВОЙ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АМЕРИКЕ

ЭПИГЕНЕТИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ

ОКАМЕНЕЛОСТИ ГОРЫ САН-ДЖОРДЖО

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ

КАНАЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЗИТРОНОВ

УСТАНОВЛЕНИЕ ПОДЛИННОСТИ
АНТИЧНЫХ МРАМОРНЫХ СКУЛЬПТУР
С ПОМОЩЬЮ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

АБСЕНТ

МЕХАНИКА ДЛЯ СКАЛОЛАЗОВ,
ИЛИ РЕШАЮЩИЙ ЭКЗАМЕН ПО ФИЗИКЕ

КОМПЬЮТЕР ПРОБУЕТ СВОИ СИЛЫ
В ПРОЗЕ И ПОЭЗИИ