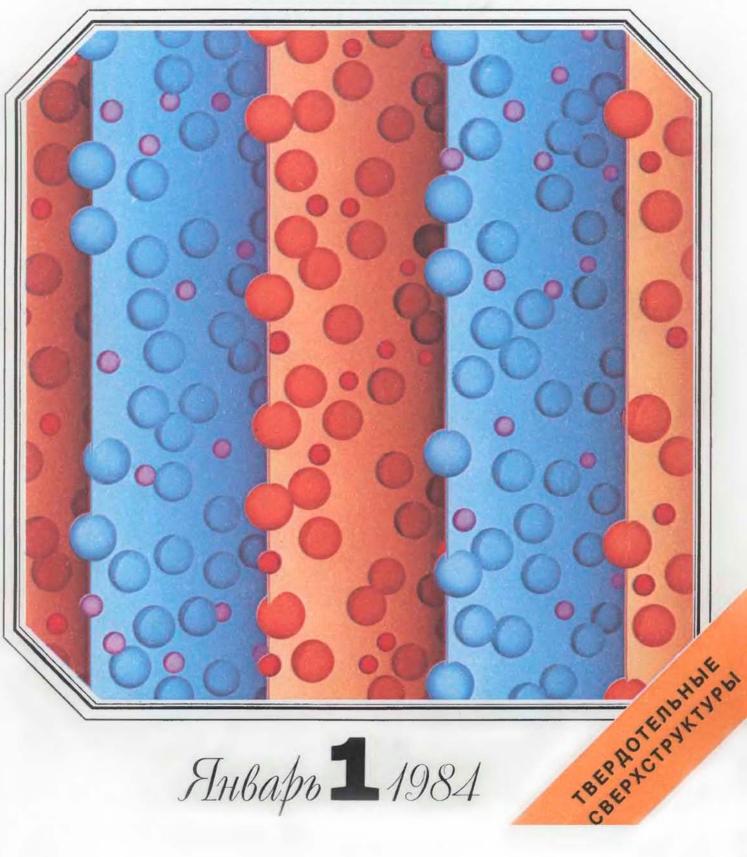
WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC AMERICAN

Издание на русском языке



Январь 1 1984

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

УЗдательство МИР предлагает:

В. Гильде ЗЕРКАЛЬНЫЙ МИР

Перевод с немецкого



Человек — существо симметричное Как отражает зеркало Пестрый мир калейдоскопа Путь к Нобелевской премии Двух одинаковых яиц не бывает

Приведенное здесь оглавление затрагивает лишь крохотную часть проблем, рассмотренных в книге. Мы знаем, что человек симметричен — но заменить у него, скажем, правую ногу левой нельзя, хотя такая замена, возможно, и приветствовалась бы обувщиками. Симметричны листья деревьев, детали машины, драгоценные камни, свойства симметрии определяют целебную силу многих лекарств, наши унаследованные от предков качества закодированы в симмет-

ричной спирали ДНК — и так далее, вплоть до микромира, где законы симметрии дают нам ключ к познанию тайн вещества. Диапазон величин, с которыми мы встречаемся в книге, определяется, как указывает сам автор, числом с сорока нулями — от 15⁻¹⁵ до 10²⁵. Рассмотрение сложнейших вопросов — таких, как строение материи или загадки Вселенной, перемежаются забавными рассказами и примерами, что делает книгу доступной для широкого круга читателей.

1982, 120 стр. Цена 1 р. 80 к.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

иллюстрированный журнал

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО · ВЫХОДИТ 12 РАЗ В ГОД · ИЗДАЕТСЯ С 1983 ГОДА ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 1 - ЯНВАРЬ 1984

В номере:

СТАТЬИ

- 4 Центавр А ближайшая активная галактика Джек О. Бернс, Р. Маркус Прайс Активные галактики излучают в миллион раз больше энергии, чем обычные галактики. По наблюдениям объекта Центавр А изучается происхождение их излучения (Scientific American, November 1983, Vol. 249, No. 5)
- 16 Трубопроводы для транспорта гидросмесей Эдвард Дж. Уосп В США трубопроводы используются для транспорта водно-рудной и водно-угольной пульпы. Они играют важную роль в доставке угля из западных штатов на электростанции в других частях страны (Scientific American, November 1983, Vol. 249, No. 5)
- 26 Молекулярные основы рака Роберт А. Вайнберг Рак у человека возникает вследствие изменения нормальных генов, превращающихся в онкогены. Известен случай, когда такое кардинальное изменение обусловлено единственной точковой мутацией в гене, приведшей к замене одной аминокислоты в белке продукте этого гена (Scientific American, November 1983, Vol. 249, No. 5)
- 38 Археологические раскопки Великого Новгорода В.Л. Янин Разнообразие и исключительная сохранность древних предметов, найденных при раскопках в Новгороде, позволили археологам и историкам получить удивительные свидетельства обширных связей средневековой русской республики со странами Европы. Столицей этой республики был Великий Новгород
- 50 Твердотельные сверхструктуры Готфрид Х. Дёхлер Твердотельные сверхструктуры — это кристаллы, выращенные напылением полупроводников слоями толшиной в несколько атомов. Их свойства могут иметь большое значение для физики твердого тела и технологии полупроводниковых приборов (Scientific American, November 1983, Vol. 249, No. 5)
- 60 Адаптация жуков-зерновок к ядовитым семенам Джеральд А. Розенталь Личинки жуков-зерновок питаются семенами, содержащими аминокислоту, которая очень ядовита для других насекомых. Личинки преодолевают токсическое действие аминокислоты, а также используют солержащийся в ней азот (Scientific American, November 1983, Vol. 249, No. 5)
- 68 Извержение Кракатау Питер Фрэнсис, Стивен Селф
 Только теперь выясняется природа взрывов, 100 лет назад уничтоживших большую часть одного из островов Зондского архипелага. Исследователи обратили внимание на состав вулканических пород и время появления воздушных и морских волн
 (Scientific American, November 1983, Vol. 249, No. 5)
- 80 Социальная археология мегалитических памятников Колин Ренфрю Переход от простых могил к сложным погребальным сооружениям в эпоху неолита на территории Западной Европы совпадал, по-видимому, с появлением централизованной политической власти (Scientific American, November 1983, Vol. 249, No. 5)

РУБРИКИ

- з Об авторах
- 37, 90, 110 Наука и общество
 - 59 50 и 100 лет назад
 - 92 Наука вокруг нас
 - 98 Книги
 - 103 Занимательный компьютер
 - 111 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

BOARD OF EDITORS

Gerard Piel

Dennis Flanagan

Brian P. Hayes

Philip Morrison

John M. Benditt Peter G. Brown Michael Feirtag Robert Kunzig Diana Lutz Jonathan B. Piel

John Purcell James T. Rogers Armand Schwab, Jr. Joseph Wisnovsky

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER

George S. Conn GENERAL MANAGER

© 1983 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

На обложке



ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ СВЕРХСТРУКТУРЫ

Цветное изображение на обложке — сверхрешетка, замечательные электронные и оптические свойства которой определяются сверхтонкими слоями полупроводника (см. статью Готфрида Х. Дёхлера «Твердотельные сверхструктуры» на с. 50). Это легированная сверхструктура, состоящая из одного полупроводника, разбитого на слои, легированные разными примесями. Оранжевые плоскости — *п*-слои, они легированы донорными атомами (*оранжевые сферы*), которые отдают электроны и становятся положительно заряженными ионами. Синие плоскости — *р*-слои, они легированы акцепторными атомами (*синие сферы*), которые связывают электроны и становятся отрицательно заряженными ионами. Напряжение, приложенное к кристаллу, направляет свободные электроны (*маленькие красные сферы*) в *п*-слои, а «дырки» (*маленькие фиолетовые сферы*) — в *р*-слои. В типичном полупроводнике эти носители заряда рекомбинируют за миллиардные доли секунды, а энергия каждой электронно-дырочной пары уносится фотонами. В сверхрешетке носители могут существовать в течение нескольких часов.

В МИРЕ НАУКИ

главный редактор С.П. Капица

заместитель главного редактора Л.В.Шепелева

> научные редакторы 3. Е. Кожанова О. К. Кудрявов Т. А. Румянцева А. М. Смотров

литературные редакторы л. И. Леонова М. М. Попова

художественный редактор С.А.Стулов

технический редактор Л.П.Чуркина

корректор Р.Л.Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ, ТИПОГРАФИКА РУССКОГО ИЗДАНИЯ, МАКЕТ СМЕННЫХ ПОЛОС: М.Г.Жуков

> титульная надпись, 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», 1984

Иллюстрации

обложка: George V. Kelvin

5 Jack O. Burns, Eric D. Feigelson

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

Eric D. Feigelson and Ethan J. Schreier

6 Jack O. Burns and R. Marcus Price, University of New Mexico

8 Ian Worpole

9 Jack O. Burns, Eric D. Feigelson and Ethan J. Schreier

10-11 Ian Worpole

12 Jack O. Burns, Eric D. Feigelson and Ethan J. Schreier

13 Ian Worpole

17 Edward J. Wasp

18-23 Walken Graphics

27 Erika A. Hartwieg and Jonathan A. King, Massachusetts Institute of Technology

28-34 Bunji Tagawa

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

35 Ravi Dhar

36 Bunji Tagawa
 39 Ю. Д. Королев

40 С. А. Стулов

41 Ю.Д.Королев

42 С. А. Стулов

43 Ю.Д. Королев

44 А.П. Дорофеев

46 А.П.Дорофеев

47 Ю.Д.Королев

48 С.А.Стулов 49 Ю.Д.Королев

51 Pierre M. Petroff and Arthur C. Gossard, Bell Laboratories

52-57 Allen Beechel

61 James E. Mattler

62-67 Patricia J. Wynne

69 Album of Krakatau

70-77 Todd Pink

78 Maurice Krafft

81 Colin Renfrew,

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

University of Cambridge

82 Andrew Tomko

83 West Air Photography

84-86 Andrew Tomko

87 Patricia J. Wynne after Alec Daykin

88 Colin Renfrew, University of Cambridge

93 Jearl Walker

94-96 Michael Goodman

103-104 Edward Bell

105 Ilil Arbel (вверху) Edward Bell (внизу)

106-108 Edward Bell

Об авторах

Jack O. Burns, R. Markus Price (ДЖЕК О.БЕРНС, Р. МАРКУС ПРАЙС «Центавр А — ближайшая активная галактика») — сотрудники Университета шт. Нью-Мексико. Бернс — доцент астрономии, Прайс - профессор физики и астрономии, декан факультета. В 1974 г. Бернс окончил Массачусетский университет со степенью бакалавра; степень доктора философии в области астрономии получил в Университете шт. Индиана; затем был аспирантом в Национальной радиоастрономической обсерватории. С 1980 г. работает в Нью-Мексико. В круг его научных интересов помимо темы настоящей статьи входят также сверхскопления галактик. Прайс получил степень бакалавра в Университете шт. Колорадо, затем учился в Австралии. Степень доктора философии в области астрономии получил в Австралийском национальном университете. По возвращении в США в течение 8 лет работал в Массачусетском технологическом институте. Затем стал первым руководителем отдела радиоспектров Национального научного фонда, где возглавлял также отдел астрономических исследований. В Нью-Мексико работает с 1979 г. Он — один из тех, кто открыл фарадеевское вращение, при котором плоскость поляризации радиоизлучения внегалактических источников поворачивается при прохождении радиоволн сквозь межзвездную среду и магнитные поля в нашей Галактике.

Edward J. Wasp (ЭДВАРД ДЖ. УОСП «Трубопроводы для транспорта гидросмесей») — инженер-химик, большую часть своей деятельности посвятил разработке технологии дальнего трубопроводного транспорта гидросмесей. Окончил колледж Cooper Union, степень магистра математических наук получил в Нью-йоркском университете. В 1951 г. поступил на работу в фирму Consolidation Coal Company в качестве управляющего технологическоконструкторской службой. В этой компании он отвечал за конструкторские работы, связанные с созданием углепровода «Истлейк», первого в США трубопровода для дальнего транспорта гидросмеси. Трубопровод длиной 173 км введен в эксплуатацию в 1957 г. и пролегает из южной части штата Огайо до г. Кливленд. В 1963 г. Уосп перешел в фирму Bechtel Petroleum, Inc., где был назначен управляющим трубопроводных систем для транспорта гидросмесей. Эту должность он занимает до настоящего времени. В 1973 г. он стал вице-президентом и распорядителем проекта трубопровода «Этси». Проект предусматривает сооружение углепровода для доставки угля из шт. Вайоминг на электростанцию шт. Луизиана.

Robert A. Weinberg (РОБЕРТ A. ВАЙН-«Молекулярные основы рака») — профессор биологии в Массачусетском технологическом институте. Свою деятельность в МТИ он начал еще в студенческие годы. Здесь стал бакалавром, затем магистром, в 1969 г. получил степень доктора философии в области биологии. Работал в Вейцмановском институте в Израиле, а также в Институте биологических исследований Солка; в 1972 г. возвратился в МТИ. С 1982 г. является профессором кафедры биологии МТИ. Одновременно ведет исследования в Центре по изучению рака и в Институте медико-биологических исследований в Vайтхеле

ВАЛЕНТИН ЛАВРЕНТЬЕВИЧ ЯНИН («Археологические раскопки Великого Новгорода») закончил исторический факультет МГУ. Раскопками начал заниматься еще будучи студентом. С 1962 г. по настоящее время — начальник Новгородской археологической экспедиции. Зав. кафедрой археологии Московского Государственного Университета, профессор, чл.-корр. АН СССР, Лауреат Государственной премии СССР.

Gottfried H. Döhler (ГОТФРИД Х. ДЁХЛЕР «Твердотельные сверхструктуры») — сотрудник Института физики твердого тела им. Макса Планка в Штутгарте. Он пишет: «Я стал физиком-теоретиком, будучи еще аспирантом. Каждый раз, когда я начинал теоретическое исследование явления, заинтересовавшего меня первоначально с точки зрения фундаментальных физических основ, я вскоре обнаруживал интереснейшие следствия для экспериментов или практических приложений. Поэтому основным стимулом пля дальнейшей работы становились экспериментальные и прикладные аспекты, и я старался разработать модификации исходной теории высшего порядка. Так было и при изучении эффектов, наблюдающихся в полупроводниках в сильном электрическом поле, и в моей последней работе, посвященной теории переноса в аморфных полупроводниках. Искусственные полупроводниковые сверхструктуры именно такая область исследования, в которой тесно связаны теория, эксперимент и практические приложения».

Colin Renfrew (КОЛИН РЕНФРЮ «Социальная археология мегалитических памятников») — лауреат премии Диснея, профессор археологии Кембриджского университета. Родился в Великобритании, окончил Кембриджский университет. Степень бакалавра гуманитарных наук получил в 1962 г. в Сент-Джонз-Колледж, а степень доктора философии в области археологии была присуждена ему Кембриджским университетом в 1965 г. После службы в ВВС Великобритании К. Ренфрю преподавал историю и археологию в Шеффилдском университете, а позднее перешел в Саутгемптонский университет на должность профессора и декана факультета археологии. В 1981 г. вернулся в Кембриджский университет.

Peter Francis, Stephen Self (ПИТЕР ФРЭНСИС, СТИВЕН СЕЛФ «Извержение Кракатау») — геологи, занимаются изучением влияния вулканических извержений на климатические условия. П. Фрэнсис родился в Замбии, которая тогда называлась Северной Родезией. Окончил Имперский колледж науки и техники Лондонского университета: в 1969 г. получил степень доктора философии в области геологии. С 1971 г. преподает на факультете наук о Земле Открытого университета Великобритании. В 1981 г. был приглашен в Институт Луны и планет в Хьюстоне. С. Селф родился в Англии, закончил Университет в Лидсе, где получил степень бакалавра. Учился в Имперском колледже науки и техники; в 1974 г. стал доктором философии в области геологии. Несколько лет работал в Веллингтонском университете королевы Виктории, собирая данные об извержениях вулкана Таупо. Был приглашен в США вести исследования влияния вулканических процессов на климат в рамках программы, финансируемой НАСА. В 1979 г. С. Селф начал преподавательскую деятельность в Университете шт. Аризона; в 1982 г. перешел на геологический факультет Техасского университета в Арлингтоне.

Gerald A. Rosenthal (ДЖЕРАЛЬД А. PO-ЗЕНТАЛЬ «Адаптация жуков-зерновок к ядовитым семенам») - профессор Университета шт. Кентукки, биолог и токсиколог. Окончил со степенью бакалавра Колледж лесного хозяйства и окружающей среды Университета шт. Нью-Йорк (г. Сиракьюс). Продолжил свое образование в Университете Дюка, где получил степени магистра в области лесоводства и доктора в области физиологии и биохимии растений. Несколько лет работал как биохимик в Национальных институтах здоровья, затем перешел на биологический факультет Университета Кейс-Вестерн -Ризерв. В 1972 г. он стал сотрудником Университета шт. Кентукки. В 1979 г. занял должность профессора кафедры сельскохозяйственной энтомологии Еврейского университета в Иерусалиме.

Центавр Аближайшая активная галактика

Активные галактики излучают в миллион раз больше энергии, чем обычные галактики. По наблюдениям объекта Центавр А изучается происхождение их излучения

ДЖЕК О.БЕРНС, Р. МАРКУС ПРАЙС

КТИВНЫЕ галактики относятся к числу самых больших и удивительных из всех объектов, наблюдавшихся во Вселенной. Число активных галактик составляет лишь несколько процентов общего числа известных галактик, но они могут испускать в широких диапазонах электромагнитного спектра в миллион раз больше энергии, чем обычные галактики. Активная галактика излучает во всех областях электромагнитного спектра: от гамма-лучей до радиоволн. В последнее время большое число наблюдений этих объектов выполнено в радиодиапазоне, в котором активная галактика может излучать в 100 000 раз сильнее, чем обычная галактика.

Ближайшая к нам активная галактика — Центавр А — находится на расстоянии 15 млн. световых лет. Линейные размеры видимой галактики составляют несколько десятков тысяч световых лет. Под углом к центральной плоскости видимой галактики простирается область радиоизлучения (радиообласть), размеры которой от одного конца до другого около 3 млн. световых лет. Если бы радиообласть Центавра А была видимой, то на земном небе она была бы в 20 раз больше Луны.

Каково происхождение и источники энергии гигантской радиообласти активной галактики, такой, как Центавр А? Благодаря объединению данных наблюдений в рентгеновском, радио- и оптическом диапазонах астрономы уже немало узнали о строении источника Центавр А. Вещество, образующее радиообласть, исторгается источником в центре галактики подобно струе воды из шланга. Из центрального источника выбрасывается испускающий радиоволны узкий пучок плазмы (сильно ионизованного газа, состоящего в основном из электронов, движущихся со скоростями, близкими к скорости света, и возможно, протонов, а также пронизанного магнитными полями). Удаляясь от центра галактики, электроны излучают в широком диапазоне частот. При этом они теряют энергию

и их движение быстро затормозилось бы, если бы они непрерывно не получали энергию. На своем пути от центрального источника пучок проходит через три радиообласти, выстроившиеся одна за другой в порядке увеличения размеров. Средняя область совпадает с системой оптических волокон — узких протяженных образований, излучающих в видимой области спектра. Недавно было показано, что эти волокна являются областями звездообразования.

Хотя за последнее десятилетие удалось многое узнать об активных галактиках, некоторые из их важнейших свойств до сих пор не объяснены. Природа источника, разгоняющего плазменный пучок, точно не известна, а о деталях механизма его действия приходится только гадать. К тому же предложено несколько возможных объяснений того, как ускоряются электроны в пучке на пути от галактического ядра. Современный уровень знаний в этой области не позволяет найти правильное объяснение. Не известно также, как радио- и оптический компоненты галактики взаимодействуют в области звездообразования. Недавние наблюдения Центавра А в рентгеновском и радиодиапазонах значительно расширили объем наших знаний о явлениях, происходящих в этой активной галактике. С одной стороны, новые данные позволяют лучше понять этот источник, с другой — были обнаружены физические процессы, столь грандиозные и мощные, что теперь эта активная галактика стала казаться еще более необычной и удивительной.

ЕНТАВР А, связанный с оптической галактикой NGC 5128, является самым мощным радиоисточником в созвездии Центавра (поэтому он и обозначен буквой А). В северном полушарии это созвездие видно в самой южной части неба, а на широте Австралии оно сверкает прямо над головой. В шт. Нью-Мексико, где были выполнены многие из недавних наблюдений с помощью Большой антенной решетки

Национальной радиоастрономической обсерватории, галактика поднимается над горизонтом лишь на несколько часов в сутки, причем ее максимальная высота едва достигает 14°.

Центавр A — один из сильнейших радиоисточников на небе. Высокая мощность излучения и близость к нашей Галактике позволяют наблюдать такие процессы и детали его структуры, которые, может быть, типичны для всех активных галактик, но не поддаются обнаружению из-за их удаленности. Вот почему в последние годы Центавр А находится в центре внимания астрономов. Помимо Большой антенной решетки он изучался с помощью многих чувствительных приемников космического излучения, в том числе на 4-метровом телескопе Межамериканской обсерватории Серро-Тололо (Чили), Англо-автралийском радиотелескопе в Сайдинг-Спринг (Австралия) и с борта рентгеновского спутника-обсерватории «Эйнштейн».

Большая часть наблюдаемого излучения Центавра А обусловлена тремя физическими процессами и связана с потерями энергии электронами. Однако механизмы потерь энергии и характеристики излучения во всех трех случаях различны. В первом процессе облака межзвездного газа приобретают энергию за счет падающего на них извне излучения. Атомы газа поглощают излучение и ионизуются. Вблизи таких ионов траектория электрона искривляется и он испытывает ускорение. Большинство ионов — это протоны (ядра атомов водорода, потерявших единственный электрон). Электрон, отклонившийся от своего пути, испускает фотон, или квант электромагнитного излучения. Возникающее в результате такого процесса излучение называют тепловым, поскольку его спектр сильно зависит от температуры газа.

Электромагнитное излучение можно описывать либо как поток фотонов, либо как волновой пакет. В первом случае его можно характеризовать энергией фотонов, во втором — частотой, которая обратно пропорциональна

ЦЕНТАВР А — БЛИЖАЙШАЯ АКТИВНАЯ ГАЛАКТИКА

длине волны. Чем выше энергия фотона, тем больше его частота и тем короче длина волны. В тепловом излучении распределение фотонов по энергиям, или частотам, непрерывное, т.е. на графике оно представляется гладкой кривой. Однако интенсивность излучения максимальна в довольно узкой полосе частот. Излучение не поляризовано, т.е. плоскости электромагнитных колебаний ориентированы произвольно.

Во втором процессе электрон движется по винтовой траектории вдоль

силовой линии магнитного поля. При этом он тормозится и испускает электромагнитное излучение по касательной к витку траектории. Такое излучение называют синхротронным. Подобно тепловому излучению, оно имеет непрерывный спектр, но охватывает бо-



ВНУТРЕННИЕ РАДИООБЛАКА ЦЕНТАВРА А, нанесенные на карту радиоизлучения центральной области галактики. Оптическая галактика имеет обозначение NGC 5128. Красным цветом отмечены области наиболее интенсивного, а темносиним — наиболее слабого радиоизлучения. Здесь, как и на других приведенных в статье изображениях, север — вверху, восток — слева. Внутренние радиооблака — симметричные округлые структуры, вытянутые в направлении северо-восток — юго-запад. Расстояние от одного конца радиоструктуры до другого 60000 световых лет. Внутренние радиооблака — самые маленькие из всех радиокомпонен-

тов, расположенных по обе стороны от центра галактики. Узкая перемычка между центром галактики и северным внутренним радиооблаком называется выбросом. Считают, что это поток плазмы, исторгаемый из галактического ядра (больший из двух красных овалов между внутренними радиооблаками). Радионаблюдения выполнили один из авторов (Бернс), Э. Фейгелсон и Э. Шрейер на Большой антенной решетке (шт. Нью-Мексико). Карта построена с помощью системы обработки изображений, созданной Д. Гиглиа из Сандианской национальной лаборатории.

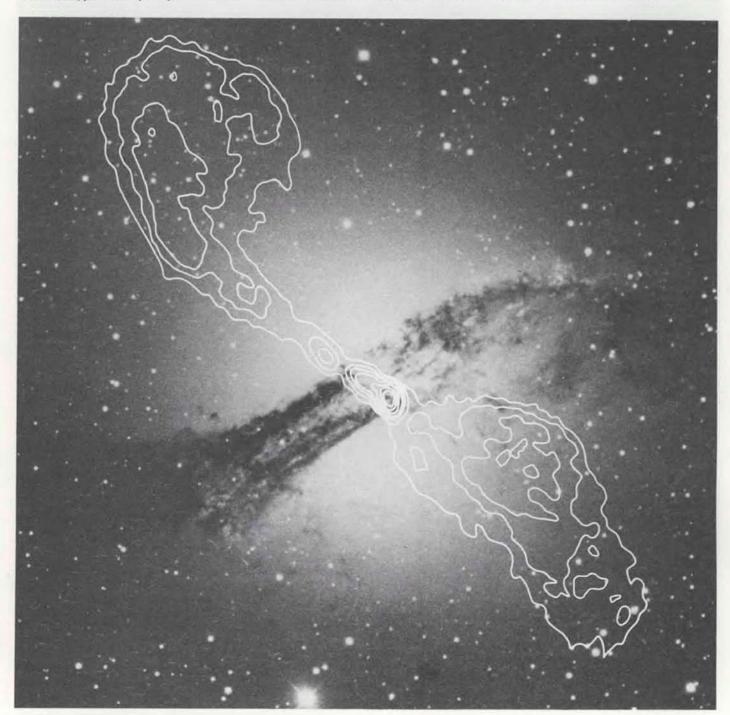
лее широкую область частот. Кроме того, синхротронное излучение поляризовано. Компоненты электрического поля всех волн лежат в плоскости, перпендикулярной магнитной силовой линии, вдоль которой движется электрон.

В третьем процессе фотон излучается при переходе электрона в атоме с более высокого энергетического уровня на низкий. Если атом в облаке газа поглощает энергию, то электрон может перейти на более высокий уровень; такой электрон стремится вернуться на исходный уровень. При переходе на бо-

лее низкий уровень испускается фотон с энергией, равной энергии поглощенного фотона. Испускаемые фотоны характеризуются набором дискретных частот, каждой из которых соответствует определенный переход в атоме. Такое излучение приводит к появлению серии ярких линий (атомных эмиссионных линий) на фоне непрерывного спектра, представляющего полный электромагнитный спектр источника; оно не поляризовано.

Как будет показано ниже, обнаружение синхротронного излучения очень важно для понимания физических процессов, протекающих в Центавре А. Однако первые наблюдения этой галактики были выполнены в оптической области. Это и не удивительно, так как NGC 5128 — седьмой по яркости внегалактический объект на небе. Из большого числа оптических наблюдений, которые производились с начала XIX в., стало ясно, что галактика имеет весьма необычную структуру: ей присущи черты как эллиптической, так и спиральной галактики.

Оптическое изображение галактики NGC 5128 представляет собой яркий эллипс с угловыми размерами около



ОПТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ И РАДИОИЗОФОТЫ Центавра А расположены перпендикулярно друг другу. Радиоизофоты наложены на изображение галактики NGC 5128. Галактика сочетает черты эллиптической и спиральной галактик. Протяженный светлый круг очень похож на эллиптическую галактику. Пересекающая круг темная полоса — дискообразное пылевое образование, содержащее газ,

пыль и скопления звезд. Пылевая полоса характерна для спиральной галактики. Края диска загнуты в противоположных направлениях. Эллиптический компонент вращается очень медленно, если вообще вращается, тогда как вращение диска надежно установлено. Ориентация радиоструктуры, исходящей из центра пылевой полосы, примерно совпадает с осью вращения диска.

7'. На расстоянии 15 млн. световых лет 1' соответствует 5000 световых лет. Значит наибольшая протяженность эллипса 35 000 световых лет. Согласно оценкам, масса галактики равна 3·10¹¹ солнечных масс. Такие массы и размеры типичны для эллиптических галактик.

Эллипс пересечен широкой полосой пыли, проходящей через центр. На фотографии эта темная полоса совпадает с меньшей осью эллипса. Пылевая полоса имеет форму «покоробленного» диска, края которого изогнуты в противоположных направлениях подобно полям шляпы.

ТЕМНАЯ полоса содержит пыль, скопления звезд и области, заполненные ионизованными атомами водорода. Нейтральные, неионизованные, атомы водорода принято обозначать НІ, а ионизованные — НІІ. Поэтому области ионизованного водорода называют областями НІІ. В пылевой полосе в областях НІІ газ имеет температуру порядка 10000 К. Газ нагревается излучением молодых горячих голубых звезд, недавно родившихся в газовом облаке. Областям НІІ соответствует характерный набор атомных эмиссионных линий.

Оптическая галактика NGC 5128, подобно большинству эллиптических систем, если и вращается, то очень медленно. Зато пылевой слой вращается, причем картина его вращения типична для спиральных галактик. Центры пылевой полосы и эллипса совпадают, и в этой системе, состоящей из двух компонентов, преобладает гравитационный потенциал эллиптического Такая конфигурация компонента. встречается крайне редко. Не исключено, что именно с этой особенностью галактики связана бурная активность ее центрального источника.

Прежде чем перейти к описанию рентгеновских и радионаблюдений Центавра А, вызывающих сейчас наибольший интерес, отметим еще одну особенность, наблюдаемую в оптическом диапазоне. На фотографиях с длительными экспозициями, выполненных Дж. Грэхемом на обсерватории Серро-Тололо, видна необычная вытянутая светящаяся область в северозападном квадранте галактики. Фотографии были сделаны в атомной эмиссионной линии На, обусловленной рекомбинацией электрона и протона в областях HII. На снимках видно, что на расстоянии 50000 световых лет от центра галактики находится прямолинейное волокнистое образование, содержащее три области HII, вытянувшиеся вдоль радиуса по направлению от центра галактики. Еще дальше, на расстоянии до 130000 световых лет, расположены области, излучающие в эмиссионных линиях и включающие

как волокна, так и диффузный газ. Спектральные исследования показывают, что с увеличением расстояния от ядра галактики степень возбуждения газа падает, следовательно, источник его возбуждения находится в центре галактики.

Вблизи некоторых вытянутых областей HII расположены цепочки ярких молодых голубых звезд, впервые замеченные В. Бланко и его сотрудниками на обсерватории Серро-Тололо. Если возраст этих звезд меньше 10 млн. лет, то они должны были родиться недалеко от того места, где теперь наблюдаются. Вряд ли они образовались в центре галактики и затем были выброшены оттуда. Расстояние этих звезд от галактического ядра 65 000 световых лет, и если бы даже они двигались с огромной скоростью 1000 км/с (во много раз превышающей скорость убегания из гравитационного поля галактики), продолжительность их существования недостаточна, чтобы они успели проделать путь от центра галактики до их современного местоположения.

Первые детальные радионаблюдения Центавра А начались в 1961 г., когда вступил в строй 600-метровый радиотелескоп Австралийской национальной радиоастрономической обсерватории. Одному из нас (Прайсу) посчастливилось, будучи аспирантом, вместе с Дж. Болтоном и Б. Купером участвовать в вводе в строй этого инструмента, который был в то время крупнейшим в мире радиотелескопом, и наблюдать на нем Центавр А. Довольно быстро удалось установить, что излучение галактики плоскополяризованное, т.е. обусловлено синхротронным процессом.

Дальнейшие исследования показали, что по мере прохождения радиоволн через области нашей Галактики, содержащие электроны космических лучей и слабые магнитные поля, плоскость поляризации излучения поворачивается. Этот поворот, называемый фарадеевским вращением, пропорционален квадрату частоты излучения. Хотя фарадеевское вращение было предсказано теоретически, при наблюдениях источника Центавр А на астралийском радиотелескопе было впервые надежно доказано его существование.

Итак, первые же радиоисследования источника Центавр А привели к двум важным результатам: подтвердили предположение о существовании межзвездного магнитного поля в нашей Галактике, а также гипотезу, согласно которой радиоизлучение источника NGC 5128 возникает в результате синхротронного процесса. Это был важный шаг к пониманию природы активной галактики.

Кроме того, по радионаблюдениям в Астралии была построена первая надежная карта радиоструктуры Центавра А. Оказалось, что протяженность радиообласти составляет 2,7 млн. световых лет (около 10° на небесной сфере). В начале 60-х годов, когда впервые была составлена карта Центавра А, это был самый большой известный астрономический объект. За последнее десятилетие были найдены еще более протяженные радиоисточники, но Центавр А по-прежнему принадлежит к числу крупнейших.

Направление протяженных радиообластей, расположенных по обе стороны от центра галактики, изменяется с увеличением расстояния от ядра. Вблизи ядра они ориентированы в направлении северо-восток - юго-запад, но внешние области направлены почти точно на север - юг. Это изменение направления почти на 65° связано с постепенным искривлением радиообласти по всей ее длине. В результате общая форма радиоисточника напоминает гигантскую букву S. Такое искривление указывает на то, что поток вещества, являющегося источником радиоизлучения, подвергается непрерывному возмущению. Возможно, оно связано с прецессией центрального источника (подобной прецессии оси вращающегося волчка) или с наличием газа за пределами ядра, который оказывает давление на поток плазмы.

Между ядром галактики и границей радиоисточника располагается ряд сложных деталей радиоструктуры, размеры которых растут с увеличением расстояния от ядра, причем самые большие из них в миллион раз превосходят самые маленькие. Их тонкую структуру удалось выявить совсем недавно по наблюдениям с помощью Большой антенной решетки, в которых приняли участие один из авторов этих строк, а также Э. Фейгелсон из Пенсильванского университета, Э. Шрейер из Научно-исследовательского инстикосмического телескопа Дж. Кларк из Массачусетского технологического института.

В радиоинтерферометре типа Большой антенной решетки сигнал от источника одновременно принимается несколькими антеннами. В Большой антенной решетке их 27, причем они установлены вдоль трех пересекающихся направлений. При сравнении фаз волн, падающих на приемники, можно получить подробную картину радиоисточника. Большая антенная решетка позволяет достичь разрешения 1", что на расстоянии Центавра А от нас соответствует 80 световым годам. Это разрешение сравнимо с тем, которое достигается на фотопластинках, чувствительных к видимому излучению, при экспонировании на больших оптических телескопах.

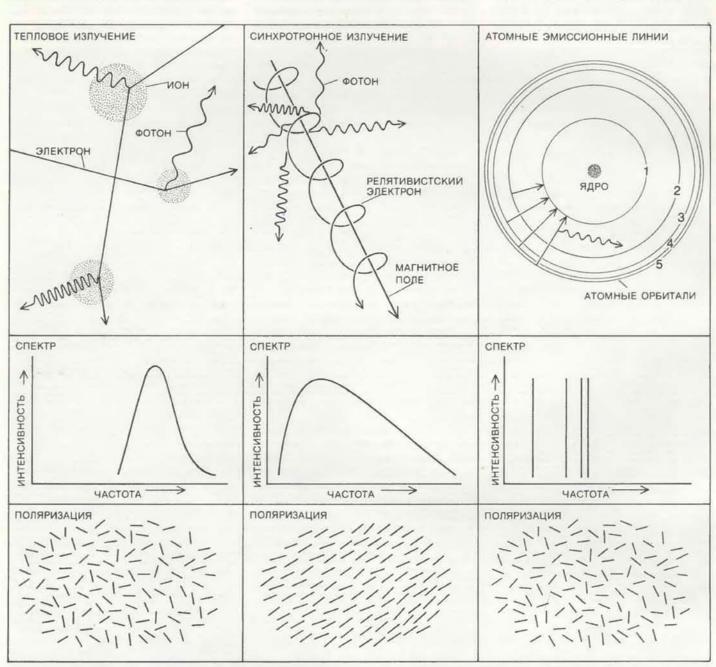
По мере приближения к ядру выявляется асимметрия радиоструктуры. В

направлении на северо-восток на расстоянии между 70000 и 130000 световых лет от ядра находится большое промежуточное радиооблако округлой формы. В соответствующем месте в юго-западном направлении подобного облака нет. Интенсивное излучение этого радиооблака по своему характеру отличается от излучения диффузного внешнего радиокомпонента. Положение промежуточного радиооблака совпадает с положением оптических волокон, с которыми связаны молодые звезды. Как будет показано ниже, оно также совпадает с областью, испускающей рентгеновское излучение.

Еще ближе к ядру по обе стороны от него находятся два внутренних радиооблака. Они также отличаются от
внешнего радиокомпонента и расположены симметрично относительно
центра галактики на расстоянии 30 000
световых лет от него. Их диаметры
всего 3 500 световых лет, т.е. значительно меньше промежуточного радиооблака. Ни рентгеновское, ни опти-

ческое излучение от них пока не наблюдались.

Свверное внутреннее радиооблако связано с ядром узкой перемычкой, испускающей рентгеновское и радиоизлучение и называемой радиовыбросом. Такие выбросы, наблюдаемые у многих радиогалактик, могли бы служить каналами, по которым от центрального источника во внутреннее радиооблако попадают электроны, недавно приобретшие большую энергию, и магнит-



РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ЦЕНТАВРА А может генерироваться одним из трех физических процессов, в которых электрон теряет энергию. Частота и интенсивность излучения зависят от механизма диссипации этой энергии. В случае теплового излучения (слева) при прохождении электронов в облаке горячего газа вблизи ионов (главным образом протонов) их траектория искривляется и они испытывают ускорение. При этом электрон испускает фотон, или квант излучения, который характеризуется энергией, частотой и длиной волны. Тепловое излучение непрерывно распределено по частотам, но оно наиболее интенсивно в довольно узкой обла-

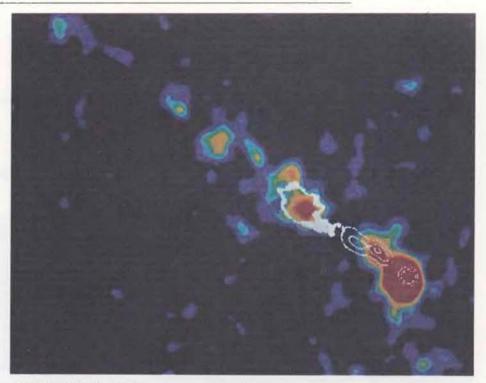
сти спектра. Тепловое излучение не поляризовано. При синхротронном излучении (в середине) фотоны испускаются релятивистскими электронами, движущимися по винтовой траектории вдоль магнитных силовых линий. Спектр синхротронного излучения охватывает широкую полосу частот; это излучение поляризовано. Электрон может также испускать фотон при переходе с более высокого энергетического уровня в атоме на более низкий (справа). Спектр такого излучения состоит из серии отдельных линий; это излучение не поляризовано.

ные поля. Если это действительно так, то выброс — «прохудившийся», малоэффективный канал, поскольку из него происходит «утечка» энергии в форме синхротронного излучения.

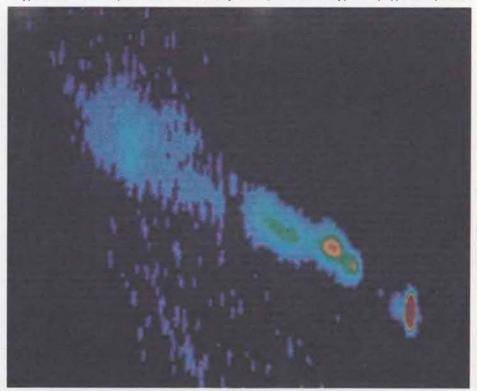
Вероятно, в асимметрии Центавра А наибольшего внимания заслуживает тот факт, что выброс есть лишь в северной части радиоисточника. Выбросы из ядра наблюдаются у многих радиогалактик и у некоторых из них они также односторонние. Причина такой асимметрии не известна, хотя и существует несколько гипотез. Л. Рудник из Миннесотского университета предположил, что выброс попеременно появляется то с одной, то с другой стороны. В результате за любой достаточно длительный период времени радиообласти будут снабжаться примерно одинаковым количеством энергии. Изменения направления выброса могут быть обусловлены его взаимодействием с плотным газом в окрестностях ядра. Согласно другой гипотезе, выброс существует по обе стороны от ядра, но вследствие релятивистских эффектов излучение от выброса, направленного к нам, значительно усиливается, а излучение от выброса, направленного от нас, в такой же мере ослабляется. Однако в этом случае скорость потока плазмы должна быть близка к скорости света, что вряд ли достигается в Центавре А.

Чем больше база (расстояние между антеннами) радиоинтерферометра, тем выше его разрешающая способность. Недавно разрешающая способность радиоинтерферометров была повышена благодаря использованию антенн, расположенных на разных континентах. Данные каждого инструмента записываются на магнитную ленту, а затем сопоставляются и совместно анализируются с помощью ЭВМ. Р. Престон с сотрудниками из Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института применил для наблюдений источника Центавр А радиотелескопы в Австралии и Южной Африке; им удалось наблюдать детали в ядре галактики размером всего лишь 0,003".

В САМОМ ядре галактики Престон с сотрудниками обнаружил выброс длиной около 0,050". На расстоянии Центавра А от нас 0,050" соответствует 4 световым годам. Маленький выброс вытянут в том же направлении, что и большой радиовыброс, найденный с помощью Большой антенной решетки. Такая поразительная коллимация пучка в пределах от 4 до 20000 световых лет означает, что центральный источник поддерживает соответствую-



ВНУТРЕННИЙ ВЫБРОС представляет собой очень узкий пучок плазмы, в котором электроны, получившие энергию, движутся от ядра Центавра А к северному внутреннему радиооблаку. Ядро галактики — компактная красная область внизу справа, на которую нанесены белые контуры. Выброс простирается к северовостоку от ядра: его протяженность 3000 световых лет. Моделированное на ЭВМ изображение объединяет данные радио- и рентгеновских наблюдений, выполненных Фейгелсоном и сотрудниками с помощью спутника «Эйнштейн». Цветом выделены области рентгеновского излучения, белые контуры — радиоизофоты.



ЭТО ИЗОБРАЖЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО ВЫБРОСА с высоким угловым разрешением — фрагмент иллюстрации вверху на этой странице. Ядро галактики — красный овал внизу справа. Цветные участки к северо-востоку от ядра — «узлы», области особенно интенсивного радиоизлучения. Поскольку релятивистские электроны в плазме израсходуют энергию примерно за 50 лет, они должны пополнить ее запасы, чтобы достичь внутреннего радиооблака на расстоянии 3000 световых лет от ядра. Возможно, «узлы» — это турбулентные области, в которых электроны приобретают энергию. Изображение получено с помощью Большой антенной решетки.

^{*} См. статью: Р. Блэндфорд, М. Беджелмен, М. Рис. Космические выбросы. — «В мире науки», 1983, № 2, с. 30. — Прим. ред.

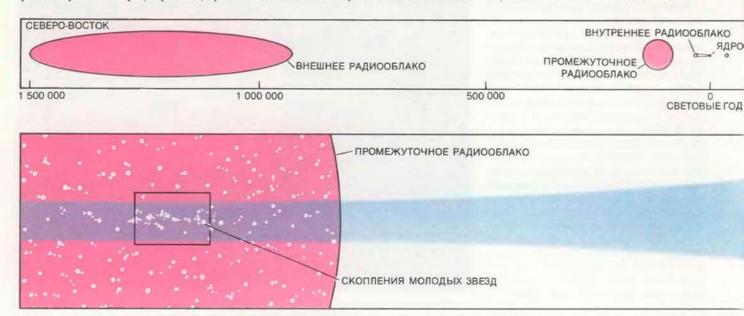
щую пространственную ориентацию в течение продолжительного периода времени. Маленький внутренний выброс расположен очень близко к центральному источнику и, вероятно, пред-

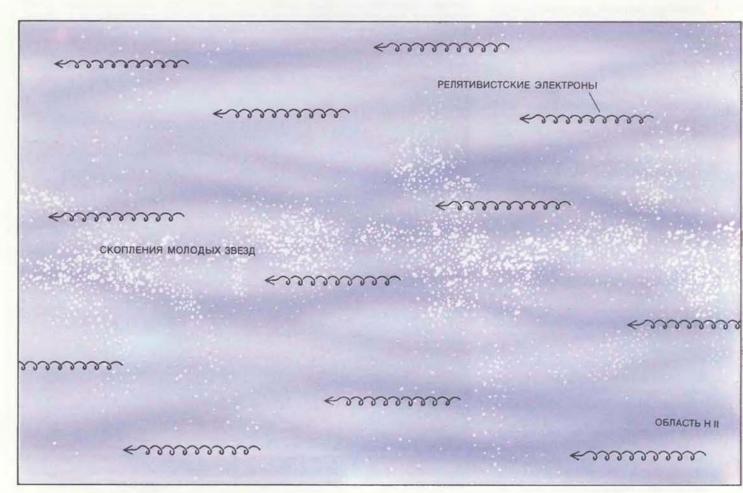
10

ставляет собой начальный участок пути, на котором поток плазмы приобретает определенное направление.

И наконец, завершает радиокарту галактики само ядро. Оно наблюдается

как сильный источник радиоизлучения в самом центре галактики. Разрешаюшая способность современных инструментов недостаточно высокая для того, чтобы выявить отдельные компо-



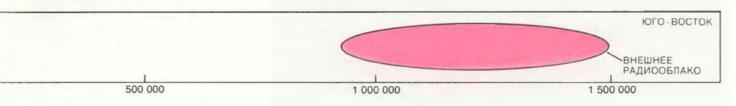


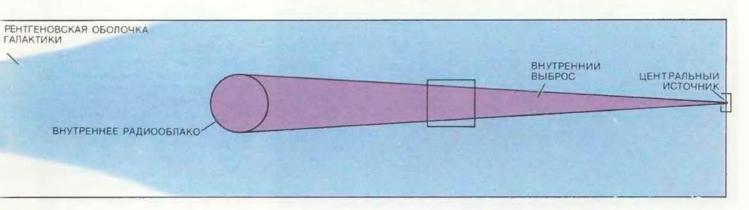
СХЕМАТИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ динамических процессов в излучающей области Центавра А (масштаб увеличивается сверху вниз). Полная протяженность излучающей области 3 млн. световых лет (вверху). Области радиоизлучения показаны красным цветом, рентгеновского излучения голубым. Оба внутренних радиооблака по разные стороны от центра галактики - области относительно интенсивного радиоизлучения в пределах диффузной радиоструктуры. Внутренний выброс, связывающий ядро с северным внутренним радиооблаком, интенсивно излучает как в рентгеновском, так и в радиодиапазоне (в середине). Он погружен в более протяженную область диффузного рентгеновского излучения, испускаемого межзвездной средой. Область диффузного рентгеновского излучения простирается до северного промежуточного радиооблака. С одного края промежуточного радиооблака находятся протяженные оптические волокна и яркие голубые точечные источники. Одна из гипотез, которая объясняет многие рентге-

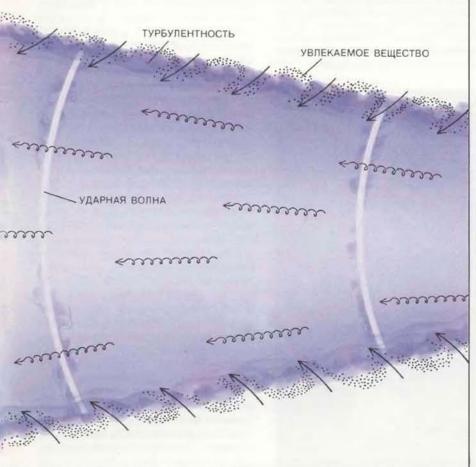
ЦЕНТАВР А — БЛИЖАЙШАЯ АКТИВНАЯ ГАЛАКТИКА

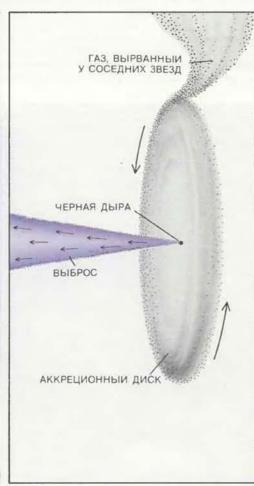
ненты его структуры. Пока Центавр А подробно исследовался с помощью радиоинтерферометров, о нем был собран значительный объем информации другого рода.

Рентгеновский телескоп, установленный на борту спутника «Эйнштейн», запушенного в ноябре 1978 г., был первым инструментом, способным регистрировать и строить изображения в мягком рентгеновском диапазоне не только Солнца, но и других источников. Энергия мягких рентгеновских лучей сравнительно низка: от 1000 до 10000 эВ, а энергия жестких рентге-

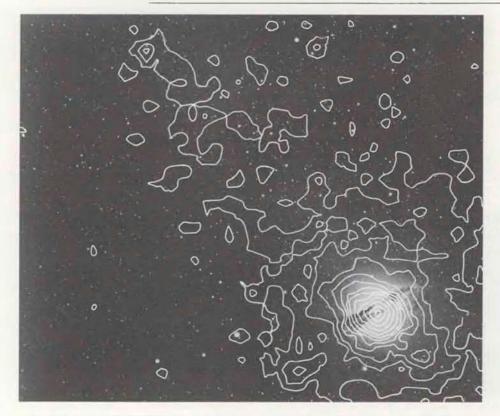




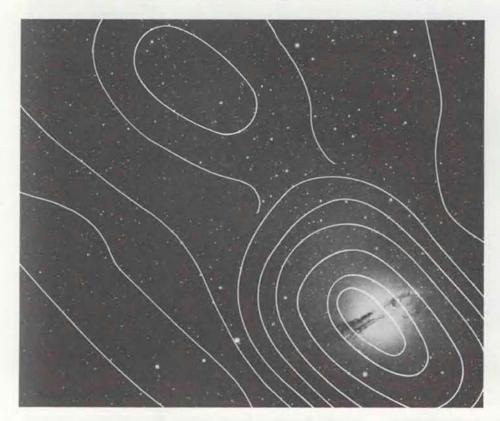




новские и радионаблюдения Центавра А, состоит в следующем: в центре источника, генерирующего излучающую в радиодиапазоне плазму, находится черная дыра массой миллиард солнечных масс (внизу справа). Черная дыра окружена тороидальным аккреционным диском, состоящим из газа и пыли. Топливом для источника является падающий газ, вырываемый приливными силами из атмосфер соседних звезд. Взаимодействие газа с черной дырой и аккреционным диском порождает узкий пучок электронов и магнитных полей — внутренний выброс. При движении выброса наружу от ядра турбулентные вихри на его границе увлекают газ (внизу в середине). Ударные волны в выбросе снабжают энергией релятивистские электроны. Когда плазма достигает промежуточной радиообласти, некоторая часть увлекаемого вещества охлаждается, сжимается и порождает звезды (внизу слева). Они заканчивают свою жизнь, взрываясь как сверхновые, и возвращают энергию плазме и электронам.



РЕНТГЕНОВСКИЕ ИЗОФОТЫ, построенные по данным спутника «Эйнштейн» и нанесенные на оптическое изображение галактики NGC 5128 (внизу справа). Волокна и молодые звезды вблизи северного промежуточного радиооблака находятся вверху слева. Их расстояние от ядра 130 000 световых лет. Наиболее интенсивное рентгеновское излучение за пределами галактики связано с оптическими волокнами. Оптическое изображение получено в спектральной линии, возникающей при рекомбинации электрона и протона с образованием атома водорода.



РАДИОИЗОФОТЫ, полученные с 60-метровым радиотелескопом Австралийской радиоастрономической обсерватории, нанесены на оптическое изображение галактики NGC 5128. Как и в случае рентгеновского излучения, область наиболее интенсивного радиоизлучения за пределами оптической галактики (северное промежуточное радиооблако) совпадает с оптическими волокнами и молодыми звездами.

новских лучей составляет от 10000 до 50000 эВ. Два основных рентгеновских детектора, установленных на борту спутника «Эйнштейн», имели угловое разрешение 1,5′ и 5″. Впервые астрономы получили возможность выполнять наблюдения в рентгеновском диапазоне с разрешающей способностью, примерно такой же, как у радио- и оптических телескопов.

Вскоре после запуска спутника «Эйнштейн» Фейгелсон и Шрейер, а также Р. Джиаккони из Астрофизического центра при обсерватории Гарвардского университета и Смитсоновской астрофизической обсерватории направили его телескоп на источник Центавр А и обнаружили множество деталей, ранее никогда не наблюдавшихся у рентгеновских внегалактических источников. Примерно на том же расстоянии при том же позиционном угле, где находится промежуточное радиооблако, расположена область рентгеновского излучения протяженностью 24000 световых лет. Интенсивность его излучения выше, чем можно было бы ожидать в случае синхротронного процесса. Вероятно, оно имеет тепловую природу. Источником излучения может быть облако газа с температурой 10 млн. кельвинов. Газ мог разогреться при сжатии турбулентными движениями вещества в плазме промежуточного радиооблака.

Галактика погружена в оболочку более слабого рентгеновского излучения, простирающуюся примерно на 10000 световых лет от ядра. Диффузное излучение, вероятно, генерируется облаком межзвездного газа с температурой 20 млн. кельвинов и полной массой 200 млн. солнечных масс. Обнаружение горячего газа с помощью спутника «Эйнштейн» — один из немногих случаев, когда внутри оптической эллиптической галактики наблюдалась межзвездная среда.

Эта межзвездная среда довольно плотная по астрономическим стандартам (одна частица на 300 см3); она препятствовать движению плазмы в радиовыбросе и внутреннем радиооблаке и тем самым определять их форму. Такое влияние среды может играть очень важную роль. Не будь ее, радиовыброс не подвергался бы коллимации, радиообласти сильно расширились бы и в результате плотность вещества и энергии заметно бы упала. Если эта гипотеза верна, то структура NGC 5128 подтверждает, что горячий газ влияет на структуру радиоисточников. Это явление было предсказано, но прежде никогда не наблюдалось.

Наиболее удивительным открытием, сделанным с помощью спутника «Эйнштейн», было обнаружение рентгеновского выброса, выходящего из ядра примерно в том же направлении, что и радиовыброс, наблюдавшийся на Большой антенной решетке. Интенсивно излучающее в рентгеновском диапазоне вытянутое образование было обнаружено впервые. Рентгеновский выброс был открыт раньше, чем радиовыброс, поэтому рентгеновские наблюдения стимулировали проведение радионаблюдений.

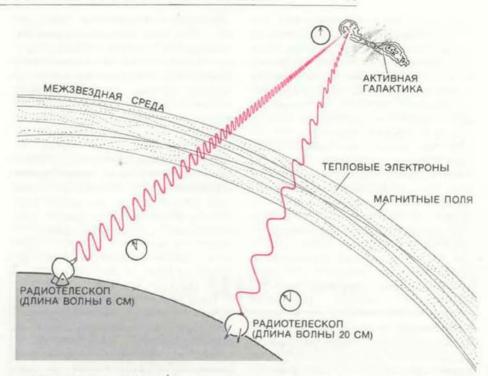
РЕНТГЕНОВСКИЙ выброс и радиовыброс имеют не только одинаковые размеры и форму: в обоих в одних и тех же местах наблюдаются «узлы» — области особенно интенсивного излучения. Сходство структуры, непрерывный спектр излучения в обоих диапазонах и его поляризация показывают, что рентгеновское излучение также имеет синхротронную природу.

Когда были проанализированы данные, собранные с помощью спутника «Эйнштейн» за два года наблюдений, лишь у одной галактики удалось найти такой же, как у NGC 5128, рентгеновский выброс. Он принадлежит второй по расстоянию от нас активной галактике М 87. Эта галактика примерно в три раза дальше от нас, чем Центавр А. Но угловое разрешение инструментов, установленных на спутнике «Эйнштейн», было недостаточно высоким, чтобы выявить тонкую структуру выброса М 87. В рентгеновском выбросе Центавра А можно наблюдать отдельные детали, поэтому и теперь он остается уникальным астрономическим объектом.

Какие выводы о физических процессах, протекающих в галактике, позволяет сделать детальная карта объекта, построенная на основе рентгеновских и радионаблюдений? Рассмотрим внутренний рентгеновский и радиовыброс. С астрономической точки зрения наиболее важным компонентом выброса является поток релятивистских электронов. Они генерируют синхротронное излучение. Разумеется, из того, что электроны движутся с релятивистскими скоростями, вовсе не следует, что и выброс как целое должен иметь такую же скорость. Помимо электронов пучок содержит значительное количество газа, скорость которого намного ниже. Согласно лучшей современной оценке, скорость выброса в целом составляет около 5000 км/с.

Синхротронный механизм генерации рентгеновского излучения, обнаруженного с помощью спутника «Эйнштейн», накладывает ряд строгих ограничений на модель выброса. Энергия рентгеновских квантов составляет около 2000 эВ. При синхротронном процессе такие кванты испускаются релятивистскими электронами с энергией $3 \cdot 10^{13}$ эВ. В магнитном поле электрон с такой высокой энергией не может долго существовать.

Непрерывно излучая, электрон в конце концов израсходует всю свою



ФАРАДЕЕВСКОЕ ВРАЩЕНИЕ плоскости поляризации при прохождении излучения через нашу Галактику. Излучение активной галактики, такой, как Центавр А, как правило, плоскополяризованное, поскольку оно генерируется синхротронным процессом. Проходя сквозь межзвездную среду нашей Галактики, оно взаимодействует с тепловыми электронами и магнитными полями. В результате плоскость поляризации поворачивается. Угол поворота зависит от длины волны: чем больше длина волны, тем сильнее поворот. Радионаблюдения Центавра А, выполненные в начале 60-х годов, впервые подтвердили существование фарадеевского вращения в Галактике, а также вывод о том, что излучение Центавра А в широкой полосе частот обусловлено синхротронным процессом.

энергию. При указанной выше энергии электронов и рентгеновских квантов это произойдет не более чем за 50 лет. Но рентгеновский и радиовыброс в Центавре А простирается до внутреннего радиооблака, расположенного на расстоянии 20 000 световых лет от ядра. Поэтому релятивистские электроны должны многократно пополнять запасы своей энергии, чтобы достичь его.

Релятивисткие электроны могут ускоряться за счет одного из трех механизмов. Первый механизм связан с распространением в выбросе ударных волн (такие волны возникают в земной атмосфере от самолета, летящего со сверхзвуковой скоростью). Ударные волны могут появляться при столкновении выброса с межзвездной средой. Их источником может быть неустойчивость самого потока. Тогда узлы выброса будут соответствовать областям, в которых через плазму проходит фронт ударной волны.

Согласно второму механизму, электроны разгоняются за счет энергии турбулентных движений потока. Неустойчивость и турбулентность могут возникать в пограничном слое между потоком плазмы и окружающей средой. Турбулентность может порождать волны, которые будут затухать при взаимодействии с электронами.

Конечным результатом этого процесса должно быть превращение энергии потока плазмы в кинетическую энергию волн, которая в свою очередь расходуется на ускорение электронов.

В третьем механизме предполагается, что электроны приобретают энергию за счет столкновений с протонами. Протоны в плазме нельзя обнаружить непосредственно, поскольку испускаемого ими излучения для этого йедостаточно; они расходуют кинетическую энергию гораздо медленнее, чем электроны. В результате столкновений с электронами протоны в конце концов потеряют энергию. Но процесс этот очень медленный, а запасы энергии могут быть достаточны для того, чтобы поддерживать энергию плазмы на всем пути до внутреннего радиооблака.

Процесс, благодаря которому поток электронов, протонов и магнитные поля достигают промежуточного радиооблака, еще не вполне ясен. Однако при попадании плазмы в промежуточное радиооблако он может играть важную роль при образовании молодых зъезд и областей, излучающих в эмиссионных линиях на расстоянии 130 000 световых лет от ядра.

ЛЯ ОБЪЯСНЕНИЯ взаимодействия оптической и радиоструктур Д. де Янг из Национальной обсерватории

Китт-Пик предложил следующий сценарий. Вихри в турбулентном слое на границе выброса могут увлекать окружающее вещество, главным образом газ и пыль. Это вещество нагревается ударными волнами, распространяющимися в потоке плазмы, до температуры около 10 млн. кельвинов.

Если содержание химических элементов в газе, окружающем выброс, такое же, как на Солнце, что разумно предположить для галактики, успевшей достаточно проэволюционировать, то газ охладится до 10000 К за время от 10 млн. до 100 млн. лет. При температуре газа 10000 К будут появляться оптические эмиссионные линии, подобные наблюдаемым для северо-восточной области галактики NGC 5128. Кроме того, за время, требуемое на охлажпройдет газ расстояние 33 000-330 000 световых лет и может оказаться вблизи тех областей оптического излучения, которые наблюдаются в Центавре А и нескольких других радиогалактиках и в которых области с оптическим эмиссионным спектром совпадают с радиообластями.

Охлаждение части увлекаемого газа будет продолжаться, и в конце концов его температура станет значительно ниже 10000 К. Тогда под влиянием гравитационного притяжения начнется его конденсация и образование звезд. Де Янг полагает, что скопления эмиссионных областей в северо-восточном квадранте Центавра А подтверждают вывод о звездообразовании в промежуточном радиооблаке.

Плазма может способствовать звездообразованию, увлекая окружающее вещество, а звезды в свою очередь могут пополнять энергию плазмы, движущейся от центра галактики. Масса некоторых звезд, родившихся в северовосточном квадранте, вероятно, превышает 10 солнечных масс. Продолжительность жизни таких массивных звезд невелика — около 10 млн. лет. В конце своей относительно короткой жизни они взрываются как сверхновые.

Энергия взрыва передается электронам в потоке плазмы. Поэтому в северо-восточном квадранте поток будет самоподдерживающимся: плазменный поток порождает звезды-гиганты, которые, взорвавшись, возвращают энергию плазме.

Это объяснение поддержания энергии потока плазмы и образования оптических волокон основано на надежных данных наблюдений. Однако на два наиболее фундаментальных вопроса, касающихся природы Центавра А и других активных галактик, можно дать лишь такие ответы, которые исходят в основном из догадок и предположений. В чем причина галактической активности? Каков механизм действия центрального источника?

Возможно, активность, наблюдаемая в NGC 5128, непосредственно связана с необычной структурой галактики - комбинацией эллиптического и спирального компонентов. Около 30 лет назад В. Бааде и Р. Минковский из обсерваторий Маунт-Вилсон и Паломар предположили, что необычная форма NGC 5128 обусловлена столкновением спиральной и эллиптической галактик. Недавние теоретические расчеты А. Таббса из Национальной радиоастрономической обсерватории показали, что газ и пыль, вырванные приливным воздействием из расположенной недалеко спиральной галактики, могут упасть на эллиптическую галактику и породить структуру, очень похожую по форме на пылевую полосу в NGC 5128.

Такой процесс называется «каннибализмом» галактик; он использовался для объяснения происхождения нескольких мощных радиоисточников. Скопления галактик, в центре которых находится галактика-гигант, по мощности радиоизлучения в пять раз превосходят среднее скопление. Была выдвинута гипотеза, согласно которой центральная галактика-гигант образовалась вследствие многократных гравитационных взаимодействий сближении галактик в «недрах» скопления. Сближения сопровождаются торможением, и в результате самые крупные галактики по спиральной траектории начинают мелленно приближаться к центру скопления. В течение всего времени существования скопления продолжается процесс слияния массивных галактик, так что в конце концов образуется наиболее массивный центральный объект. Затем центральная галактика-гигант «поглощает» более мелкие соседние галактики.

Причиной высокой мощности радиоизлучения таких галактик-гигантов наверняка является вещество, накопленное в процессе «каннибализма». Попадающие в галактику газ, пыль и звезды обеспечивают запасы «топлива» для источника в ядре галактики. Не столь ярко выраженный «каннибализм» в NGC 5128 мог бы привести к бурной активности ядра и возникновению радиоизлучения. Для Центавра А гипотеза «каннибализма» связана с одной трудностью. Этот источник довольно изолирован: в пределах миллиона световых лет в его окрестностях наблюдаются лишь несколько карликовых галактик. Возможно, Центавр А уже «поглотил» всех своих соседей и нетепловое рентгеновское и радиоизлучение - «симптом космического несварения вследствие переелания».

Каким образом центральный источник может перерабатывать получаемое топливо? Вероятно, наиболее эффективно оно потребляется, если поступает в форме газовых облаков. Про-

водя наблюдения на Большой антенной решетке, Я.М. ван де Хюлст из Вестерборкской обсерватории в Голландии недавно обнаружил облака нейтрального водорода в пределах 500 световых лет от ядра NGC 5128. По картине движения облаков можно заключить, что они падают на ядро. Такие облака могли бы ежегодно поставлять в источник количество топлива, эквивалентное по крайней мере 1/10 массы Солнца. Если принять, что к.п.д. центрального источника по превращению массы в энергию равен 10%, то 1/10 массы Солнца в год будет более чем достаточно, чтобы объяснить результат деятельности источника, а именно образование протяженной области радиоизлучения.

Топливо для источника могли бы также поставлять атмосферы звезд в центральной области галактики. Дж. Хиллз из Лос-Аламосской национальной лаборатории и другие ученые предположили, что звезды вблизи ядра подвержены сильному приливному воздействию, поскольку силы гравитации, действующие на противоположные стороны звезды, значительно различаются. В результате звезда может быть разорвана или по крайней мере может лишиться своей атмосферы.

Таким образом «добывается» топливо для источника в центре галактики. Теперь нужно понять, как облака газа, обращающиеся вокруг ядра галактики, могли бы попасть в него. Одна возможность — столкновение облаков в окрестностях ядра. При этом одно облако могло бы потерять момент количества движения и упасть на ядро, а другое — приобрести дополнительный момент и удалиться от ядра.

А теперь рассмотрим, что же происходит в самом центральном источнике. Для этого полезно оценить его размеры. Такую оценку можно сделать по периоду вариаций интенсивности излучения. Чтобы в двух далеко отстоящих друг от друга областях источника одновременно произошли одинаковые изменения, между ними должна осуществляться связь, т.е. они должны обмениваться физическими сигналами. Скорость сигнала не может превышать скорость света, поэтому если существенное изменение интенсивности происходит, скажем, за два часа, то размеры источника не превосходят двух световых часов.

Хотя этот аргумент нельзя считать неоспоримым, он, вероятно, справедлив для источников с непрерывно излучающей поверхностью. Применим его для оценки размера центрального источника в NGC 5128. Наблюдения рентгеновского и радиопотока от ядра NGC 5128 показывают, что интенсивность значительно изменяется за период в несколько месяцев. Наблюдаются

и более быстрые вариации с периодом меньше суток. Поэтому можно сделать вывод, что ядро состоит из ряда компонентов размерами от нескольких световых месяцев до нескольких световых суток.

Хотя любое объяснение процессов, происходящих в отдельных элементах центрального источника, весьма гипотетично, ясно одно: каков бы ни был механизм выделения энергии центрального источника, он не должен быть связан с процессом термоядерного синтеза, являющегося источником энергии большинства звезд. Выдвинутое выше предположение, что к.п.д. центрального источника равен 10%, исключает термоядерные реакции, эффективность которых менее 1%. Ведь в таком случае на образование радиоструктуры Центавра А потребовалось бы гораздо больше топлива и больше времени, чем следует из наблюдений. Кроме того, процессы термоядерного синтеза сопровождаются тепловым излучением, в то время как от источника Центавр А наблюдается нетепловое синхротронное излучение.

Более эффективно энергия выделяется из вещества, когда оно падает в сильном гравитационном поле и приобретает значительную кинетическую энергию. Если затем происходит его столкновение с компонентами ядра источника, то энергия может выделиться в форме коротковолнового электромагнитного излучения и даже в виде частиц высоких энергий.

Для осуществления такого процесса в Центавре А в центре оптической галактики должен находиться источник очень сильного гравитационного поля. Такое поле мог бы обеспечить сколлапсировавший объект — черная дыра массой около миллиарда солнечных масс. Если этот объект существует в центре галактики, то он непременно должен вращаться — трудно представить процесс, который привел к образованию черной дыры, но не сообщилей значительный момент количества пвижения.

Вращающийся сколлапсировавший объект вызывал бы три основных эффекта. Во-первых, он образовывал бы потенциальную яму, в которую бы падало вещество. Во-вторых, положение оси вращения определяло бы ориентацию всего источника. Близлежащее вещество обращалось бы вокруг источника и образовало бы так называемый аккреционный диск. В-третьих, с черной дырой могло бы быть связано магнитное поле, способное разгонять заряженные частицы до высоких энергий, забирая при этом энергию от черной дыры.

Представим себе облако относительно холодного газа, падающего на аккреционный диск. Диск может иметь форму бублика с черной дырой в центре. Часть падающего газа могла бы пройти вблизи самой границы черной дыры и была бы выброшена вдоль ее оси вращения давлением излучения, идущего с внутренней поверхности аккреционного диска. Таким путем диск мог бы разгонять частицы и создавать пучок, образующий внутренний радиовыброс.

В настоящее время эта крайне смелая гипотеза может дать нам некоторое представление об активных галактиках, таких, как Центавр А. Интенсив-

ное изучение этой галактики продолжается. Вследствие близости к нам и необычных свойств интерес к ней не ослабнет по крайней мере в течение нескольких последующих лет. Уже накоплено много информации о структуре и физических свойствах Центавра А. Однако наиболее волнующая проблема — это механизм образования ее гигантской радиоизлучающей области. Мы уверены, что изучение Центавра А поможет решить эту фундаментальную проблему астрофизики.

ИЗдательство МИР предлагает:

Р. Линдон, П. Шупп КОМБИНАТОРНАЯ ТЕОРИЯ ГРУПП

Перевод с английского

Систематическое и современное изложение комбинаторной теории групп. Значительная часть книги посвящена геометрическим методам и теории малых сокращений, представлены разделы по биполярным структурам Столлингса, разрешимости проблемы тождества слов и др. В работе отражены интенсивные исспедования последнего десятилетия. От книги Магнуса и др. с тем же названием, вышедшей в издательстве «Наука» в 1975 г., она выгодно отличается подбором материала и способом изложения.

Книга может служить как учебным пособием, так и источником информации для математика-специалиста. Она будет полезна всем, кто занимается теорией групп и смежными вопросами.

Основные разделы: Свободные группы и их подгруппы; Порождающие и соотношения; Геометрические методы; Свободные произведения и HNN-расширения; Теория малых сокращений.

1980, 29 л. Цена 2 р. 80 к.

ОРГАНИЧЕСКИЕ СИНТЕЗЫ СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

Перевод с английского

Пол ред. Б. Троста, К. Хатчинсона

Коллективная монография, написанная большой группой известных ученых, в числе которых лауреаты Нобелевской премии Д. Бертон и Х. Браун, открывает новые направления в развитии органического синтеза. Она не только отражает современное состояние органического синтеза, но и намечает пути развития этой области.

Материал можно условно разбить на три группы. К первой относятся статьи, где основное внимание уделено созданию повых общих синтетических методов, которые можно применить к различным классам органических соединений. Ко второй - относятся статьи, в которых рассматривается развитие новых стратегических и тактических путей синтеза органических соединений. Третья группа иллюстрирует применение синтетических методов в разработке путей синтеза сложных органических соединений.

Для химиков-органиков, биооргаников, биохимиков — научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов старших курсов.

1984, 30 л. Цена 4 р. 80 к.



Трубопроводы для транспорта гидросмесей

В США трубопроводы используются для транспорта водно-рудной и водно-угольной пульпы. Они играют важную роль в доставке угля из западных штатов на электростанции в других частях страны

ЭДВАРД ДЖ. УОСП

ОЛЬШАЯ часть запасов угля в США (по оценке 72% пригодных для разработки) залегает на территории семи западных штатов. Хотя страна в настоящее время не испытывает дефицита в таких видах топлива, как нефть и природный газ, опыт показал, что топливная ситуация может быстро измениться, и, кроме того, более дешевое топливо в любом случае предпочтительнее дорогого. В настоящее время относительно высокие цены на уголь, добываемый в западных штатах, объясняются большими расходами, связанными с его доставкой: большинство электростанций, потенциальных потребителей угля, расположено за пределами семи угледобывающих штатов. Строительство автомобильных и железных дорог к шахтам и карьерам, где добывается уголь, потребует огромных капиталовложений. Альтернативным решением, связанным с меньшими, хотя и довольно высокими капиталовложениями, является строительство трубопроводов, по которым будет перекачиваться водно-угольная пульпа.

Наиболее протяженным действующим в настоящее время трубопроводом для транспорта угольной пульпы является углепровод «Блэк-Меса», по которому уголь доставляется на расстояние 437 км от угольного карьера в северо-восточной части шт. Аризона до южной оконечности шт. Невада. Перед загрузкой в трубопровод поступающий с карьера уголь дробится, смешивается с водой, и гидросмесь движется под действием трех гигантских поршневых насосов. Выходящая из трубопровода угольная пульпа перед поступлением на электростанцию направляется в специальные резервуары с мешалками, а из них в непрерывно действующие центрифуги, где вода отделяется от угля. Из центрифуг выходит продукт, напоминающий влажный черный прибрежный песок - это уголь, предназначенный для сжигания на электростанции.

Трубопровод «Блэк-Меса» непрерывно эксплуатируется с 1970 г. Его

рассматривают как прототип гораздо более крупных трубопроводных систем, которые, возможно, будут построены на западе США до конца 80-х годов. Одна такая система проектируется фирмой Energy Transportation Systems, Inc. (ETSI); система этой фирмы «Этси» протяженностью 2250 км свяжет угледобывающие предприятия в шт. Вайоминг со шт. Оклахома, Техас и Луизиана.

Перемещение взвешенных в воде твердых частиц представляет собой процесс, благодаря которому в геологической истории образовались дельты рек и глубокие каньоны. Принцип его заключается в следующем: если скорость и турбулентность течения жидкости достаточно высоки, то она может переносить твердые частицы на неограниченные расстояния. Одной из таких крупных естественных систем гидротранспорта твердых частиц является р. Миссисипи в период весенних половодий: частицы почвы, поступающие в илистую бурную реку из истоков и притоков, перемещаются к дельте Миссисипи на расстояние 1600 км. В среднем, в зависимости от гидрологических условий года, дельта реки увеличивается на 1,8 м, и в нее дополнительно поступает 450 млн. т ила.

Гидросмесь, текущая в подобных природных речных системах, имеет несколько общих черт с пульпой, приготовленной искусственно для транспортирования по трубопроводу. И в том и в другом случае смеси состоят из воды и мелких взвешенных частиц твердого вещества. В природной системе эти мелкие частицы образуются под действием эрозии, в трубопроводной системе их получают при измельчении в машинах. Движение как природной, так и искусственной пульпы может обеспечиваться только при критической скорости или скорости, превышающей ее: в противном случае твердые частицы будут оседать. В обеих системах, природной и искусственной, твердые частицы отделяются от жидкости: в первом случае они образуют песчаные отмели или дельты, а во втором их отделяют механическим способом или путем выпаривания воды. В каждом из рассматриваемых случаев твердое вещество переносится из одного места в другое.

Физика транспорта пульпы по трубопроводу основана на принципах гидродинамики и гидростатики, заложенных еще во времена Архимеда. Однако наиболее важный научный вклад в теорию движения гидросмесей в трубопроводах сделан английским физиком XIX в. Осборном Рейнольдсом. Положения, содержащиеся в его статье «Экспериментальное исследование условий, которые определяют, будет ли течение воды в параллельных каналах прямолинейным (ламинарным) или извилистым (турбулентным), и закон сопротивления параллельных каналов», опубликованной в 1883 г., подготовили почву для сделанного позднее вывода о том, что турбулентность играет основную роль в перемещении твердых частиц в потоке воды. На основании наблюдений Рейнольдс вывел формулу, позволяющую получить коэффициент, называемый числом Рейнольдса, по которому можно определить, является ли течение в трубе турбулентным или нет.

Физический смысл числа Рейнольдса заключается в том, что числитель выражает силы, стремящиеся вызвать возмущения (более высокая скорость увеличивает инерцию и степень стохастичности течения), а знаменатель выражает силу, противодействующую возмущению (увеличение смягчает стохастичность течения). Чем выше число Рейнольдса, тем больше турбулентность, и, когда отношение для круглой трубы достигает 2300 (т.е. 2300:1), течение становится турбулентным. В свою очередь турбулентность увеличивает способность трубы пропускать твердые частицы. Это легко обнаруживается в течении рек: в верховьях, высоко в горах, скорость течения наибольшая и река несет с собой самые крупные куски твердой породы (в том числе и камни); в устье же течение

наиболее медленное и несет лишь мельчайшие частицы ила.

Современные промышленные системы трубопроводного транспорта гидросмесей были разработаны лишь после второй мировой войны. С тех пор было сооружено несколько трубопроводов, по которым успешно транспортируются различные твердые материалы. В различных районах мира по трубопроводам доставляются железорудный и меднорудный концентраты, концентрат фосфатов, известняк и напоминающий асфальт минерал гильсонит. В Москве трубопровод используется для транспорта мусора из города. Кроме того, при транспортировании различных твердых материалов по трубопроводам исследовалась возможность применения в качестве несущей жидкости не воды, а различных жидких горючих - нефти, метанола (метилового спирта), жидкой углекис-

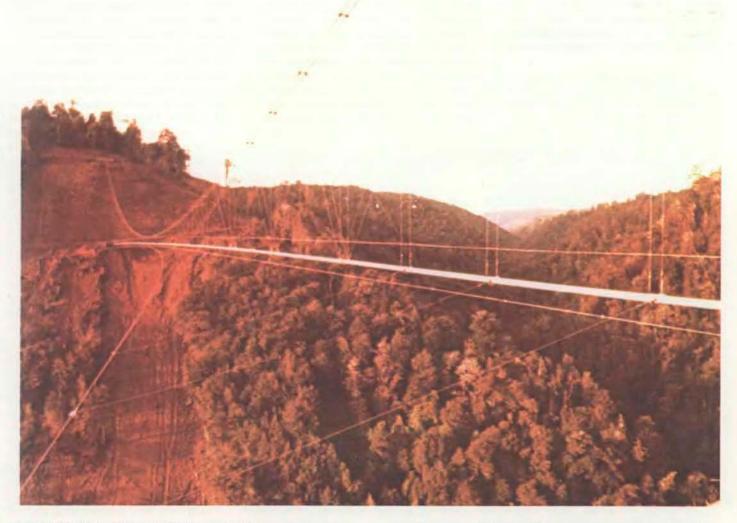
Первым твердым материалом, который транспортировали по трубопроводу, был уголь, и именно трубопроводный транспорт угля имеет наибольшие

перспективы, несмотря на то что с гидротранспортом угля связан ряд особых трудностей. Если гидросмеси металлических руд, транспортируемые по трубопроводам, получаются в ходе процессов обогащения, то уголь сначала нужно специально смешать с водой, а после транспортировки отделить от нее. Эти две операции являются дополнительными по сравнению с транспортом угля традиционными способами. При обезвоживании необходимо стремиться к тому, чтобы уголь как можно в большей степени обрел свое исходное (сухое) состояние, при котором возможно его сжигание в топках электростанций.

Первый крупномасштабный эксперимент по трубопроводному транспорту угольной пульпы, имеющий промышленное значение, провел в Нью-Йорке Уоллес К. Эндрюс, президент фирмы New York Steam Company, которая в 1882 г. ввела в действие паровую отопительную систему города. Эндрюс разработал концепцию дешевого транспорта угля с шахт к котельным фирмы. В начале 90-х годов прош-

лого века он получил патент на идею транспорта угольной пульпы по трубопроводу, второй патент - на «аппарат для подготовки угля к транспорту» и третий — на «отстойный или сбросный пруд или бассейн для измельченного угля». В котельной на углу 58-й улицы и Мэдисон-авеню он построил модель системы трубопровода для транспорта угольной пульпы, причем трубы были смонтированы так, что поднимались на помост и опускались с него, огибая углы, чтобы имитировать условия доставки угля по трубопроводу, проложенному по пересеченной местности.

Однако первый трубопровод для транспорта угольной пульпы был сооружен лишь в 1914 г. в Лондоне. Он был спроектирован Гилбертом Дж. Беллом и смонтирован из труб диаметром 203 мм. Длина трубопровода составляла всего 603 м. Тем не менее производительность его была немалой — за час по нему доставлялось 45 т угля с барж в доке на Темзе к расположенной неподалеку электростанции.



ТРУБОПРОВОД ДЛЯ ГИДРОТРАНСПОРТА железной руды протяженностью 82 км пересекает ущелье р. Сейвидж на северо-западе Тасмании. По нему железорудный концент-

рат с рудника «Сейвидж-Ривер» доставляется на побережье к заводу по производству окатышей в Порт-Латта. Диаметр трубопровода 234 мм.

Следующий значительный шаг вперед был сделан, однако, не в области транспорта угля и не в энергетике, а в нефтяной промышленности. По мере развития этой отрасли был достигнут быстрый прогресс в технологии бурения скважин. Для проведения буровых работ требовалось разработать технологию подготовки и доставки буровых растворов; буровой раствор закачивался в буровую трубу для смазки и охлаждения буровой коронки и для выноса буровой мелочи из скважины. Для подачи бурового раствора в скважину под давлением около 350 кг/см2 требовались мощные насосы. Необходимость в оборудовании, надежно работающем при таком давлении в максимально тяжелых условиях, в значительной мере способствовала созданию мощных поршневых насосов, и сейчас используемых в системах трубопроводов для транспорта гидросмесей.

ПЕРВОЕ современное исследование технологии 'транспорта угольной пульпы по трубопроводу было предпринято в 1951 г. в шт. Огайо фирмой Consolidation Coal Company, которая доставляла уголь с центральной обогатительной фабрики «Джорджтаун» вблизи г. Кадиз в южной части штата на электростанцию «Истлейк», расположенную в 173 км к северу и принадлежащую фирме Cleveland Electric

Illuminating Company. Вместо перевозки угля с фабрики по железной дороге фирма Consolidation Coal решила воспользоваться трубопроводом.

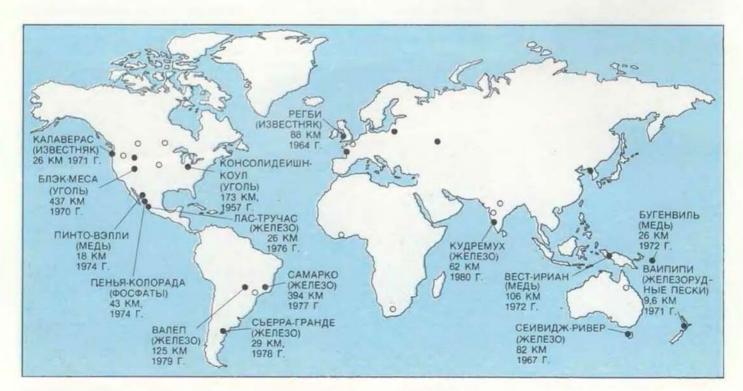
Поскольку тогда не было действуюших трубопроводов для транспорта водно-угольной смеси, опыт эксплуатации которых мог бы быть использован, фирма Consolidation Coal должна была начать все снова. С этой целью группа по исследованию гидротранспорта угля, которую возглавлял автор настоящей статьи, соорудила демонстрационную установку в Кадизе, состояшую из двух замкнутых контуров, смонтированных из труб диаметром 305 мм. Длина цепи одного контура была равна 1220 м, и он был уложен на ровной площадке, а длина второго контура, уложенного с наклоном, составляла 366 м. Установка включала в себя агрегат для дробления угля производительностью до 18 т/ч.

Экспериментальные замкнутые контуры были сооружены с целью исследования распределения и режима течения частиц угля в трубопроводе для определения оптимальной скорости движения гидросмеси по трубам. Если бы скорость была слишком мала, то твердые частицы могли оседать, царапать донную часть труб и тем самым вызывать их износ. При слишком большой скорости на транспорт гидросмеси затрачивалась бы излишняя энергия и, кроме того, происходил бы чрезмерный износ труб. Следовало также установить, будет ли при гидротранспорте происходить измельчение частиц угля. Но, пожалуй, наиболее

важная задача заключалась в определении величины потери напора, с тем чтобы при сооружении промышленного трубопровода можно было правильно выбрать места расположения насосных станций, оснащенных достаточно мощными насосами.

Другой важной задачей было определение нормальной степени коррозии и абразивного износа внутренней поверхности труб. Исследовательской группе необходимо было установить условия, при которых срок службы труб совпадал бы со сроком службы всего оборудования трубопровода и которые обеспечивали бы дальний транспорт устойчивой пульпы. Для сбора информации о коррозии и абразивном износе в замкнутом контуре с длиной цепи 1220 м был предусмотрен специально сконструированный отрезок, включавший 10 горизонтальных секций, напоминающих по форме бочонки. Эти секции можно было удалять, взвешивать и исследовать после того, как через трубопровод пропускались гидросмеси различного состава.

Первые испытания проводились с пульпой, твердые частицы в которой в среднем имели размеры около 1 см. Износ нижней части труб был значительно сильнее по сравнению с износом их верхней части. Труба из обычной углеродистой стали в испытываемой секции была заменена трубой из нержавеющей стали; хотя нержавеющая сталь обладает несколько меньшей износоустойчивостью, чем углеродистая сталь, она более устойчива к химической коррозии. Износ металла в нижней



ОСНОВНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ для транспорта гидросмесей с указанием транспортируемых материалов, протяженности и года начала эксплуатации. Трубопровод фирмы

Consolidation Coal был закрыт после шести лет успешной эксплуатации. Светлыми кружками обозначены проектируемые трубопроводы.

Теоретические основы гидродобычи и гидротранспорта полезных ископаемых были разработаны в СССР еще в 30-годы. — Прим. перев.

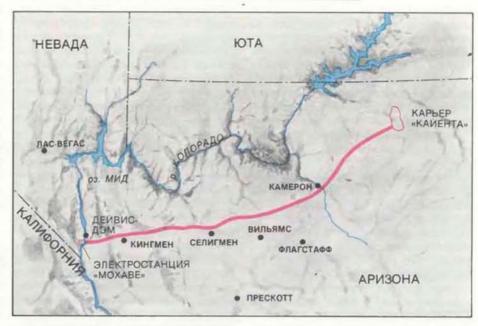
ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТА ГИДРОСМЕСЕЙ

части трубы оставался высоким, а в верхней части вообще не отмечался. Высокий износ нижней части труб объяснялся исключительно трением частиц угля о металл. Замеры на экспериментальном отрезке трубопровода показали, что по мере постепенного уменьшения размеров частиц они перестали задевать за металл в нижней части труб и их износ в этом месте становился меньше. Более того, зонды, размещенные в трубах вблизи их верхней части, нижней части и в середине, показали, что с уменьшением величины частиц угля возрастает однородность пульпы.

А ОСНОВАНИИ результатов прове-Н денных исследований был сделан важный вывод, что ключом к проектированию надежно действующей трубопроводной системы для транспорта гидросмеси является вовсе не использование труб из необычных материалов, а изучение состава гидросмеси и регулирование его. В частности, это означало, что если поток поддерживается однородным, т.е. твердые частицы равномерно взвешены вдоль вертикальной оси трубы, то режим работы трубопровода остается устойчивым, а потери напора сохраняются постоянными при данном расстоянии транспортирования. Исследования показали, что, регулируя состав пульпы, можно, кроме того, обеспечить еще два важных преимущества. Во-первых, смягчая ее коррозионные свойства, можно добиться равномерного износа труб и сделать его столь малым, что срок службы труб превысит 50 лет. Вовторых, при обеспечении однородности гидросмеси уголь не подвергается истиранию, и при перемещении его даже на большие расстояния величина частиц не уменьшается.

Если бы справедливость этих двух основных положений подтвердилась, то при сооружении трубопроводов для транспорта гидросмеси можно было бы использовать традиционные материалы и хорошо освоенные на протяжении первой половины XX в. методы строительства, разработанные для нефтяных и газовых трубопроводов.

Оставалось решить несколько проблем. Угольные частицы при движении по экспериментальному трубопроводу продолжали измельчаться, и в связи с этим потери напора со временем уменьшались. Исследователям предстояло определить, будет ли в трубопроводе натурального масштаба увеличиваться доля мельчайших частиц за счет измельчения угля и будет ли это влиять на потери напора. До постройки в 1957 г. трубопровода «Истлейк» фирмы Consolidation Coal экспериментаторы не располагали прямолинейным трубопроводом большой протяженности для транспорта гидросмеси;



НАИБОЛЕЕ ПРОТЯЖЕННЫМ из действующих трубопроводов для транспорта гидросмесей является углепровод «Блэк-Меса» фирмы Southern Pacific Pipelines, Inc. По нему на 473 км транспортируется уголь с карьера «Кайента» фирмы Peabody Coal Company (шт. Аризона) на электростанцию «Мохаве» фирмы Southern California Edison Company (шт. Невада). Большая часть трубопровода смонтирована из труб диаметром 457 мм. Производительность углепровода «Блэк-Меса» 5 млн. т в год, коэффициент готовности равен 99%. Он был введен в эксплуатацию в 1970 г.

поэтому в то время приходилось экстраполировать результаты замеров потерь напора, полученные на экспериментальном замкнутом контуре длиной 1220 м, на прямолинейный трубопровод протяженностью 173 км. Далее, поскольку увеличение содержания мельчайших частиц и снижение потерь напора вызывались частично истиранием угля, то до сооружения трубопровода в натуральном масштабе невозможно было раздельно определить относительную степень влияния насоса и трубы на истирание угля.

Для того чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию, углепровод «Истлейк» был рассчитан так, чтобы он мог работать и при максимальном падении напора, замеренном на экспериментальном трубопроводе, и перемещать мельчайшие частицы, которые образовывались при истирании угля. Когда началась эксплуатация системы «Истлейк», то оказалось, что на протяжении всего расстояния 173 км, на кототранспортировалась угольная смесь, не было отмечено какого-либо измеримого истирания частиц угля. Выяснилось, что истирание частиц угля, которое наблюдалось в экспериментальном трубопроводе, было вызвано центробежным насосом, через который гидросмесь проходила более 100 раз, чтобы имитировать на экспериментальной установке условия транспортирования в натуральном масштабе. Промышленный трубопровод был оборудован тремя насосными

станциями, оснащенными не центробежными насосами, а поршневыми.

ТО ВРЕМЯ происходили бурные дис-В куссии относительно того, как будет изменяться турбулентность в трубопроводе после прохождения гидросмеси через каждую насосную станцию. Многие предполагали, что турбулентность будет уменьшаться настолько, что угольные частицы уже не смогут находиться во взвешенном состоянии и будут оседать. Поскольку справедливость этого предположения нельзя было проверить до окончания строительства промышленного трубопровода, исследовательская группа решила провести «обратный эксперимент». Мы полагали, что если остановить насосы, а затем вновь запустить их, причем турбулентные силы будут достаточны для равномерного перераспределения твердых частиц в трубопроводе до того, как турбулентность, созданная работой насоса, достигнет места отбора проб, то силы в непрерывно действующем трубопроводе будут достаточны для поддержания твердых частиц во взвешенном состоянии.

Для проверки этой гипотезы замкнутый контур с длиной цепи 1220 м был выключен, а затем снова включен. В контур через небольшие интервалы были вставлены зонды на различных уровнях: в верхней, средней и нижней частях сечения труб. Когда насос вновь включили, стали вести наблюдения за

течением гидросмеси и сделали сотни замеров концентрации твердых частиц на различных уровнях сечения трубы. Через минуту после включения насоса, как было установлено, равномерное распределение твердых частиц в гидросмеси в плоскости поперечного сечения восстановилось по всей длине цепи контура. После этого эксперимента опасения, связанные с влиянием расстояния транспортирования на турбулентность, исчезли.

Трубопровод «Истлейк» успешно действовал шесть лет до июня 1963 г., по нему было доставлено около 6,3 млн. т угля, после чего был законсервирован. В результате конкуренции железные дороги, транспортирующие уголь, стали работать более эффективно, перешли на использование маршрутных поездов (перевозящих исключительно уголь) и резко сократились тарифы на перевозку угля, которая в расчете на единицу объема стала в четыре раза дешевле по сравнению с транспортировкой по трубопроводу. В этих специфических условиях железные дороги оказались более дешевым средством транспорта угля.

Следующий крупный проект трубопровода для транспорта угольной пульпы разрабатывался в США при поддержке железнодорожной компании Southern Pacific Transportation Сотрапу. Это был трубопровод «Блэк-Меса». Однако до ввода его в эксплуатацию в самых различных районах мира уже было построено несколько трубопроводов для транспорта гидросмесей. Решения о сооружении трубопроводов в этих районах были приняты без особых споров, поскольку

материалы следовало доставлять через горы и в таких условиях приходилось отказываться OT дорогостоящего строительства автомобильных или железных дорог. Технология сооружения трубопроводов к тому времени позволяла прокладывать их на местности с большим уклоном и тем самым значительно сокращать протяженность транспортных магистралей. В том же 1957 г., когда вводился в действие трубопровод «Истлейк» для гидротранспорта угля, фирма American Gilsonite Сотрапу в г. Гранд-Джанкшен (шт. Колорадо) начала эксплуатацию завода по переработке гильсонита в кокс, бензин и горючий газ. Гильсонит добывается на шахте в бассейне Юинта на северо-востоке шт. Юта гидравлическим способом. Тонкоизмельченный высоконапорными струями воды минерал в виде пульпы откачивается на поверхность и транспортируется по трубам диаметром 152 мм на расстояние 115 км через сильно пересеченную гористую местность (включая перевал на высоте 2600 м) к заводу в г. Гранд-Джанкшен. Если бы трубопровод не был построен, то гильсонит пришлось бы доставлять от шахты к заводу по автомобильной или железной дороге протяженностью 291 км.

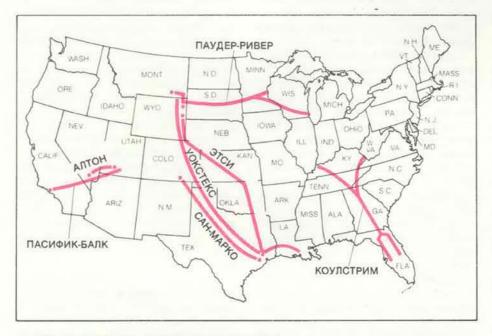
С ЛЕДУЮЩИЙ трубопровод для дальнего транспорта гидросмеси был построен по контракту с фирмой Pickands Mather and Co. на северозападе о. Тасмания. Фирма была заинтересована в строительстве железного рудника «Сейвидж-Ривер» и вывозе с него железорудного концентрата. Рудник расположен в пересеченной гори-

стой местности, где было мало автомобильных дорог, а железные дороги вообще отсутствовали. Относительно небольшие капиталовложения на строительство трубопровода и низкие издержки на его эксплуатацию склонили проектировщиков рудника к решению о постройке системы гидротранспорта руды на расстояние 85 км от рудника до завода по производству окатышей в Порт-Латта на побережье Тасмании.

При строительстве необходимо было преодолеть несколько сложных препятствий, в том числе два ущелья, по которым пролегали русла рек. Ширина ущелья р. Сейвидж превышала 365 м, и трубопровод должен был пересечь его на высоте 137 м над уровнем реки. Для этой цели в ущелье построили висячий мост в виле изящной арки и к ней подвесили трубопровод из труб диаметром 244 мм. При проектировании трубопровода для транспорта железорудной пульпы были использованы опыт, накопленный при разработке и строительстве углепровода «Истлейк», а также математические модели, полученные в ходе выполнения научноисследовательской программы фирмы Consolidation Coal. Когда в трубопровод впервые закачали железорудную пульпу, напор на его выходе отличался от расчетной величины всего на 2%. Трубопровод «Сейвидж-Ривер» эксплуатируется уже более 15 лет, причем его коэффициент готовности равен 99%. За год по трубопроводу транспортируется около 2,25 млн. т железорудного концентрата.

В Новой Зеландии железная руда транспортируется по трубопроводу «Уайпипи». Эта система с полным названием Waipipi Iron Sands Project введена в эксплуатацию в 1971 г. и представляет собой относительно короткий трубопровод (6,4 км), проложенный по суще, с комплексом оборудования для загрузки морских судов. Трубопровод подает пульпу в прибрежный комплекс, и оттуда она по подводному трубопроводу длиной 2.9 км поступает на плавучий пирс, с которого загружается в специальные танкеры типа Marconaflo. На борту танкеров пульпа обезвоживается, а по прибытии в порт назначения руда вновь смешивается с водой и полученная пульпа разгружается.

Трубопровод «Самарко» в Бразилии для транспорта железорудной пульпы намного превышает по длине описанный выше трубопровод «Сейвидж-Ривер». По трубопроводу «Самарко» диаметром 508 мм концентрат с рудников, находящихся в глубине страны, транспортируется через джунгли более чем на 640 км на побережье к комплексу для загрузки морских судов. Трубопровод был сооружен в 1976 г. и транспортирует 10,8 млн. т железорудного концентрата в год.



УГЛЕПРОВОДЫ БОЛЬШЕЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ намечено ввести в эксплуатацию к концу 80-х годов. Наиболее длинным из них будет трубопровод «Этси» фирмы Energy Transportation Systems, Inc. Он будет доставлять уголь из шт. Вайоминг в шт. Техас и Луизиана на расстояние 2240 км.

ДО НАЧАЛА СТРОИТЕЛЬСТВА первого углепровода потребовалось сооружение экспериментальных замкнутых контуров. Трубопровод протяженностью 173 км предназначался для транспорта угля с предприятий фирмы Consolidation Coal Company в Кадизе (шт. Огайо) на электростанцию фирмы Cleveland Electric Illuminating Company. Было сооружено два экспериментальных замкнутых контура с длиной цепей 366 и 1220 м. Гидросмесь поддерживалась в транспортабельном состоянии в резервуаре с мешалками. Зондами, установленными в трубах, замеряли скорость течения, напор и распределение частиц. Была предусмотрена возможность демонтажа отдельных секций труб для определения их износа под действием движущейся гидросмеси. С помощью экспериментального трубопровода удалось установить оптимальные значения величины частиц, отношения твердого к жидкому (Т:Ж), скорости и напора. Промышленный трубопровод был построен в 1957 г.

В 1972 г. было введено в действие два трубопровода для транспорта пульпы медной руды: первый диаметром 152 мм и длиной 27 км на о. Бугенвиль к северо-востоку от Австралии, второй диаметром 101 мм и длиной 110 км в Западном Ириане на о. Новая Гвинея. Трубопровод в Западном Ириане загружается медной рудой в горах на высоте 2600 м над уровнем моря и транспортирует пульпу вниз на побережье Арафурского моря, где находятся обогатительная фабрика и порт.

Пульпа известняка доставляется по трубопроводу с карьера «Калаверас» на расстояние 27 км через предгорья Сьерра-Невады к цементному заводу. Этот трубопровод был построен в 1964 г. и с тех пор действует, имея коэффициент готовности выше 98%.

Учитывая неблагоприятный рельеф местности и наличие разработанной технологии гидротранспорта, фирма Southern Pacific Pipelines, Inc. решила построить трубопровод «Блэк-Меса» для транспорта угля. Трубопровод протяженностью 437 км соединяет угольный карьер «Кайента» фирмы Peabody Coal Company с электростан-«Мохаве» фирмы Southern California Edison Company и пролегает по высокогорному пустынному плато с подъемами до 9°, пересекая четыре горных хребта. Перепад высот между насосными станциями № 2 в Грей-Маунтин и № 3 вблизи г. Вильямс (шт.

Аризона), отстоящими одна от другой на 40 км, составляет 914 м. На протяжении последних 21,6 км трассы трубопровод спускается на 1067 м по склону горного хребта в долину р. Колорадо. Большая часть трубопровода «Блэк-Меса» смонтирована из труб диаметром 457 мм. На последнем, спускающемся вниз участке использованы трубы диаметром 305 мм, чтобы снизить избыточное давление, обусловленное быстрым спуском пульпы.

РОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ трубопровода «Блэк-Меса» составляет 5 млн. т угля в год, а коэффициент готовности этой системы в настоящее время приближается к 99%. Трасса пересекает наиболее живописные районы на юго-западе США и проходит вблизи Большого Каньона и оз. Пауэлл и Мид. Географические особенности местности и природоохранные соображения исключают возможность строительства здесь железной дороги для транспорта угля. В противоположность железной дороге трубопровод незаметен, поскольку он уложен под землей на глубине около 1 м, что позволило быстро восстановить природный ландшафт после окончания строи-

С карьера «Кайента» фирма Peabody Coal Company доставляет ленточным конвейером кусковой уголь крупностью 50 мм к узлу подготовки гидро-

смеси для трубопровода «Блэк-Меса», где уголь измельчается в молотковых дробилках до крупности 9,5 мм. Измельченный уголь подается в стержневые мельницы, где смешивается с водой и измельчается мокрым способом до крупности 1,19 мм. Получаемая при этом гидросмесь, содержание угля в которой колеблется от 46 до 48% (по массе), сначала загружается в три резервуара с мешалками; вместимость каждого резервуара обеспечивает питание всей системы в течение двух часов. Из резервуара уголь поступает на насосную станцию № 1.

На первой станции поршневые насосы закачивают пульпу в трубопровод под давлением 42 кг/см². Насосная станция № 2 в Грей-Маунтин включает четыре насоса, обеспечивающие давление 112,4 кг/см², с тем чтобы создать напор, достаточный для преодоления подъема на гору Грей-Маунтин. Остальные две насосные станции (№ 3 вблизи г. Вильямс и № 4 вблизи г. Селигмен) оснащены так же, как и насосная станция № 1. Скорость течения пульпы в трубопроводе поддерживается в пределах 1,52-1,74 м/с.

На другом конце трубопровода на электростанции «Мохаве» гидросмесь поступает в один из трех резервуаров с мешалками, где может храниться в течение суток. Затем гидросмесь направляется в центрифуги для обезвоживания. Кроме того, на электростанции

имеется 8 отстойных прудов фирмы Marconaflo вместимостью 68 тыс. т, рассчитанных на хранение и извлечение больших количеств угля. Уголь, выходящий из центрифуг, все же содержит 25% влаги, поэтому перед загрузкой в пылеугольные топки котельных он высушивается подогретым воздухом и измельчается.

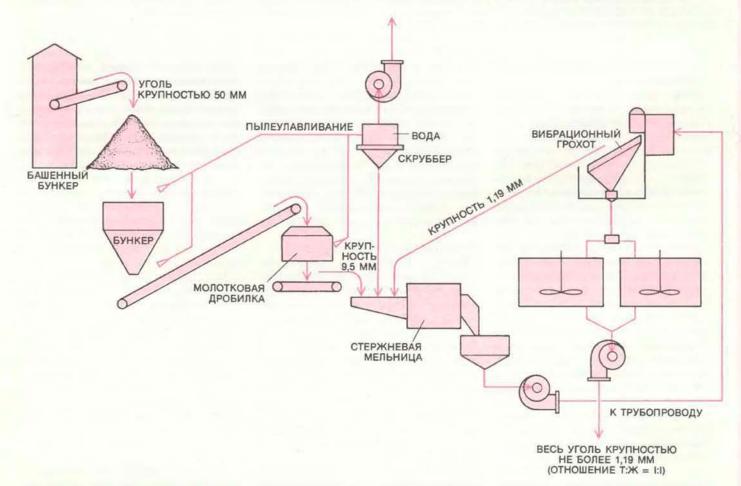
Примерно в то же время, когда проектировался и строился трубопровод «Блэк-Меса», был задуман еще более грандиозный проект: трубопроводная система для массового транспорта угольной пульпы от недавно построенных угледобывающих предприятий в бассейне Паудер-Ривер (шт. Вайоминг) до электростанций, расположенных значительно южнее и восточнее в шт. Техас и Луизиана. Предполагается построить еще несколько трубопроводов для гидротранспорта угля, в том числе трубопровод «Паудер-Ривер» для доставки угля из шт. Вайоминг в шт. Висконсин и Иллинойс, систему «Коулстрим» для соединения угледобывающих предприятий в шт. Зап. Виргиния и Иллинойс (южной его части) с электростанциями в шт. Флори-«Сан-Марко» систему для транспорта угля из шт. Колорадо в

район г. Хьюстона, систему «Олтон» для доставки угля из южной части шт. Юта на электростанции того же штата и в шт. Невада и систему фирмы Pacific Bulk Commodity Transportation, которая должна транспортировать уголь из шт. Юта к порту на побережье Калифорнии для дальнейшего экспорта в Японию.

ФИРМА Bechtel Petroleum, Inc. в настоящее время ведет переговоры о строительстве в Азин двух новых трубопроводов для транспорта угольной пульпы. Совместно с Национальной корпорацией по развитию угольной промышленности КНР она подготавливает технико-экономическое обоснование для проекта трубопровода длиной 720 км, который должен соединить Внутреннюю Монголию с портом Циньхуандао и четырьмя электростанциями. Совместно с Армандом Хаммером из концерна Occidental Petroleum Corporation фирма Bechtel ведет также переговоры с советскими представителями об углепроводе из Сибири до Москвы, В Индии изучаются предложения о строительстве двух новых трубопроводов протяженностью 1900 км каждый для транспорта угольной пульпы.

Для того чтобы осуществить проект строительства трубопровода из угольного бассейна Паудер-Ривер на юг, фирма Bechtel совместно инвестиционно-банковской фирмой Lehman Brothers Kuhn Loeb, Inc. создала фирму Energy Transportation Systems, Inc. и в 1973 г. начала работы над проектом трубопровода «Этси», В настоящее время в его создании принимают участие фирмы Texas Eastern Transportation Corporation, Kansas-Nebraska Natural Gas Company, Inter North, Inc., Bechtel. В начале 1983 г. фирма Lehman Brothers вышла из состава участников.

Из всех крупных планируемых систем трубопроводного транспорта гидросмесей проект «Этси» наиболее близок к стадии строительства. За время работы над проектом первоначально задуманная система «Этси» претерпела изменения, отражающие новое состояние рыночной коньюктуры. Вначале предполагалось, что система будет включать три узла для подготовки гидросмеси. Уголь к ним намечалось подавать с нескольких различных угледобывающих предприятий, расположенных вблизи г. Джиллетт (шт. Вайоминг). Два отдаленных узла будут сое-



ГИДРОСМЕСЬ приготовляется после доставки угля с угледобывающего предприятия к трубопроводу. Как правило, уголь сначала дробится до крупности 50 мм (вверху слева), а затем до более мелких размеров в молотковой дробилке. К измельченному углю добавляется вода и ведется дополнительное мокрое измельчение в стержневой мельнице. Затем он пропускается через грохот, чтобы избежать попадания более крупных частиц в трубопровод. Гидросмесь поддерживается в устойчивом состоянии в резервуарах с мешалками, из которых она закачивается в трубопровод.

динены сборочными трубопроводами с третьим — «Тандер-Бэйсин», который должен быть размещен у начала магистрального трубопровода.

Вода к узлам для подготовки гидросмеси должна поступать из водохранилища Оахе на р. Миссури близ г. Пирр (шт. Южная Дакота) по трубопроводу из стальных труб диаметром 864 мм, уложенному под землей. 25 млн. м³ воды, которые будут использоваться для транспорта 27 млн. т угля в год, составляют менее 1% годового расхода р. Миссури в районе г. Пирр. Указанное количество угля составляет 4% общей добычи этого вида топлива в США.

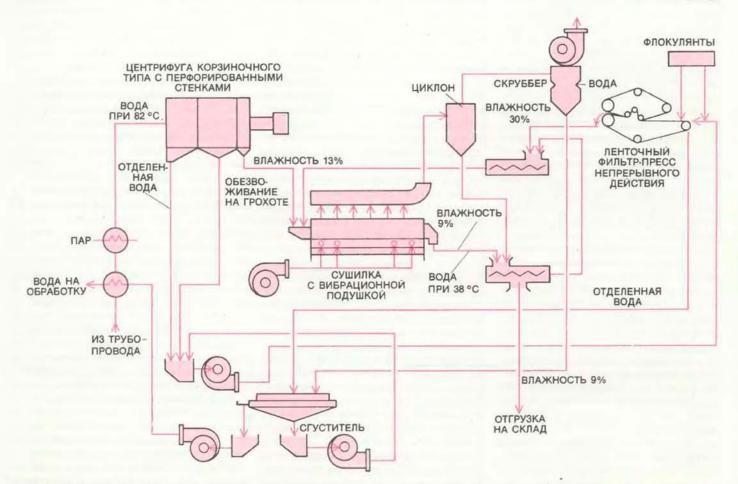
В узлах подготовки гидросмеси будут установлены такие же мельницы, что и в системе «Блэк-Меса». Уголь будет доставляться к этим установкам по ленточным конвейерам. Соотношение твердого к жидкому (Т:Ж) в пульпе по массе должно составлять 1:1. Магистральный трубопровод (от начала его в шт. Вайоминг до первой разгрузочной станции в шт. Оклахома) будет смонтирован из труб диаметром 1016 мм, изготовленных из углеродистой стали. Поршневые насосы с электрическими двигателями мощностью

1120 кВт. размещенные на станциях, отстоящих одна от другой на 130 -160 км, будут использованы для перемещения пульпы по трубопроводу со скоростью, примерно соответствующей скорости пешехода. Такая скорость необходима для того, чтобы поддерживать турбулентное течение пульпы. Перемещение пульпы по всему трубопроводу займет около двух недель. Трубопровод будет проложен почти строго на юг через шт. Вайоминг, затем повернет на юго-восток и пересечет северо-восточный угол шт. Кодалее пройдет лорадо. восточном направлении через шт. Канзас и окончится в шт. Оклахома.

В шт. Оклахома трубопровод разделится на две ветви. Одна из них будет проложена строго на юг в шт. Техас, а другая пойдет к электростанциям в северной и северо-восточной частях шт. Оклахома. Исследуются альтернативные варианты трассы с целью подачи угольной пульпы и на другие электростанции в шт. Техас и Луизиана. Эти варианты могут быть включены в окончательный проект в зависимости от того, насколько успешны будут усилия фирмы ETSI по привлечению потребителей.

Уголь от тех или иных угледобывающих предприятий будет транспортироваться партиями на определенные электростанции с тем, чтобы на каждую из них поступал уголь требуемого качества (с заданными значениями параметров зольности, содержания серы и теплоты сгорания). Каждая электростанция, вошедшая в систему «Этси», заключит контракт с определенным угледобывающим предприятием в бассейне Паудер-Ривер. Для того чтобы обеспечить поставку заказанного угля на соответствующую электростанцию, на каждую партию угля при поступлении ее на узел подготовки гидросмеси выписывается накладная. В накладной указываются данные химического анализа угля и его теплота сгорания. Когда партия угля достигает пункта назначения, вновь проводится анализ, и если полученные данные совпадут с указанными в накладной, то уголь направляется для обработки на обезвоживаюшую установку.

ля того чтобы проследить движение отдельных партий по магистральному трубопроводу, до и после каждой партии будет заливаться определенное количество маркирующего



НА КОНЕЧНОМ ПУНКТЕ трубопровода у электростанции производится обезвоживание угольной пульпы. Сначала она подогревается паром до температуры 82 °C, а затем пропускается через центрифуги. Поверхностная влаж-

ность угля (М), прошедшего через центрифуги, равна 13%. На других установках системы влажность снижается еще на 4%. Отделенная вода соответствует требованиям федеральных правил по охране природы.

раствора — электролита. соляного Когда раствор будет проходить через насосную станцию, обезвоживающую установку или какой-либо другой агрегат, то электрический потенциал, замеряемый в сечении трубы, резко возрастает. Это послужит сигналом о начале или завершении поступления партии угля. Наличие группы резервуаров с мешалками на каждом конечном пункте позволит оператору принять одно из двух решений: либо немедленно подать гидросмесь на обезвоживание, либо направить ее на хранение, чтобы впоследствии провести обезвоживание или передать смесь в заданной последовательности на следующий по течению участок трубопровода, ведущий к другому конечному пункту.

Весь цикл подготовки пульпы, ее транспорта по трубопроводу и обезвоживания был тщательно и успешно проверен в течение более 1000 ч на углеиспытательной установке фирмы ETSI в шт. Арканзас. Установка была сооружена для испытаний по полной программе, так что на ней можно было определить режимы измельчения, подготовки гидросмеси, гидротранспорта и обезвоживания для различных видов угля. Результаты испытаний позволили сделать два вывода. Во-первых, угольная пульпа, отвечающая требованиям транспорта по трубопроводам, может быть приготовлена при использовании серийных молотковых дробилок и стержневых мельниц, причем каждая из них будет потреблять примерно столько же энергии, сколько ее потребляли все дробилки и мельницы, установленные на узле подготовки гидросмеси трубопровода «Блэк-Меса». Во-вторых, на углеприемном пункте испытательной установки из пульпы постоянно получали обезвоженный уголь с поверхностной влажностью 7 — 11%, причем надежность обеспечения заданной влажности соответствовала требуемой для промышленной эксплуатации.

Благодаря использованию ленточного фильтр-пресса непрерывного действия для обезвоживания из пульпы извлекается практически 100% доставляемого угля; после извлечения угля содержание твердого компонента в воде не превышает 30 частей на миллион. Пылеулавливающее оборудование, установленное на сушилках с вибрационной подушкой, работало более эффективно, чем ожидалось. Хорошее обеспыливание, а также полное извлечение твердого компонента из воды свидетельствует о том, что установленные нормы на допустимую степень загрязнения атмосферы промышленными отходами и очистки сточных вод легко могут быть удовлетворены с помощью имеющегося оборудования.

Уголь западных месторождений, кроме того что он залегает далеко от

большинства действующих электростанций, имеет еще один недостаток. Дело в том, что западные суббитуминозные угли характеризуются относительно низкой теплотой сгорания и высокой пластовой влажностью. Впрочем, этот недостаток, как и отдаленность места добычи, легко устраняется при использовании трубопроводного транспорта. В лабораторных условиях уже исследовался процесс термогидравлической обработки угля с целью повышения его теплоты сгорания и снижения влажности. Гидросмесь подогревалась до температуры 316°C, и оказалось, что такая термообработка угля позволяет повысить его теплоту сгорания и снизить влажность. С целью выявления возможности использования этого метода для непрерывного процесса в промышленных масштабах фирма Техасо, Іпс. совместно с фирмой Bechtel соорудила в Монтебелло (шт. Калифорния) ную установку производительностью 18 т/сут.

Подлежащий обработке уголь сначала измельчали, а затем смешивали с водой и получали пульпу с содержанием твердого компонента от 45 до 50%. Затем пульпу нагревали до температуры 260 — 340°C в теплообменниках под давлением, чтобы сохранить ее жидкое агрегатное состояние. В результате теплота сгорания прошедшего термообработку угля повысилась, а содержание летучих веществ в нем значительно сократилось. Так, теплота сгорания в ходе последних испытаний возросла с 4728 до 5838 ккал/кг, т.е. увеличилась на 25%. (Для сравнения укажем, что добываемый в шт. Кентукки каменный уголь с высоким содержанием летучих веществ характеризуется теплотой сгорания 8229 ккал/кг.) Процесс легко может быть приспособлен к использованию на обогатительных фабриках при угледобывающих предприятиях или на обезвоживающих установках на конечных углеприемных пунктах трубопровода.

V ДАЛЕННОСТЬ от потребителей западных месторождений более чем компенсируется одним важным преимуществом добываемого там угля, а именно низким содержанием серы, которое ниже, чем в каких-либо других углях, разведанных в США. Это делает их идеальным топливом для современэлектростанций, K которым предъявляются жесткие требования по исключению загрязняющих отходов. Двуокись серы является основным загрязняющим компонентом дымовых газов, и предполагают, что именно она вызывает «кислотные дожди». Для удаления двуокиси серы из дымовых газов на современных электростанциях, использующих уголь, применяются скрубберы. Чем меньше серы содержится в угле, тем более эффективно скрубберы удаляют двуокись серы.

Эксперименты на установке для испытания углей, проведенные в процессе работы над проектом трубопроводной системы «Этси», позволили накопить опыт и решить ряд важных технических проблем. Кроме того, в этот предшествующий строительству период удалось приобрести права на 90% земельных участков по трассе будущего магистрального трубопровода, получить ограниченные права пользования на 70% участков, необходимых для линии водоснабжения, добиться гарантированного снабжения водой и получить от министерства внутренних дел положительное с точки зрения охраны окружающей среды экспертное заклю-

Для того чтобы приобрести права на земельные участки по трассе трубопровода, пришлось преодолеть сопротивление железнодорожных компаний. Тактика этих компаний заключалась в отказе фирме ETSI в праве прокладывать трубопровод под железнодорожными путями на участках пересечения их с трассой. Сначала это казалось непреодолимым препятствием. Однако исследование юридических документов, на основании которых компания Western Railroad более 100 лет назад приобрела полосу отчуждения, показало, что на многих участках железнодорожная компания обладает лишь правами на поверхность земли для прокладки путей; что касается нижних горизонтов почвы, то права на них сохранены за владельцами земельных участков. По документам на права земельной собственности в округах, на территории которых намечено проложить трубопровод, были выявлены владельцы этих участков, и фирма ETSI провела с ними переговоры о заключении контрактов на получение ограниченных прав пользования необходимыми участками. Затем фирма обратилась в судебные органы, чтобы придать этим контрактам юридическую силу, и таким образом проблема пересечения трубопроводом железных дорог была решена. Все 65 дел, возбужденных в судах низшей инстанции, были выиграны фирмой ETSI. Четыре апелляции, поданные впоследствии железнодорожными компаниями в суды высшей инстанции, были отклонены, и фирма ETSI имеет теперь право проложить трубопровод по намеченной трассе.

Если бы имелись федеральные законы об отчуждении частных земель под строительство углепроводов, то вся эта юридическая деятельность, проведенная фирмой, была бы излишней. Подобные законы жизненно необходимы для сооружения остальных проектируемых систем трубопроводного транспорта угля в США, в особенности тех, которые пересекают восточ-

ные штаты, где железнодорожные компании обладают полными правами собственности на земельные участки, занятые железнодорожными путями.

Первое законодательство об углепроводах было предложено в 1962 г. президентом Кеннеди. Этот законопроект, который в случае его принятия позволил бы построить трубопроводы для гидротранспорта угля из шт. Зап. Виргиния в шт. Нью-Йорк и Нью-Джерси, был отклонен под влиянием противодействия железнодорожных компаний. В 1974 г. во время эмбарго на импорт арабской нефти в США конгрессу был представлен на рассмотрение второй законопроект о трубопроводах для транспорта угля. На этот раз, хотя противодействие железнодорожных компаний продолжалось, законопроект был утвержден при голосовании в сенате, но был отклонен Комиссией палаты представителей по внутренним делам и делам островных территорий. Третий законопроект был внесен в 1975 г., но рассмотрение его в 1976 г. было отложено той же комиссией. Законопроект 1977 г. о трубопроводах для гидротранспорта угля достиг стадии рассмотрения в палате представителей, но был отклонен. В 1982 г. законопроект прошел в комиссиях сената и палаты представителей, но его не успели поставить на голосование до окончания очередной сессии конгресса. В настоящее время конгресс настроен поддержать законы об отчуждении частных земель для строительства углепроводов. Сейчас подготовлен новый законопроект (№ 1010 по реестру палаты представителей и № 267 по реестру сената), который имеет благоприятные шансы на одобрение в комиссиях обеих палат конгресса.

КОНЦУ марта 1983 г. фирма ETSI приобрела права на отчуждение полосы протяженностью 1858 км для главного углепровода и 278 км для трубопровода водоснабжения из шт. Южная Дакота. Эта программа приобретения прав на полосы отчуждения была наиболее крупной из когда-либо осуществленных и одновременно затрагивающих интересы 48 штатов США. Из общей протяженности полосы отчуждения 94 км пересекают федеральные земли и только 64 — земли штатов.

Федеральные земли, которые должны быть пересечены трубопроводом, это в основном степные заповедники в шт. Вайоминг и Колорадо, а также другие участки в этих штатах, находящиеся в юрисдикции федерального бюро по управлению землями. Именно поэтому фирма ETSI должна была получить официальное экспертное заключение о влиянии трубопровода на природу. Заключение было подписано министерством внутренних дел после

двухлетнего изучения проблемы, на что было затрачено 6 млн. долл. В документе указывается, что планируемая система фирмы ETSI приемлема с точки зрения охраны природы и является к тому же «конкурентоспособным средством транспорта угля». Было отмечено, что уложенный под землей трубопровод будет оказывать минимальное воздействие на природу и что растительность в полосе отчуждения восстановится сама через несколько лет после окончания строительных работ.

В декабре 1981 г. фирма ETSI подписала контракт с администрацией шт. Южная Дакота о получении ею ежегодно 61,7 млн. м³ воды из водохранилища Оахе, которое является одним из основных водохранилищ, сооруженных и контролируемых инженерными войсками США по плану Пик-Слоуна, и рассчитанному на предотвращение наводнений в долине р. Миссури. В настоящее время вода, накапливающаяся за плотиной Оахе, никак не используется, хотя исследования, проведенные федеральными властями и административными органами штатов, показывают, что ежегодно свыше 3,7 млрд. м3 воды из этого водохранилища может быть использовано для промышленных целей. В контракте со шт. Южная Дакота предусмотрено, что фирма ETSI будет бесплатно доставлять по своему трубопроводу водоснабжения 5,3 млн. м³ воды в год для поселков и сельскохозяйственных районов, расположенных вдоль его трассы в западной части шт. Южная Дакота.

График строительства системы «Этси» предусматривает одновременное сооружение трубопровода для водоснабжения, магистрального углепровода, трех узлов подготовки гидросмеси и их сборных систем, а также обезвоживающих установок на электростанциях — партнерах фирмы ETSI. Фирма ожидает, что на строительстве системы будет занято 5500 рабочих. Весь проект в ходе его осуществления создаст более 12000 рабочих мест, непосредственно связанных с ним, и около 24000 дополнительных рабочих мест в смежных отраслях промышленности. Стоимость материалов и оборудования, необходимых для строительства системы, превысит, как ожидают, 1,5 млрд. долл., а общая стоимость всего сооружения составит 3,5 млрд. долл., или 9,5% от сметной стоимости строительства всех торговых и промышленных предприятий по контрактам, заключенным в США в 1982 г.

Трубопровод «Блэк-Меса» выявил возможности строительства и надежной эксплуатации трубопроводов для дальнего гидротранспорта угля. Система «Этси» характеризуется резким увеличением диапазона трубопроводного транспорта, поскольку она покрывает треть страны. Масштабы и возможное воздействие этого проекта на экономику США сравнимы лишь с масштабами и значением трансконтинентальной железной дороги, построенной более 100 лет назад.

Учитывая огромный вклад углепроводов в развитие экономики страны и обеспечение с их помощью требуемых масштабов энергоснабжения в будущем, можно надеяться, что необходимые для осуществления проектов строительства трубопроводов законы булут наконец приняты, и этот вид транспорта, находящийся сейчас в стадии начального развития, сможет достичь зрелости.

ИЗдательство МИР предлагает:

Ф. Гудман, Г. Вахман ДИНАМИКА РАССЕЯНИЯ ГАЗА ПОВЕРХНОСТЬЮ

Перевод с английского Книга является введением в методы исследования рассеяния газов поверхностями - одного из наиболее актуальных и перспективных направлений механики разреженных газов. В монографии описывается экспериментальная методика проведения исследований с помощью молекулярных пучков, излагаются классическая и квантовая теории рассеяния на кристаллической решетке, систематизируются результаты, полученные за последние пятнадцать лет.

Книга рассчитана на математиков-прикладников и инженеров различных специальностей в области аэродинамики, космонавтики, химической и вакуумной технологии, атомной и химической физики. Она может быть использована как пособие для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

Заказы на эту книгу направляйте в издательство «Мир». Книга будет выслана наложенным платежом.

1980 г., 424 с. Цена 4 р. 10 к.



Молекулярные основы рака

Рак у человека возникает вследствие изменения нормальных генов, превращающихся в онкогены. Известен случай, когда такое кардинальное изменение обусловлено единственной точковой мутацией в гене, приведшей к замене одной аминокислоты в белке — продукте этого гена

РОБЕРТ А. ВАЙНБЕРГ

АКОВАЯ опухоль, удаленная из организма больного, представляет собой скопление множества раковых клеток, которые произошли от единственной клетки-родоначальницы. Эта клетка исходно была нормальной и выполняла в организме нормальную функцию в той ткани, которой она принадлежала. Но в ней произошло какоето глубокое изменение, вследствие чего клетка приобрела способность размножаться, подчиняясь более своей собственной программе, нежели внешним стимулам, которые обычно определяют рост и деление клеток. В результате она дала начало таким же образом измененным клеткам, из которых и образовалась опухоль.

Ключевое событие в развитии рака следует искать среди изменений клетки-родоначальницы. Что позволяет клетке выйти из-под контроля механизмов, ограничивающих ее рост и деление? В последние годы этот вопрос стал проясняться. В хромосомах опухолевых клеток обнаружены особые, «раковые» гены. Эти гены, которые часто называют онкогенами, и являются движущей силой неконтролируемого роста клеток. Именно они активируются при превращении нормальной клетки в раковую. Однажды «включившись», онкогены функционируют уже непрерывно, вынуждая клетку к ненормальной деятельности, характерной для злокачественного состояния.

Плейотропизм

Для поведения раковых клеток характерен ряд отличительных черт. Прежде всего обращает на себя внимание неконтролируемый рост. Раковые клетки часто очень сильно отличаются от нормальных по форме. Их локализация не ограничивается рамками определенных тканей, что типично для нормальных клеток. Многие раковые клетки поглощают молекулы углеводов с необыкновенно высокой скоростью. Превращение энергии в них осу-

ществляется в основном анаэробным путем, т.е. окисление происходит без участия кислорода. Внешняя мембрана раковых клеток отличается от мембран нормальных клеток, на ней имеются специфические опухолевые антигены, поэтому раковые клетки обладают особыми иммунологическими свойствами.

Это лишь небольшая часть длинного списка особенностей опухолевых клеток. Какие свойства существенно важны, какие второстепенны? Если у раковой клетки 100 отличительных признаков, то является ли каждый из них результатом отдельной стадии канцерогенеза? Проходит ли клетка в своем развитии от нормального состояния до ракового через эти 100 стадий, меняясь каждый раз характерным для конкретной стадии образом? Или же действует более простой — плейотропный — механизм? Может быть, в клетке «включается» какой-то один элемент, который способен вызвать одновременно много различных фенотипических изменений?

Имеющиеся данные свидетельствуют о простоте механизма превращения нормальной клетки в опухолевую. Первое указание было получено около двадцати лет назад при исследовании определенных мелких ДНК-содержащих вирусов, способных индуцировать рак у некоторых видов животных. Маргарет Вогт и Ренато Дульбекко, которые тогда работали в Калифорнийском технологическом институте, впервые удалось добиться трансформации нормальных клеток в раковые. Они добавили вирус полиомы к культуре фибробластов (фибробласты - это клетки соединительной ткани) из эмбриона хомяка и обнаружили, что зараженные клетки образуют фокусы, или колонии, в виде бесформенных комков, в то время как нормальные фибробласты растут ровным слоем толщиной в одну клетку. Если молодым крысам вводили клетки из таких колоний, у них образовывались опухоли. Другими словами, раковую клетку можно получить из нормальной с помощью определенных манипуляций в культуре, т.е. индуцировать трансформацию нормальных клеток в опухолевые. После этого открытия индукция рака перестала быть таинством, происходящим лишь в недоступных для исследователей тканях животного.

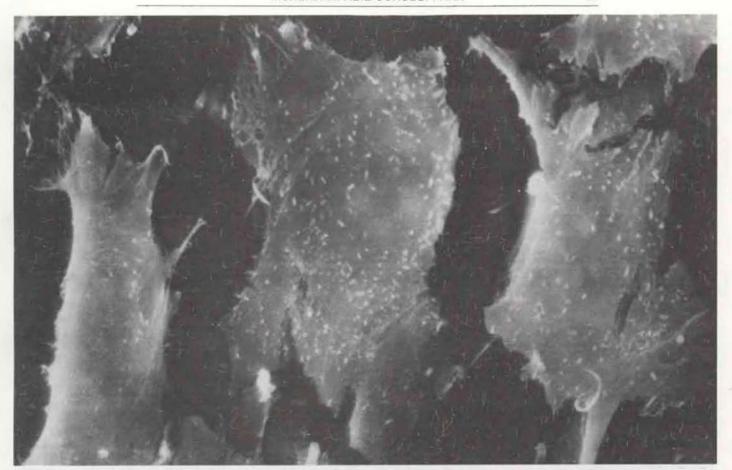
Клетки, трансформированные вирусом, обладают многими свойствами, характерными для раковых клеток. Дульбекко и другие исследователи показали, что трансформацию каким-то образом индуцировали гены вируса, т.е. генетическая информация, внесенная в клетку в процессе инфекции. Эта информация содержится в молекулах ДНК, заключенных внутри вирусных частиц. Заражая клетку, опухолеродный вирус вносит в нее ничтожно мало ДНК, приблизительно одну миллионную от того количества ДНК, которое содержится в хромосомах клетки. Таким образом, многочисленные изменения в структуре и функциях клетки были вызваны очень небольшим набором вирусных генов. Это доказывало плейотропную природу трансформации.

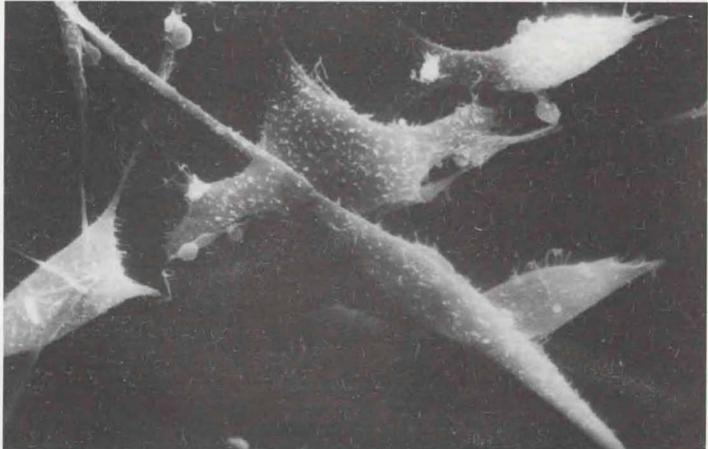
Работа Вогт и Дульбекко привела еще к одному открытию. Если из пролиферирующих раковых клеток утрачивались вирусные гены или их намеренно инактивировали в эксперименте, клетки возвращались в нормальное состояние. Следовательно, вирусные гены требуются не только для запуска процесса трансформации, их постоянное присутствие и активность необходимы для поддержания «ракового» фенотипа.

Генетические основы

Разумно было предположить, что аналогичные механизмы действуют и в других раковых клетках, трансформированных агентами невирусной природы, т.е. что все опухолевые клетки содержат небольшой набор каких-то генов, постоянная активность которых нужна для проявления «раковых»

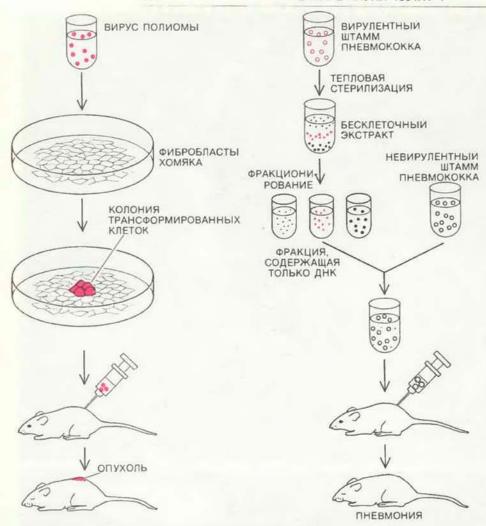
МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ РАКА





ТРАНСФОРМАЦИЯ КЛЕТОК ОНКОГЕНОМ. К нормальным фибробластам мыши (вверху) добавляли ДНК, выделенную из культуры опухолевых клеток ЕЈ человека, которая была получена из раковой опухоли мочевого пузыря. Произошла трансформация клеток мыши «раковой» ДНК, в результате возникли колонии трансформированных клеток (внизу). Нормальные клетки растут в виде плоского слоя, распола-

гаясь на расстоянии друг от друга; трансформированные клетки отличаются от нормальных по форме и растут, образуя комки. Микрофотографии получены Эрикой Хартвиг и Дж. А. Кингом с помощью сканирующего электронного микроскопа. Клетки фиксировали глутаровым альдегидом и осмием, удаляли из них воду, затем высушивали и напыляли золотом и палладием. (Увеличение × 2000.)



ТРАНСФОРМАЦИЯ КЛЕТОК ВИРУСНОИ ДНК. Слева: эксперимент М. Вогт и Р. Дульбекко. Они заражали фибробласты хомяка вирусом полиомы. В животную клетку проникает только геном вируса, но этого достаточно, чтобы она трансформировалась. Возникли колонии трансформированных клеток. Когда эти клетки ввели крысам, у них развились опухоли. Прямое доказательство роли клеточной ДНК в трансформации было получено в опытах О. Эвери и его коллег (справа). Они получили бесклеточный экстракт из вирулентного штамма пневмококков, разделили его на фракции и показали, что фракция, содержащая только ДНК, сообщает вирулентность ранее невирулентным штаммам.

свойств клетки. Такой образ мыслей подразумевает, что рак имеет генетическую основу: злокачественное состояние поддерживается работой генов, а не других, эпигенетических регуляторных систем клетки.

Двадцать лет назад эта идея была далеко не общепринятой, хотя уже давно имелись и другие указания на связь рака с генами. Постепенно накапливались данные о канцерогенах невирусной природы, в том числе об излучении и разнообразных химических агентах. Подобные канцерогены, конечно, не вносили в клетку генетической информации, но зато изменяли уже имеющуюся, воздействуя на гены клеток. Многие канцерогены вызывали повреждения ДНК и, следовательно, мутации. Гипотезу о центральной роли генов в канцерогенезе стали обсуждать всерьез.

Однако прямые доказательства отсутствовали. Требовался эксперимент, который бы продемонстрировал, что в

раковых клетках имеются измененные гены, ответственные за их аномальные функции. А для этого требовалось провести анализ клеточной ДНК, которая гораздо сложнее относительно простой ДНК опухолевых вирусов. Один из путей для таких исследований был открыт 39 лет назад в историческом эксперименте, в котором впервые было показано, что генетическую информацию переносит ДНК. О. Эвери, К. Мак-Леод и М. Мак-Карти из Рокфеллеровского института медицинских исследований изучали два штамма пневмококков, из которых один вызывал смертельную для мышей пневмонию, а другой нет. В чем заключалось различие между этими штаммами на молекулярном уровне? В экстракте, полученном из вирулентных бактерий, исследователи обнаружили «трансформирующее начало», способное превращать невирулентные бактерии в сильно патогенные. Они выделили его

и установили, что это ДНК. При переносе молекул ДНК из одной бактериальной клетки в другую осуществлялась передача генетической информации о вирулентности. Таким образом было доказано, что ДНК является носителем генетической информации, определяющей отдельный признак.

Перенос генов

Пять лет назад в моей лаборатории в Массачусетском технологическом институте Ч. Ших предпринял аналогичные эксперименты. Он решил выяснить, можно ли передать «раковые» признаки клетке млекопитающего, перенося молекулы ДНК из одной клетки в другую. Способ передачи генов между клетками млекопитающих уже был разработан ранее голландскими исследователями. По их методике, молекулы ДНК заключают в кристаллы фосфата кальция (в таком виде ДНК легче проникает в клетки) и добавляют к клеткам, растущим в культуре. Попав в клетки-реципиенты, ДНК донора включается в состав их хромосомных днк.

Мышиные фибробласты обработали химическим канцерогеном метилхолантреном, в результате чего они превратились в раковые клетки. Из них эксграгировали ДНК, соосадили ее с фосфатом кальция и добавили в культуру нормальных фибробластов, обозначаемую NIH3T3. Через две недели после введения донорной ДНК в культуре NIH3T3 появились фокусы трансформированных клеток. Под микроскопом они выглядели по существу так же, как колонии, возникающие при заражении вирусом. Когда трансформированные клетки ввели мышам, у них развились опухоли. Если для трансформации брали ДНК нормальных клеток, ничего подобного не наблюдалось. Вывод был совершенно ясен. Во-первых информация о фенотипе опухолевых клеток была перенесена от клетки к клетке молекулами ДНК. Во-вторых, последовательности в ДНК из донорных опухолевых клеток отличались от аналогичных последовательностей в ДНК нормальных клеток. Мы объяснили эту разницу тем, что в ДНК донорных клеток под действием метилхолантрена произошла мутация.

Общее значение этих первых наблюдений можно было подвергать сомнению, поскольку клетки, из которых получали донорную ДНК, и клетки, в которые ее вводили, были одного и того же типа — фибробласты мыши. Не исключалось, что наблюдавшаяся трансформация посредством ДНК характерна для клеток только данного типа. Однако оказалось, что эти опасения напрасны. Исследователи в нашей и других лабораториях провели такие же

эксперименты с ДНК из самых разнообразных опухолевых клеток. В том числе источниками ДНК служили различные опухоли человека: исследовали рак мочевого пузыря, толстого кишечника и легких, а также фибросаркомы, нейробластомы и даже лейкозы. Во всех случаях наблюдалась соответствующая трансформация.

Следовательно, должно существовать нечто общее у трансформированных химическим канцерогеном фибробластов мыши и у всех исследованных типов опухолей человека, поскольку их ДНК вызывала один и тот же эффект — трансформацию здоровых клеток, превращение их в раковые. Более того, ДНК, например, из опухоли толстого кишечника человека способна трансформировать фибробласты мыши, стало быть, трансформирующие последовательности ДНК раковых клеток могут функционировать в клетках из совершенно другой ткани и даже другого вида млекопитающих. Наконец, ДНК донора действует, повидимому, плейотропно: в результате трансформации клетки приобретали весь набор признаков, характерных для клеток опухолей, и все эти разнообразные изменения в реципиентных клетках вызывались весьма ограниченным количеством генетической информации донора, как и в случае вируса полиомы.

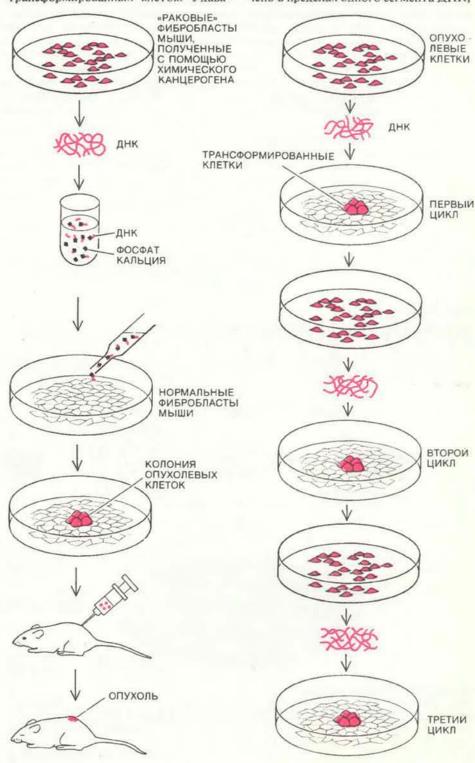
Исследование трансформирующего начала

Эксперименты по переносу генов дали важные результаты, но для того, чтобы двигаться дальше, нужно было установить, какая последовательность (или последовательности) ответственна за трансформацию, и исследовать ее. Не были определены даже самые общие свойства «трансформирующего начала». Соответствует ли оно одному сегменту ДНК или для трансформации требуется взаимодействие нескольких независимых участков ДНК? Если действительно дело в одном-единственном активном сегменте ДНК, то это указывало бы на существование уникального «ракового» гена, функционирующего подобно другим индивидуальным генам в геноме.

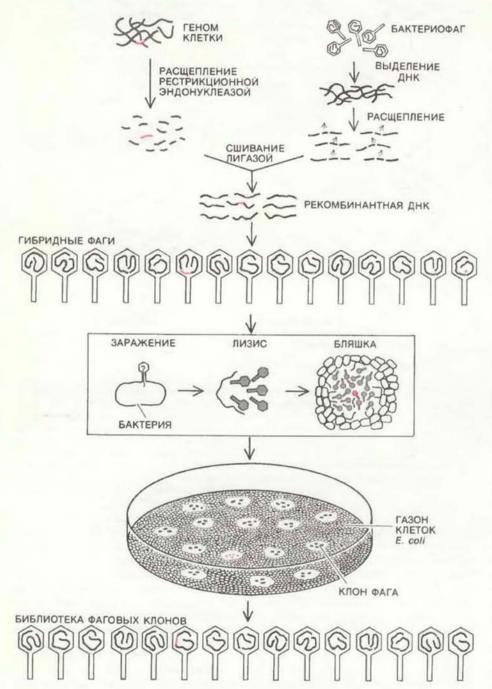
Уже имелись данные в пользу того, что трансформирующее начало соотвествует одному сегменту ДНК. Эксперимент состоял в следующем. Из донорных опухолевых клеток выделяли ДНК и вносили ее, как описывалось выше, в культуру фибробластов мыши; ДНК индуцировала образование нескольких колоний трансформированных фибробластов. Брали клетки одной из полученных колоний и выращи-

вали из них культуру. Затем из этой культуры снова выделяли ДНК и ею опять трансформировали нормальные клетки. И вновь возникали колонии трансформированных клеток. Удава-

лось получить трансформацию при третьем и даже четвертом переносе ДНК. Это позволяло предполагать, что трансформирующее начало заключено в пределах одного сегмента ДНК,



ДНК ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК определяет «раковый» фенотип клеток. Это было показано в опытах по переносу генов (слева). Клетки мыши превращали в раковые с помощью химического канцерогена. Из них выделяли ДНК, соосаждали ее с фосфатом кальция и вносили в культуру нормальных мышиных клеток. В результате среди нормальных клеток возникали колонии трансформированных клеток. Когда трансформированные клетки вводили мышам, у тех развивались опухоли. В опыте с многократным переносом генов (справа) ДНК, выделенную из опухолевых клеток человека, вводили в нормальные клетки мыши. Из тех клеток, которые трансформировались, выращивали культуру, выделяли ДНК и ею снова трансформировали клетки мыши. Перенос повторяли 3—4 раза. Только короткие отреэки ДНК могли сохраниться при нескольких выделениях и осаждениях, поэтому успех последовательных трансформаций доказывает, что трансформирующий агент заключен в пределах одного сегмента ДНК. который в серии трансформаций переходит из клетки в клетку целиком. Цепь ДНК длинная, и в ходе последовательных выделений из клеток и сопутствующих процедур она разрывается на тысячи мелких фрагментов: при трансформации лишь немногие могут одновременно попасть в одну и ту же клетку. Если бы трансформирующая активность зависела от взаимодействия многих несцепленных друг с другом элементов ДНК, то в серии последовательных трансформаций она наверняка исчезла бы, так как ее составляющие были бы отделены друг от друга.



ГЕНОМНУЮ «БИБЛИОТЕКУ» получают, клонируя гены в хромосоме бактериофага λ. Геномы клетки и фага λ расщепляют рестрикционной эндонуклеазой. Один из сегментов фаговой ДНК отбрасывают, а оставшиеся соединяют с отрезком клеточной ДНК ферментом ДНК-лигазой. Рекомбинантная ДНК упаковывается в белковую оболочку фага λ. Таким гибридным фагом заражают клетки *Escherichia coli*. Фаг размножается, пизирует клетку, потомство фага выходит из нее и убивает соседние клетки, в результате на бактериальном газоне образуется бляшка, которая представляет собой клон, происходящий от одной фаговой частицы. Когда в одну и ту же чашку Петри с газоном *E. соli* вносят несколько разных гибридных фагов, образующиеся клоны отличаются друг от друга тем, что в них содержатся разные сегменты клеточной ДНК. Теперь нужно идентифицировать клон с нужным геном (выделен цветом). Обычно это делают с помощью ДНК- или РНК-проб, родственных нужному гену. Однако для трансформирующей ДНК проб не было.

Проблема, следовательно, сводилась к поискам и исследованию трансформирующего сегмента ДНК. Замысел экспериментов был продиктован особенностями структуры ДНК. Молекула ДНК — это двойная спираль; две ее цепи построены из нуклеотидов четырех типов — А, G, Т и С. Именно последовательности нуклеотидов ДНК и «записана» генетическая информация. Эта информация реализуется в результате транскрипции одной из цепей ДНК с образованием РНК и трансляции РНК с образованием белка. Геном клетки содержит приблизительно 6 млрд, пар оснований. Один ген состоит в среднем из 5 тыс.-10 тыс. пар оснований. Таким образом, задача заключалась в том, чтобы вычленить единственный сегмент, содержащий трансформирующее начало, из ДНК, в которой других последовательностей в миллион раз больше. Это стало возможным благодаря разработанным недавно методам клонирования генов. Они позволяют выделять из генома клетки отдельные сегменты ДНК и размножать их, т.е. получать многие тысячи их копий. Имея в руках такой материал, можно исследовать ген в чистом виде, а не в его естественном окружении, в котором исследователю немудрено совершенно заблудиться, как в лжунглях.

Обычно для клонирования генов используют бактериальные плазмиды (т.е. небольшие кольцевые молекулы экстрахромосомной ДНК) или бактериофаги (т.е. вирусы бактерий). Логика при этом одна. Геном клетки разрезают на несколько сот тысяч фрагментов. Каждый фрагмент встраивают в геном вектора — плазмиды или фага. Часто для этой цели берут фаг А. Каждый из полученных гибридных фагов помимо собственных генов несет один встроенный сегмент клеточной ДНК. Набор гибридных фагов называют геномной библиотекой, поскольку в сумме он содержит весь запас генетической информации генома клетки: каждый сегмент исходного генома представлен в одном или более фагах «библиотеки».

Фаги размножают, заражая ими клетки Escherichia coli (каждый фаг размножают отдельно от других). Попав в газон E. coli в чашке Петри, фаговая частица проникает в клетку и заставляет ее образовывать новые частицы — копии исходной. В конце концов клетка гибнет, потомство фага заражает соседние клетки, и в результате через несколько часов в бактериальном газоне образуется «дырка» - бляшка, содержащая тысячи фаговых частиц. Популяция фагов в бляшке — это клон: все они произошли от одной фаговой частицы. Из клона можно выделить тысячи копий встроенного фрагмента ДНК, т.е. получить его клон.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ РАКА

Анализ «библиотеки» фагов

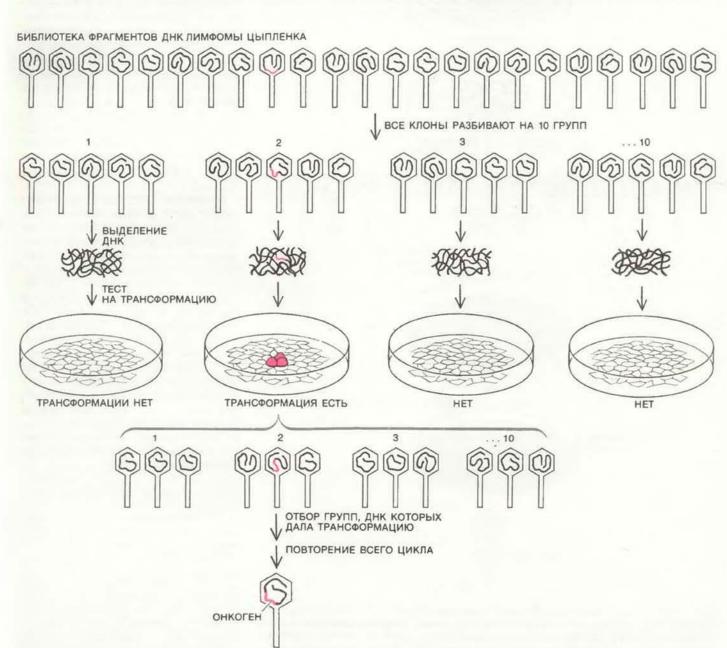
Главная проблема в таких экспериментах — найти во всей библиотеке те немногие клоны, которые содержат нужную вставку ДНК. Наиболее удобно делать это с помощью ДНК-пробы — одноцепочечного фрагмента ДНК, последовательность нуклеотидов в котором мало отличается от последовательности в одной из нитей ДНК клонируемого гена. Будучи комплементарной ко второй цепи, ДНКпроба специфически гибридизуется с искомой ДНК. Если ДНК-пробу пометить радиоактивным изотопом, бляшку, содержащую нужную ДНК, можно

обнаружить с помощью метода радио-автографии.

Однако трансформирующие последовательности не было возможности идентифицировать этим стандартным методом, так как мы не имели специфической ДНК-пробы. «Раковая» ДНК определялась только по своей биологической активности — способности индуцировать трансформацию. Значит, требовались новые подходы.

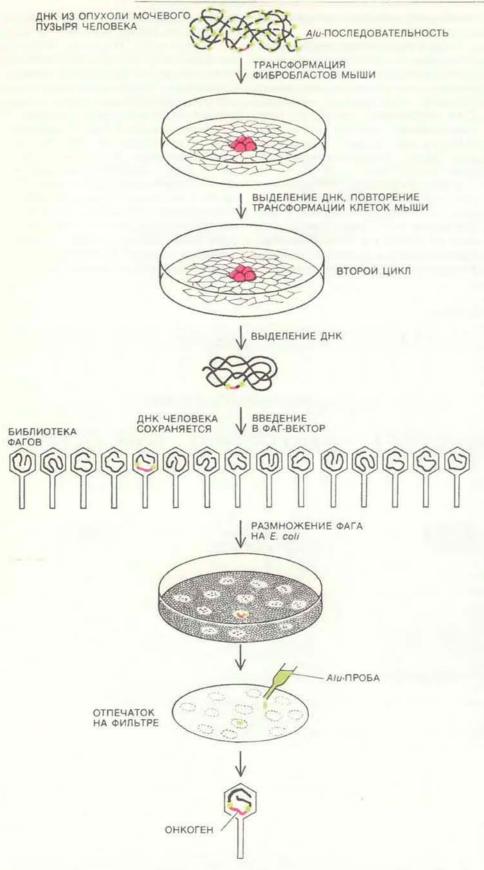
В трех лабораториях были предприняты опыты по клонированию, причем стратегия экспериментов была в каждой группе своя. Сотрудники Дж. Купера из Института рака Даны-Фарбера совместно с исследователями из Гарвардской медицинской школы раз-

работали методику, позволявшую обойтись без ДНК-пробы. Они получили библиотеку из ДНК клеток лимфомы цыпленка, в которой, как было известно из опытов по переносу генов, содержалась трансформирующая активность. Эти несколько сот тысяч гибридных фагов разделили на 10 групп. Из фагов каждой группы выделяли ДНК и исследовали ее способность трансформировать фибробласты мыши. Ту группу, ДНК из которой вызывала трансформацию, делили еще на 10 частей и для каждой определяли трансформирующую активность. Такой поиск привел в конце концов к единственному клону фаговых частиц, несших трансформирующую активность, т.е. к искомой трансформирующей ДНК.



МЕТОД ПОИСКА трансформирующей ДНК был разработан Дж. Купером и его сотрудниками. Они получили библиотеку приблизительно из 200 000 клонов фагов с фрагментами ДНК клеток лимфомы цыплят. Все клоны разделили на 10 групп, и совокупную ДНК из каждой группы исследовали в

опытах по переносу генов. Если наблюдалась трансформация, клоны этой группы делили еще на 10 частей и повторяли опыт. Так поступали до тех пор, пока не был найден тот единственный клон, который нес трансформирующую активность. Из него и выделили онкоген лимфомы цыплят.



ДНК-ПРОБА обнаружила трансформирующий ген. По всему геному человека разбросаны короткие Alu-последовательности (зеленые). Клетки мыши были трансформированы ДНК из человеческих раковых клеток, ДНК из трансформированных клеток внесли в нормальные мышиные клетки. ДНК вторично трансформированных клеток могла содержать лишь тот участок ДНК человека, который несет трансформирующую активность (красный). Из ДНК этих клеток получили библиотеку. Фаги из нее выращивали на газоне E. coli. Получили отпечатки-реплики чашек на фильтрах и провели гибридизацию ДНК, связавшейся с фильтром, и радиоактивной ДНК-пробы, содержащей Alu-последовательности. С помощью метода радиоавтографии установили положение той бляшки, в которой ДНК гибридизовалась с ДНК-пробой. В этом клоне проверили трансформирующую активность, и оказалось, что в нем есть онкоген рака мочевого пузыря.

В моей лаборатории Ч. Ших применил другой подход. Он трансформировал клетки мыши ДНК из раковой опухоли мочевого пузыря человека, а затем ДНК из трансформированных клеток ввел в нормальные мышиные клетки. Из ДНК этих вторично трансформированных клеток была получена «библиотека», в которой ДНК человека имелась в очень небольшом количестве - присутствовали только последовательности, непосредственно связанные с трансформирующей активностью. Остальная ДНК человека отсеялась в ходе последовательных переносов генов, как как отбор при этом вели только по трансформирующей активности. Ших выявил эту ДНК с помощью ДНК-пробы, которая специфически гибридизовалась с ДНК человеческого происхождения, так как содержала так называемые Аlu-последовательности. Эти последовательности имеются только у человека, причем они располагаются беспорядочно по всему геному, и, значит, с большой степенью вероятности одна из них находилась в трансформирующем участке ДНК. Ших выделил фаговый клон, содержавший ДНК человека, и, проделав перенос генов, обнаружил, как и ожидалось, искомую трансформирующую активность.

В группе М. Уиглера (Лаборатория в Колд-Спринг-Харборе) начали с того, что к каждому сегменту ДНК из опухоли мочевого пузыря человека присоединили бактериальный маркерный ген. Затем провели серию переносов генов и получили мышиные клетки, в ДНК которых из всего генома человеческой опухолевой клетки содержалась лишь трансформирующая последовательность, сцепленная с геном-маркером. Сегменты этой мышиной ДНК встроили в особые фаги с дефектами в последовательностях, кодирующих некоторые фаговые белки. На культуре бактерий могли расти только фаги, несшие бактериальный маркерный ген, так как он нейтрализовал генетические дефекты фага-вектора. Среди тех немногих жизнеспособных фагов, которые выросли на газоне E. coli, у нескольких имелся в геноме трансформирующий сегмент.

Онкогены

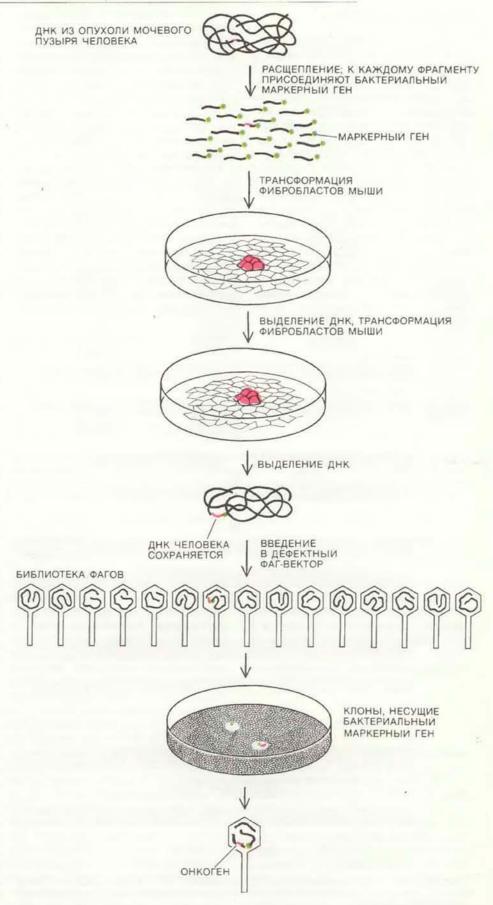
Итак, в трех лабораториях тремя различными методами было прямо установлено, что трасформирующая активность связана с отдельными сегментами ДНК. Расплывчатый термин «трансформирующее начало» себя изжил. Все три метода давали один и тот же результат: клонирование приводило к одному сегменту ДНК, несущему один ген. Эти клонированные гены обладали очень высокой биологической активностью. Чтобы получить I колонию трансформированных клеток,

нужно в среднем 2 мкг ДНК из опухоли мочевого пузыря, а такое же количество ДНК клонированного трансформирующего гена индуцировало до 50 000 колоний. Трансформирующая активность, которая ранее считалась обусловленной всей ДНК опухолевой клетки в целом, оказалась свойством отдельного гена — онкогена, т.е. гена рака.

Как возникают онкогены у человека? Ответ на этот вопрос был получен в лаборатории Уиглера, в лаборатории М. Барбасида (Национальный институт рака), а также в моей при изучении онкогена рака мочевого пузыря человека. Этот ген был выделен описанным выше методом из линии опухолевых клеток, которую обозначают EJ или T24. Оказалось, что клонированный онкоген эффективно гибридизуется с определенной последовательностью нормального генома человека. Более того, было обнаружено, что онкоген и нормальный ген одинаковы по размеру. Дальнейшие исследования показали, что эти два гена почти идентичны. Ясно было, конечно, что они не могут быть абсолютно идентичны, поскольку функционировали они весьма различно: клонированный онкоген трансформировал клетки, а клоны гомологичного нормального гена этой способностью не обладали. Напрашивалось предположение, что онкоген - это немного измененный нормальный ген, который в таком случае можно назвать протоонкогеном.

Протоонкоген рака мочевого пузыря не единственный такой ген в ДНК человека. В настоящее время доказано, что еще три онкогена опухолей человека происходят от соответствующих протоонкогенов. Почему в геноме человека сохраняются гены, потенциально способные стать «раковыми» и вызвать образование опухолей? Зачем нужны организму семена собственного разрушения?

Ответов на эти важнейшие вопросы все еще нет. Ясно одно: протоонкогены не сохранились бы в геноме, если бы не выполняли какой-то важной функции в нормальном метаболизме клетки. Последовательности, родственные протоонкогенам человека, найдены в ДНК некоторых млекопитающих, цыплят и даже плодовой мушки Drosophila. Значит, предшественники протоонкогенов человека возникли очень давно - у общих предков человека и плодовой мушки, т.е. более 600 млн. лет назад. Протоонкогены не могли бы сохраниться практически без изменений в течение столь длительного времени, если бы не были и тогда и теперь жизненно необходимыми. Конкретная роль подобных генов в нормальном метаболизме до сих пор не выяснена, однако есть указания, что они имеют отношение к регуляции пролиферации клеток. Ниже я еще остановлюсь на этом.



БАКТЕРИАЛЬНЫЙ МАРКЕРНЫЙ ГЕН в качестве пробы. ДНК из опухоли мочевого пузыря расщепили на фрагменты и каждый соединили с копией бактериального гена (зеленый). Проделав серию трансформаций, получили ДНК мыши, которая из всей ДНК человека содержала только трансформирующий ген (красный). Он оставался тесно сцепленным с маркерным геном. Библиотеку фагов получали из штамма с генетическим дефектом. Бактериальный ген имел свойство снимать этот дефект, поэтому на *E. coli* выросли только фаги, несшие маркерный ген. В некоторых клонах обнаружили фрагмент ДНК клеток опухоли мочевого пузыря.

Вирусные онкогены

Помимо тех онкогенов и протоонкогенов, которые были обнаружены в опытах по переносу генов, известен еще один класс «раковых» генов. Он был открыт раньше, при исследовании ретровирусов - группы вирусов, вызывающих рак у некоторых животных. Генетическим материалом у них служит не ДНК, а РНК; когда такой вирус заражает клетку, на РНК в процессе обратной транскрипции синтезируется ДНК. Было обнаружено, что за индукцию рака ответствен один определенный ген ретровируса - онкоген. Дж. Бишоп, Г. Вармус и их коллеги (Медицинская школа Калифорнийского университета в Сан-Франциско) показали, что онкогены ретровирусов имеют не вирусное, а клеточное происхождение. Это протоонкогены, которые были захвачены ретровирусами в клетках животных и теперь переносятся (трансдуцируются) ими при заражении. Попав в геном ретровируса, протоонкоген каким-то образом активируется, превращаясь в онкоген, способный трансформировать клетки. В настоящее время известно уже 17 клеточных протоонкогенов, включившихся в геномы ретровирусов и ставших активными онкогенами.

Можно было думать, что существуют два способа активации протоонкогенов и соответственно две группы нормальных генов, которые могут становиться онкогенами. Первую группу составляют открытые в опытах по переносу генов протоонкогены, превращающиеся в онкогены путем мутации. Вторая группа — это обнаруженные вирусологами гены, активирующиеся в ретровирусах. Теперь мы знаем, что

В прошлом году методом гибридизации было показано, что некоторые онкогены опухолей человека очень близки по последовательности к онкогенам ряда ретровирусов, заражающих крыс. Например, онкоген рака мочевого пузыря человека, о котором говорилось выше, очень похож на онкоген вируса саркомы Харви, захваченный из генома крысы. Это означает, что один и тот же протоонкоген может быть активирован двумя независимыми путями: претерпев мутацию либо попав в геном ретровируса. Показано, что еще один клеточный протоонкоген ведет себя подобным образом. Он активируется, либо перейдя из генома мыши в геном вируса саркомы Кирстен, либо вследствие мутаций, которые превращают его в онкогены рака толстой кишки, легких, мочевого пузыря или поджелудочной железы, а также некоторых сарком человека. Два клеточных протоонкогена, входящие в виде онкогенов в геномы виру-

такое разделение в общем-то условно.

сов сарком Харви и Кирстен, родственны. Они относятся к семейству генов ras, детально изученных Э. Скольником и его коллегами (ранее они работали в Национальном институте рака, а теперь являются сотрудниками лаборатории фирмы Мегск в г. Уэст-Пойнт, шт. Пенсильвания). Группе Уиглера удалось установить родство с генами семейства ras еще для одного онкогена человека, однако в ретровирусах он пока не найден. Этот ген N-ras имеется в ДНК при различных видах лейкозов, лимфоме, нейробластоме, раке толстой кишки и некоторых саркомах. Поскольку в ДНК столь разнообразных опухолей присутствуют сходные онкогены - гены группы ras, - можно думать, что активация определенного протоонкогена не является специфичной для той или иной ткани. Один и тот же ген может быть активирован в любой из нескольких тканей, при этом характер опухоли определяется видом ткани.

Как видим, в представлении об образовании опухолей достигнута известная простота, что является главным итогом исследований рака. С точки зрения молекулярной биологии рак — это уже не сто разных заболеваний, для каждого из которых характерен особый вид опухоли. Напротив, теперь ясно, что во всех типах опухолей действуют одни и те же молекулярные механизмы. Конечно, необходимы дальнейшие экспериментальные подтверждения этому, поскольку до сих пор детально исследовано лишь ограниченное число опухолей человека.

1 OHKOLEH **AKTUBEH** ПРОТООНКОГЕН **HEAKTUBEH** РАСЩЕПЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЕ СТАНОВИТСЯ НЕАКТИВНЫМ СТАНОВИТСЯ АКТИВНЫМ СТАНОВИТСЯ **НЕАКТИВНЫМ** CTAHOBUTCS АКТИВНЫМ СЕГМЕНТ ДЛИНОЙ 350 НУКЛЕОТИДОВ 3 СТАНОВИТСЯ НЕАКТИВНЫМ → ГЛИЦИН СТАНОВИТСЯ **АКТИВНЫМ** → ВАЛИН

ТОЧКОВАЯ МУТАЦИЯ, превращающая протоонкоген в активный онкоген в линии клеток *EJ* рака мочевого пузыря. Вначале выявили сегмент ДНК, в котором произошла мутация. Протоонкоген и онкоген расщепляли в одних и тех же сайтах (1), полученные сегменты соединяли, как показано на рисунке. Рекомбинантные гены проверяли на трансформирующую активность в опытах по переносу генов. Анализируя последовательно все более и более короткие фрагменты (2), выяснили, что важен лишь один сегмент длиной всего 350 нуклеотидов (3). Определили его последовательность в нормальном и в «раковом» генах. Оказалось, что имеется единственная мутация: там, где в протоонкогене стоит гуанин (G), в онкогене находится тимин (П). Это приводит к замене глицина на валин в белке — продукте гена.

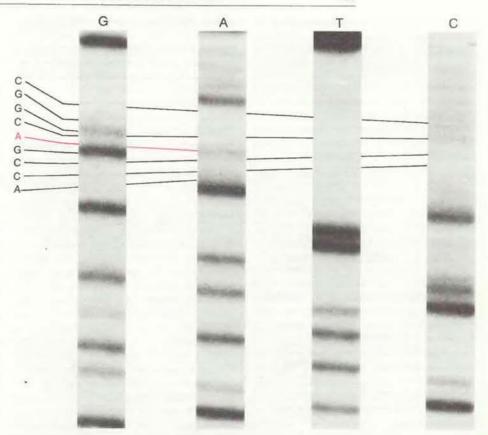
Определение мутации

Предполагалось, что безопасный протоонкоген становится активным

онкогеном путем мутации, однако ее природа оставалась невыясненной. Были получены клоны обоих вариантов гена - и нормального и ракового. - поэтому стало возможно локализовать мутацию совершенно точно. В принципе можно было бы определить всю последовательность нуклеотидов длиной 5000 пар оснований для обоих генов, а затем сравнить две последовательности. На практике проще оказалось вначале приблизительно определить тот участок внутри гена, в котором содержалась мутация. Это сделали, получив рекомбинанты из разных частей двух генов, причем методы генной инженерии позволили имитировать двойной кроссинговер классических генетических скрещиваний (см. рис. на с. 34). Такой эксперимент был выполнен в лабораториях Барбасида и Уиглера, а также в моей лаборатории.

Сначала нормальный ген и онкоген расщепляли на сегменты рестрикционными эндонуклеазами (эти ферменты разрезают молекулу ДНК в сайтах с определенными последовательностями нуклеотидов). Специфические фрагменты, вырезанные из разных генов, затем соединяли вместе с помощью фермента ДНК-лигазы, получая таким образом гибридные гены, в которых часть принадлежала прежде онкогену, а часть — протоонкогену. Определяли способность гибридных молекул трансформировать фибробласты мыши — это выявляло, какой ген приобрел, а какой потерял онкогенную активность.

В моей лаборатории К. Табин и другие исследователи получали гибридные гены последовательно из все меньших и меньших фрагментов онкогена рака мочевого пузыря и соответствующего протоонкогена. В конце концов установили, что для превращения протоонкогена в ген с высокой трансформирующей активностью достаточно ввести в него сегмент онкогена длиной всего 350 пар оснований. Следовательно, гипотетическая мутация произошла в этом сегменте. Р. Дхар (Национальный институт рака) определил последовательность сегмента из активного и из неактивного генов и получил совершенно неожиданный результат. Последовательности отличались друг от друга всего одним основанием: на том месте. где в протоонкогене находился гуанин, в онкогене стоял тимин. Значит, замена всего одного нуклеотида, т.е точковая мутация, в нормальном клеточном гене длиной 5000 нуклеотидов может превратить его в онкоген. Так впервые удалось точно определить генетическое нарушение, приводящее к образованию раковой опухоли у человека. Вполне вероятно, что мутации протоонкогена, возникающие в результате тех или иных воздействий на ДНК, играют решающую роль в развитии и



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ НУКЛЕОТИДОВ сегмента длиной 350 пар оснований в протоонкогене и в онкогене. На рисунке представлены результаты определения последовательности дидезокси-методом. Цветом выделена обнаруженная нуклеотидная замена С — А. Она соответствует замене G — Т в комплементарной цепи.

других видов рака.

Недавно были описаны иные механизмы активации протоонкогенов. Грейс Шен-Онг и М. Коул (Медицинский центр Сент-Луисского университета), а также Ребекка Тауб и ее коллеги (лаборатория Филипа Ледера в Гарвардской медицинской школе) обнаружили хромосомные перестройки, вызывающие активацию протоонкогена тус, активный онкогенный вариант которого содержится в опухолевых клетках у мышей при миеломах и у человека при лимфоме Беркитта. В результате перестройки клеточный протоонкоген переносится из своего обычного сайта на другую хромосому. Там он располагается рядом с генами, ответственными за синтез иммуноглобулинов. В процессе иммунного ответа эти гены транскрибируются с высокой скоростью. Очевидно, соседство с геном иммуноглобулина нарушает регуляцию протоонкогена и тем самым сообщает ему новую биологическую функцию.

В других случаях протоонкоген, как выяснилось, присутствует в клетке не в двух копиях, как большинство генов клетки, а в значительно большем числе копий. Такая амплификация гена ведет к высокому уровню его экспрессии, с чем, видимо, и связан онкогенный эффект.

Итак, существует несколько молеку-

лярных механизмов превращения нормального гена в онкоген. Для опухолевых генов млекопитающих в их число входят точковые мутации, хромосомные перестройки и амплификация генов. В тех случаях, когда в канцерогенезе играют роль ретровирусы, переносимые ими гены либо соединяются с регуляторными элементами вируса, что усиливает их экспрессию, либо претерпевают мутации.

«Раковые» белки

Исследования механизмов, лежащих в основе рака, прошли длинный путь от весьма расплывчатых понятий о генетических факторах вообще до идентификации отдельных конкретных генов. Казалось бы, поиск можно считать законченным, раз причина рака определена с точностью до единичного изменения на молекулярном уровне. Однако самые сложные проблемы остаются нерешенными.

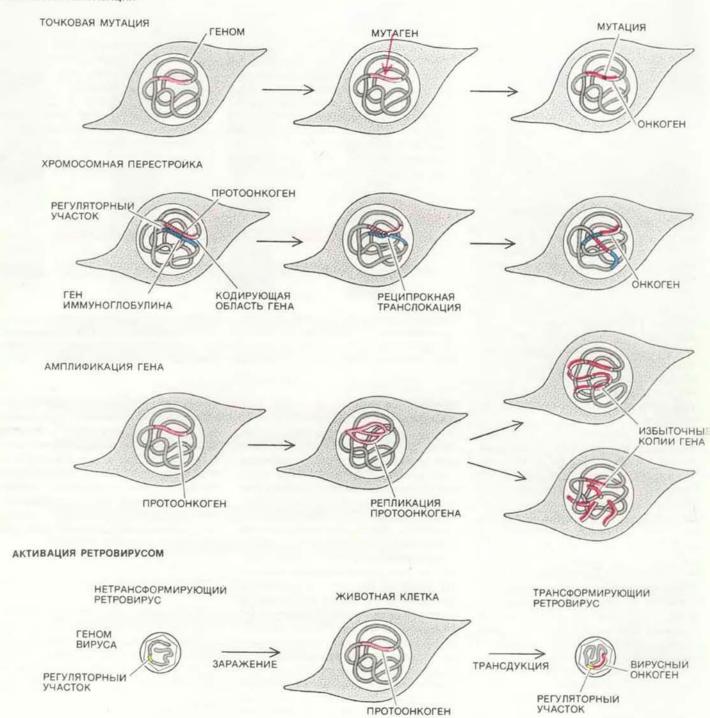
Какова роль измененного гена в процессе развития рака? Другими словами, какова функция онкогена? В группе Скольника было показано, что многие гены семейства ras кодируют белок с мол. массой 21000. Каждая аминокислота белка однозначно закодирована триплетом оснований. Точковая мута-

В МИРЕ НАУКИ · 1984 / № 1

ция, превратившая протоонкоген в онкоген рака мочевого пузыря, заключалась в том, что вместо кодона GGC появился триплет GTC. Вследствие этого изменилась структура белка — продукта онкогена: вместо глицина в одном из положений оказался валин. Эта единственная замена, по-видимому, и наделяет белок новыми функциями, ведущими к глубоким изменениям в ме-

таболизме клетки. Остается, однако, неясным, как же работают такие белки. Предполагается, что они каким-то образом регулируют рост клеток, причем в норме рост определяется белком,

НЕВИРУСНАЯ АКТИВАЦИЯ



ЧЕТЫРЕ ПУТИ АКТИВАЦИИ ПРОТООНКОГЕНА. Если в протоонкогене нормальной клетки под действием облучения или химического канцерогена происходит мутация, она приводит к изменению структуры белка, что влечет за собой изменения в клетке, характерные для злокачественного состояния. При хромосомной перестройке и рекомбинации кодирующая белок последовательность протоонкогена может оказаться соединенной с регуляторным участком другого гена (здесь — гена иммуноглобулина), более активно транскрибирующегося; вследствие этого протоонкоген экспрессируется с излишней эффективностью. Третий

путь активации — амплификация: каким-то образом протоонкоген многократно реплицируется. Число его копий в клетке резко возрастает (они могут располагаться рядом на одной хромосоме либо существовать в виде экстрахромосомных элементов). Результат тот же — чрезмерная экспрессия. Наконец, роковую роль могут сыграть ретровирусы. При заражении животной клетки вирус захватывает клеточную последовательность с протоонкогеном и включает в свой геном, где протоонкоген может активироваться вследствие либо соединения с регуляторным участком вирусного генома, как показано на рисунке, либо мутации. кодируемым протоонкогеном, а его двойник — продукт онкогена — действует так, что рост становится злокачественным.

Понимание функций онкогенных белков необходимо для создания антагонистов - препаратов, ингибирующих эти функции; это путь к терапии, нацеленной против ключевого дефекта раковых клеток. Не исключено, конечно, что таких дефектов не один, а несколько. Канцерогенез - это, несомненно, многостадийный процесс. Самые разные данные свидетельствуют об одном и том же: превращаясь в опухолевую, нормальная клетка претерпевает ряд независимых изменений. Точковая мутация, приводящая к замене аминокислоты в одном белке, - это только одна из стадий, в которой участвует один ген. Возникновение онкогена — важное условие развития опухоли, но вряд ли его достаточно; скорее всего, есть и другие необходимые стадии. В последнее время появились гипотезы об их природе.

Обнаружены разнообразные опухоли, в которых в результате независимых событий возникает по два различных онкогена. Так, У. Хэйуорд из Рокфеллеровского университета и Сьюзен Эстрин из Института по изучению рака показали, что в лимфоме цыплят активируется протоонкоген тус, а Купер и его сотрудники наблюдали в клетках той же опухоли активацию другого протоонкогена — В-Іут. У человека в случае лимфомы Беркитта и при промиелоцитарном лейкозе также в активированном состоянии находится по два опкогена. Эти данные позволяют предполагать, что многостадийность канцерогенеза может объясняться отчасти необходимостью в активации нескольких различных онкогенов: кажлый онкоген вызывает свои изменения в клетке, а наблюдаемый фенотип опухоли создается их взаимодействием.

Я затронул только два из множества вопросов, которые еще предстоит исследовать. Сейчас ситуация в этой области обнадеживает. Потоки разнородных данных постепенно складываются в единую картину. Заболевание, которое всего пять лет назад казалось совершенно непостижимым, стало по крайней мере менее загадочным. Недавние открытия на уровне генов вполне согласуются с ранними представлениями о канцерогенезе, основанными на данных эпидемиологии и исследованиях трансформации. В настоящее время в наших руках есть методы и средства, которые позволят достичь в ближайшие годы еще больших успехов. Я думаю, к концу 80-х годов молекулярные механизмы, лежащие в основе рака, будут изучены в деталях.

Наука и общество

Нужное лекарство

ЖЕГОДНО более 5 млн детей, глав-С ным образом в развивающихся странах, умирают от диареи. Еще многим миллионам она приносит истощение. При диарее организм теряет огромное количество жидкости вследствие частого жидкого стула, и смерть наступает от обезвоживания. Лечение напрашивается само собой: необходимо компенсировать потерю воды и солей. Это можно сделать путем внутривенных инъекций, но для подобных процедур необходимы стерильные растворы, специальное оборудование и квалифицированный медицинский персонал, к тому же это дорого. К сожалению, как раз в тех странах, где диарея среди детей особенно распространена, такое лечение для большинства населения, как правило, недоступно. Существует, однако, другой способ борьбы с обезвоживанием, действенный и недорогой. Жидкость вводят в организм рег os, т.е. через рот. В обыкновенной воде растворяют глюкозу и соли, больной постоянно пьет раствор, тем самым восполняя потерю воды. Практика двух последних десятилетий продемонстрировала эффективность такого метода лечения обезвоживания. Полученные данные свидетельствуют о том, что этим простым способом можно практически ликвидировать смертность при диарее. На сегодняшний день задача состоит в том, чтобы сделать лечение per os доступным в странах, где оно необходимо.

Развитие и эффективность лечения диареи per оз подробно рассмотрены в аннотированной библиографии, которая опубликована Панамериканской и Всемирной организациями здравоохранения. Острую диарею могут вызывать различные агенты, большинство из них содержится в загрязненной воде. Как правило, независимо от природы агента, основной результат его действия один и тот же - нарушение нормальной деятельности тонкого кишечника. Ионы натрия и вода перестают всасываться через стенку кишечника в кровяное русло. Происходит обратный процесс: важнейшие соли и вода выделяются в просвет кишки и выводятся с испражнениями. Поэтому хотя и стало ясно, что, восполняя потери воды и солей, можно спасти даже больных холерой — одним из самых тяжелых обезвоживающих заболеваний, считалось тем не менее, что для лечения необходимы внутривенные вливания, поскольку растворы, поступающие в организм через рот, в кишечнике не всасываются.

Еще в 1949 г. было обнаружено, что глюкоза и некоторые другие простые

сахара значительно увеличивают поглощение ионов натрия и воды в кишечнике. Для восстановления водного и солевого баланса после внутривенного вливания больным обычно давали водный раствор глюкозы, содержащий соли: хлористый натрий (т.е. обыкновенную поваренную соль), хлористый калий, бикарбонат натрия. Позднее выяснилось, что в большинстве случаев внутривенное вливание не является совершенно необходимым и достаточно пить глюкозно-солевой раствор. Во Всемирной организации здравоохранения был разработан специальный пакет: в его комплект входит нужное количество глюкозы и солей из расчета на 1 л воды. Такими пакетами следует снабдить все лечебно-профилактические учреждения, чтобы они стали доступными для населения и не было препятствий к их применению в домашних условиях. За неимением специальных пакетов можно, как показали исследования, с успехом использовать просто раствор поваренной соли и сахара (щепотка соли и маленькая пригоршня сахарозы или обычного сахара на литр воды).

Описанный способ борьбы с обезвоживанием - хороший пример того, как в результате лабораторных исследований и клинических испытаний удалось разработать научно обоснова. ный метод лечения, удовлетворяющий важнейшим требованиям: он недорог и может быть применен в самых обычных условиях. Комментируя итоги международной конференции по терапии обезвоживания per os, проходившей в Вашингтоне в июне 1983 г., журнал «Lancet» отмечает, что возможности метода используются пока далеко не полностью. Врачи, включая тех, кто имеет практику среди бедного населения даже в развитых странах, должны четче представлять себе серьезные последствия диареи и эффективность терапии per os. С помощью просветительной литературы необходимо разъяснять матерям, как проводить лечение. Важно также предостеречь от увлечения традиционными лекарственными препаратами, которые приносят больше вреда, чем пользы. Нужно принять все меры к тому, чтобы создать сеть учреждений по оказанию первичной помощи, в которых бы население обучали и обеспечивали необходимыми средствами.

Археологические раскопки Великого Новгорода

Разнообразие и исключительная сохранность древних предметов, найденных при раскопках в Новгороде, позволили археологам и историкам получить удивительные свидетельства обширных связей средневековой русской республики со странами Европы. Столицей этой республики был Великий Новгород

в. л. янин

В ИСТОРИИ древней Руси город Новгород, по праву называвшийся Великим, занимает исключительное место. Он принадлежит к числу древнейших русских городов; начало его существования относится к IX в., однако этимология его названия свидетельствует о том, что само возникновение «нового города» было итогом развития еще более древних подготовительных процессов, в рамках которых должно найтись место и «старому городу» — предшественнику нового.

На заре своей истории, уже в IX в., Новгород становится политическим центром громадной территории, населенной разноэтническим населением — славянами и кривичами, пришедшими на равнины русского Северо-Запада с других территорий, финноугорскими автохтонными племенами. Обращаясь к тому раннему периоду, летописи XII-XIII вв. свидетельствуют о существовании под политической эгидой Новгорода конфедерации всех этих племен, которые то вступали в союз с соседними варягами, то выступали против них с оружием в руках. Будучи поначалу независимой, эта конфедерация объединилась в конце IX в. с Киевом в одно государство, посадив на киевский престол своего князя, который перенес главную столицу на берега

Существует давний спор о происхождении новгородских славян. Долгое время пользовалась популярностью версия о том, что Новгород возник как некий киевский форпост в движении днепровских славян к берегам Ильменя и Волхова из Поднепровья. Новейшие лингвистические, археологические и антропологические наблюдения склоняют к иному пониманию этой проблемы. По-видимому, славянство обосновалось на северо-западе Руси в результате особой волны славянского расселения, исходившей с территории Чехии и Польши, а новгородско-киевское

единство стало результатом того исторического процесса, который в конце IX в. привел к образованию Древнерусского государства. На первоначальную самостоятельность двух главных центров Руси, в частности, указывает существование вплоть до XIII в. двух денежных систем — северной и южной — и соответственная ориентация их весовых норм на западноевропейские и византийские.

В X-XII вв. новгородцы подчинили своему влиянию огромные пространства от Эстонии на западе, до земель северного Зауралья на востоке, от Белого моря на севере до верховьев Волги на юге, образовав таким образом одно из крупнейших в Европе государств. Стремительный рост могущества Новгорода уже в XI в. привел к упорной борьбе за независимость с киевскими князьями-борьбе, увенчавшейся окончательным успехом в результате мощного антикняжеского восстания 1136 г. Эта победа, добытая Новгородской аристократией в борьбе за политическую власть, и создала поразительный феномен средневековой государственности — аристократическую республику, власть в которой принадлежала избранным на вече посадникам.

Республика не ликвидировала институтов княжеского управления, но отвела им только четко обозначенное второстепенное место в системе государства. Князья в Новгороде не обладали наследственной властью. Завоевав право приглашать и изгонять неугодных князей, новгородцы превратили княжеский престол в символ политического союза с теми русскими княжествами, откуда в очередной раз приглашались в Новгород князья. Такие союзы были взаимовыгодны: Новгород на многие столетия превратился в щит, ограждавший русские земли от военной опасности на их северозападных рубежах; в то же время и союзные княжества укрепляли военную мощь Новгорода, что создавало основу мирного благосостояния государства.

С XII в. начался расцвет Новгорода, продолжавшийся четыре столетия. В эту эпоху особенно укрепляются его торговые и культурные связи с Западной Европой, Северным Причерноморьем, Волжской Булгарией, которая служила мостом в страны Средней Азии и Ближнего Востока. В Новгороде создаются шедевры архитектуры и живописи, литературы и прикладного искусства. Возникает свой особенный художественный стиль, отразивший, впрочем, и жадный интерес к творчеству соседних народов. Новгородская земля избежала непосредственного военного вторжения и разгрома в тяжелые столетия татаро-монгольского нашествия, и высокий уровень развития Новгорода в XIV в. способен показать нам, какой могла бы быть Русь, если бы над ней не пронесся огненный вихрь кочевнического разорения.

В XV в. республиканская власть, приняв олигархические формы, переживает глубокий кризис. Она лишилась поддержки со стороны рядового населения, утратившего веру в ее демагогические лозунги и не захотевшего поддержать боярство в момент последнего острого конфликта с Москвой. В 1478 г. Новгород вошел в состав единого русского национального государства, став одной из его главнейших частей. Собственно, с этого года и ведет свое начало Русское государство последующих веков. Потеря независимости поначалу не остановила процесса дальнейшего поступательного развития Новгорода. В XVI в. в нем строится много новых зданий и возводятся мощные фортификации. Однако близок и его упадок, который во многом был определен переносом главных торговых путей Русского государства на север, к Архангельску. Захватив в 1611-1617 гг. Новгород, шведы уничтожили не менее половины города, и

АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСКОПКИ ВЕЛИКОГО НОВГОРОДА

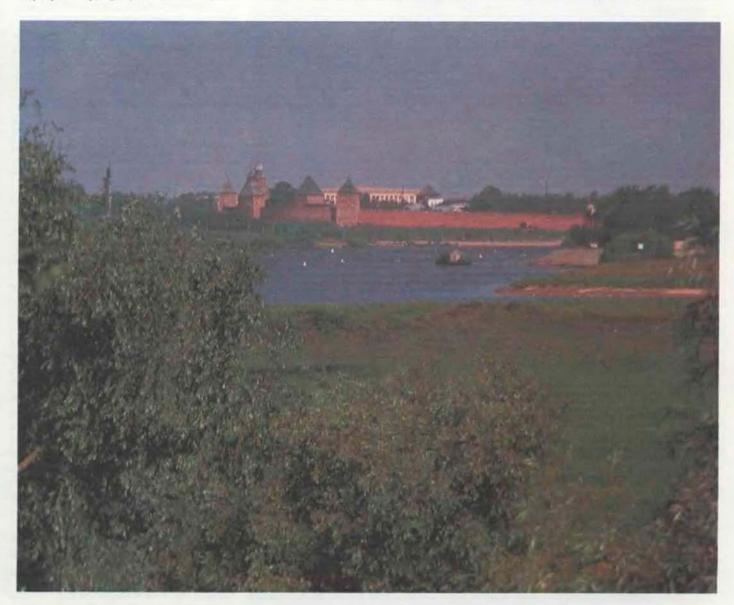
его восстановление, затянувшееся на десятки лет, уже не вернуло ему былой славы. Ко второй половине XVIII в. на месте бывшего Великого города возникает перепланированный и перестроенный Новгород. По существу это уже новый город, поскольку практически нигде его улицы и дома не совпадают с планировкой Великого Новгорода. Перестроив себя заново, город тем самым, конечно не намеренно, сумел «законсервировать» свое прошлое.

В КРУГУ археологических работ едва ли не самыми трудными и малоэффективными признаются раскопки тех древних городов, которые и сегодня продолжают жить активной жизнью. Новое строительство жилых и общественных зданий, неизбежное развитие и совершенствование подземных коммуникаций, работы по благоустройству, реорганизация транс-

портных магистралей - все это не может не сопровождаться широким вторжением в исторически сложившийся массив культурных напластований предшествующих веков, нанося ущерб этому своеобразному хранилищу информации о прошлом. Из десятилетия в десятилетие все активнее идет процесс разрушения культурного слоя, проявляя себя более всего при обновлении рядовой, массовой застройки. На местах небольших деревянных домов, характерных для самого раннего времени, в XVI-XIX вв. строятся капитальные каменные дома, фундаментные конструкции и глубокие подвалы которых перемалывают под собой все, что было накоплено средневековьем. Многоэтажные здания XIX-XX вв. стирают остатки более ранних каменных домов, а современное строительство с его свайными фундаментами, не требуюшими рытья котлованов, вслепую «добивает» то, что случайно уцелело прежде.

Не удивительно, что археологи, исследующие городские древности античного времени и средневековья, предпочитают вести раскопки в «мертвых» городах, некогда заброшенных жителями, полагая, что массив культурного слоя в них остается как бы законсервированным для археологического изучения. Такой взгляд, однако, не всегда справедлив.

Основу любого культурного слоя составляют органические остатки человеческой жизнедеятельности, и прежде всего деревянные. На протяжении почти всей истории человечества дерево оставалось главным поделочным материалом. Из него строили дома, настилали уличные и дворовые мостовые, изготовляли бытовую утварь. Деревянными были транспортные средства и разного рода механизмы. В общем балансе бытовых древностей на



ВИД НА НОВГОРОДСКИЙ КРЕМЛЬ со стороны Городища и озера Ильмень поражал воображение путешественников во все времена и традиционен для гравюр и рисунков XV—XVIII вв. Примыкающие к Новгороду с юга луга всегда

были заливными, не приспособленными для застройки. Поэтому и сегодня из центра города открываются те же дали, которые видели наши предки в XI—XII вв., что придает этому городу особое очарование.



ЗЕМЛИ ВЕЛИКОГО НОВГОРОДА в XIV — XV вв. простирались от рубежей с Псковом и Ливонским орденом на западе до зауральских областей на востоке. С севера они омывались Ледовитым океаном, на юге граничили с русскими княжествами. Подчинив своему влиянию огромную территорию, новгородцы образовали одно из крупнейших в Европе государств.

долю деревянных изделий приходилось не менее 90%. Однако, составляя основу культурных отложений, дерево (а также кожа, кость, ткани и т.п.) хуже всего сохраняется в земле. Для его сохранения необходимым условием является полное отсутствие аэрации, или, иначе говоря, сквозняка. Другое обязательное условие - повышенная влажность почвы. Для того чтобы такие условия возникли, древние культурные отложения должны быть перекрыты мощными слоями прессующих их поздних напластований. Следовательно, продолжающаяся сегодня современная жизнь древнего города, с одной стороны, разрушает древность, а с другой — способна ее консервировать. Решающим оказывается благоприятное сочетание этих противоположных процессов.

В СЕ ЭТИ проблемы общего порядка имеют самое прямое отношение к археологическим исследованиям средневекового Новгорода. Этот древнейший центр Руси живет и сегодня активной жизнью города с 200-тысячным населением, а раскопки в нем, начавшись еще в 1932 г. под руководством крупнейшего советского археолога А. В. Аршиховского, с тех пор не прекращаются и, конечно, будут продолжаться многие десятки лет. Эти исследования опровергают сложившееся мнение о

малой эффективности раскопок в современных городах с далеко отстоящей от нас датой их рождения. Причиной этому стали обстоятельства особого рода.

Новгород стоит на плотных слоях глины, препятствующих вертикальному стоку паводков и осадков. С момента возникновения культурный слой до предела насыщался влагой, консервирующей все органические остатки. Изза повышенной влажности почвы жители города очень рано стали мостить деревом свои улицы и въезды на усадьбы. Культурный слой рос примерно со скоростью 1 см в год, и к концу XVII в. его толщина в районах наиболее интенсивной жизни достигла примерно 8 м. Высокая влажность не позволяла горожанам заглублять в землю фундаменты домов, рыть погреба и вести значительные земляные работы, а быстрый рост культурных напластований приводил к тому, что примерно каждые 20 — 30 лет уровень мостовых требовалось повышать, сооружая новые настилы на еще не успевших износиться мостовых. В толще культурного слоя возникли многоярусные конструкции улиц, служившие мощным основанием очередному действующему настилу. Местами такие конструкции включали в себя более 30 последовательных ярусов.

Непотревоженными оставались в земле и бесчисленные остатки древних деревянных домов, вернее - остатки их нижних венцов, уцелевшие во время пожаров, которые в деревянном городе были естественной причиной частой гибели всей застройки. Многочисленные прослойки культурного слоя, состоящие из последовательно сменяющих друг друга отложений строительства, жилых напластований и линз пожарищ, легко открывают свою стратиграфическую связь с ярусами уличных мостовых, благодаря чему все находки - в том числе и многочисленные бытовые предметы — без особых затруднений группируются в хронологически и локально замкнутые комплексы.

Если в других городах начавшаяся в XVI-XVII вв. интенсивная строительная и хозяйственная деятельность положила начало непрекращающемуся вторжению в древние комплексы, то судьба новгогодского культурного слоя, к счастью для современной науки, сложилась иначе. Именно в XVI в., когда в русских городах началось массовое каменное жилое строительство, Новгород теряет значение выдающегося экономического и политического центра. Главные торговые пути, проложенные тогда через Архангельск, обошли его стороной. Еще один сильнейший удар был нанесен Новгороду шведской оккупацией 1611 — 1617 гг. и переходом к шведской короне выходов к Балтике. В XVIII — первой трети XIX вв., когда была создана обощедшая его стороной Мариинская система водных путей, он перестал играть былую роль центра торговли с Петербургом, а сооружение к середине XIX в. железной дороги Петербург - Москва, снова обощедшей Новгород, надолго обрекло его на положение третьестепенного города в общей системе русских экономических связей. Все это послужило причиной очень слабого развития городского строительства. Например, по данным 1843 г., в Новгороде насчитывалось 1502 деревянных дома и только 147 каменных. Значит, и сложившийся к тому времени культурный слой не подвергался сколь-нибудь значительной деформации.

Впрочем, это еще не все. По-видимому, в начале XVIII в. в городе была создана разветвленная система дренажа. Деревянные трубы для отвода почвенных вод, местами функционирующие и сегодня, вкопаны на глубину до полутора метров, что подсушило культурные отложения XVI-XVII вв., вызвало проникновение в них воздуха и привело к выгниванию в них всех органических остатков. Аэрация уничтожила и образовавшиеся позднее отложения XVIII-XX вв. Зато почти повсеместно в Новгороде под сыпучим грунтом поверхностных отложений залегают прекрасно сохранившиеся слои X-XV BB.

Утрата для науки позднейших напластований с лихвой компенсируется бесценными находками, относящимися к X-XV вв. Их сохранность была обеспечена и другой особенностью Новгорода. Во второй половине XVIII в. Новгород, древняя градостроительная схема которого складывалась стихийно на протяжении многих столетий, был самым решительным образом перепланирован. Новая градостроительная схема, основанная на принципах регулярной застройки, ввела на Торговой стороне города прямоугольную сетку кварталов, а на Софийской — радиально-полукольцевую планировку. Новые улицы в большинстве случаев были проложены там, где в древности находились задворки средневековых усадеб, а древние улицы, главные жилые комплексы которых тяготели к линиям уличных мостовых, оказались в глубине новых кварталов, т.е. там, где в дальнейшем вообще не велось интенсивного строительства.

Таким образом, в Новгороде мы наблюдаем редчайший случай сохранения до наших дней в непотревоженном состоянии мощного культурного слоя на наиболее ценных его участках. Значение этого обстоятельства особенно велико, поскольку речь идет не о второстепенном историческом пункте, а о великом городе, сыгравшем в истории средневековой Руси выдающуюся роль экономического, политического и культурного центра.

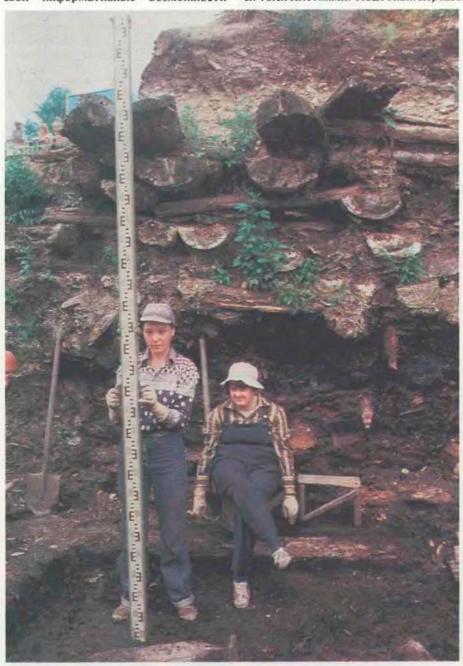
Значение этого обстоятельства нельзя переоценить еще и потому, что исследование выдающейся роли Новгорода затруднено состоянием того фонда письменных источников, который собран к настоящему времени. Перспектива его пополнения новыми находками в архивах минимальна. Между тем далеко не на все вопросы, волнующие современного исследователя, наличные письменные источники способны дать ответ. В особенности это касается ранних этапов новгородской истории — времени, когда Новгород был столицей северо-западных русских земель, когда исходящие из него «импульсы» сделали Киев общерусской столицей, когда в самом Новгороде вершился процесс превращения княжества в боярскую республику. Сама общепринятая структура Новгорода с республиканской формой государственности представлялась во многом загадочной, а поиски путей исследования ее возникновения осложнялись вековой дискуссией о роли норманнов в истории древнерусских политических институтов.

ОСОБОЕ состояние новгородского культурного слоя как памятника средневековой культуры потребовало от археологов существенных методических новаций в его исследовании. Из используемых при раскопках Новгоро-

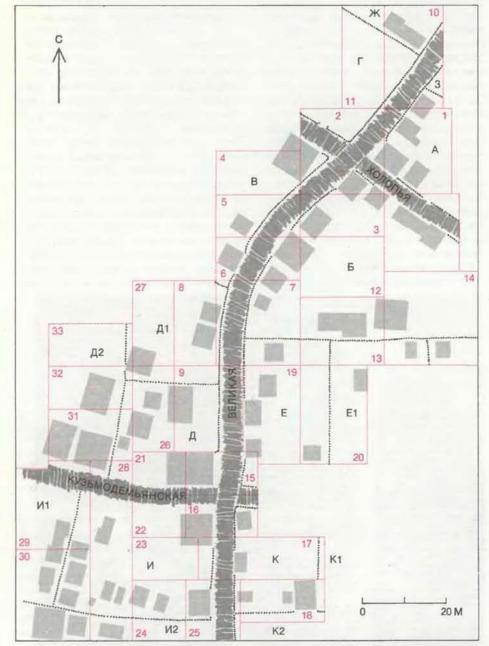
да методических приемов следует назвать два наиболее важных. Было признано, что только раскопки широкой площадью способны удовлетворять современным требованиям науки. При таком способе раскопок главным объектом изучения становится целая усадьба, а в оптимальном случае значительный участок древнего города с улицами и примыкающими к ним усадьбами. Позволительно прибегнуть к такому сравнению. Небольшой раскоп, внутри которого оказываются только отдельные дома или их части, можно уподобить даже не отдельной странице письменного документа, а только обрывку такой страницы. Целая усадьба подобна целому документу достаточно многообразного содержания.

Однако такой документ раскрывает свои информативные возможности

лишь после того, как в руках опытного источниковеда получает точную датировку. Второй важнейший методический прием раскопок в Новгороде состоит в привлечении надежных способов датировки исследуемых комплексов. Наиболее эффективным при насыщенности новгородского культурного слоя древними деревянными строительными конструкциями оказался метод дендрохронологической датировки. Впервые предложенный и примененный американским исследователем А. Дугласом еще в начале нынешнего столетия, этот метод долгое время не мог быть использован за пределами Америки, поскольку основывался на изучении годичных колец таких долговечных деревьев, как секвойя и желтая сосна, возраст которых исчисляется тысячелетиями. Подобных деревьев



РАЗРЕЗ МОСТОВЫХ на Троицком раскопе. Работы здесь еще не завершены; они доведены до уровня середины XII в. Самый поздний настил древней Черницыной улицы датируется началом XV в.



НА СХЕМЕ показано расположение древних усадеб XII в. на Неревском раскопе (1951—1962 гг.). Раскоп пересекают три средневековые улицы: Великая, Холопья и Кузьмодемьянская. Буквами обозначены усадьбы, площадь которых в среднем равнялась 1500 кв. м. Красные цифры соответствуют участкам раскопа; в такой последовательности работы на нем велись в течение 12 лет.

нет в Восточной Европе, где в постройках традиционно использовалась обычная сосна, возраст, которой редко превышает 150 лет. И тем не менее в Новгороде обычная сосна смогла с успехом заменить секвойю. Если А. Дуглас и его последователи имели возможность разработать шкалу ежегодных изменений климата на живом, растущем и сегодня долговечном дереве, то Б. А. Колчину удалось построить для Восточной Европы подобную шкалу, составляя ее на основе изучения последовательно сменяющих друг друга ярусных деревянных конструкций средневековых мостовых и сомкнув ее с показаниями растущих деревьев, благодаря чему она была доведена до сегодняшнего дня. Применение дендрохро-

нологического метода создало возможность точнейшей - до одного года-датировки любого сохранившегося до наших дней бревна, обнаруженного при раскопках, а это значит, что сегодня мы знаем абсолютные даты почти каждого находимого в земле деревянного сооружения, в частности даты сооружения любого яруса уличных мостовых. Заключенные между двумя ярусами прослойки культурного слоя, наполненные древними бытовыми предметами, получают ограничивающие их даты с точностью до 15 — 25 лет. В таком замкнутом комплексе локализания специфических нахолок внутри отдельных сооружений позволяет понять функцию таких сооружений, как жилые дома, ремесленные мастерские, постройки хозяйственного назначения и т.д.

Продолжая предложенное сравнение, можно сказать, что каждый раскоп, изученный с применением таких методов, становится подобным книге из нескольких десятков страниц, листая которую мы наблюдаем последовательное развитие исследуемых комплексов, все динамические видоизменения которых надежно датированы. Важно отметить, что при этом мы видим жизненные процессы, вовсе не отраженные в традиционных письменных источниках. Средневековый литературный этикет требовал описания необычного. В круг интересов летописцев отнюдь не входило то, что казалось им незыблемой повседневностью, прекрасно знакомой отцам и дедам и оставляемой в наследство грядущим поколениям внуков и правнуков. Способы организации ремесла, направление товарных потоков в торговле с другими государствами, системы хозяйствования казались современникам неизменными. Между тем им было свойственно постепенное развитие, темп которого временами менялся, но это развитие, ставшее одним из главных объектов современного исследования, становится ощутимым на хронологическом удалении от него.

Возник в Новгороде и еще один важный способ исследования, давший в руки археологов надежный инструмент исторического анализа. Правда, вначале этот способ был употреблен для узко практической цели правильной организации самих раскопок. Дело в том, что еще в конце 60-х годов было принято постановление городского Совета «Об охране культурного слоя Новгорода». Согласно этому постановлению, в городе запрещались любые строительные работы без предварительного исследования археологами тех участков, которые отводились под очередную застройку. С этого момента деятельность экспедиции полностью сосредоточилась на таких участках. Однако, вступив в деловой контакт со строителями, мы вынуждены были определять до начала строительства сроки своих исследований, подчинив их графику будущего строительства. Чтобы точно определить такие сроки, надо знать толщину культурного слоя на месте будущих раскопок. Необходимые сведения дает геологическое бурение, которое всегда производится еще на стадии проектирования для расчета мощности фундамента будущего здания. Мысль нанести на план города все накопившиеся к настоящему времени сведения о буровых скважинах (а их на территории Новгорода много сотен) была предложена и осуществлена в свое время главным архитектором Новгорода И. И. Кушниром. В результате стало ясно, в каких районах города культурный слой достигает предельной мощности (свыше 9 м), а где он относительно мал или отсутствует полностью. Так возникла схема, позволяющая заранее, до раскопок, оценить трудоемкость археологических работ в любом районе Новгорода.

Однако такая схема является и важнейшим документом, первостепенным историческим источником. Как правило, культурный слой толще там, где дольше живет человек. Поэтому план расположения культурного слоя, вычерченный в горизонталях, соответствующих его мощности, указывает и местоположение районов наиболее древней застройки. Надежность такого подхода была проверена раскопками, которые обнаружили наличие самых ранних для Новгорода слоев только там, где культурные напластования отличаются исключительной мощностью. Сегодня мы располагаем важными сведениями о динамике и конкретных направлениях роста средневековой городской застройки, о примерной плошали Новгорода в разные столетия.

СКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ сохранность всех древних предметов, когдалибо оказавшихся в почве Новгорода, дала возможность за время пятидесятилетних раскопок составить исчерпывающую коллекцию средневековых городских древностей, в которую входит более 130 тыс. индивидуальных находок из всех известных в средневековье материалов. Эти находки-изделия распределяются более чем по 600 видам. Достоянием науки стали орудия труда и производственные приспособления, хозяйственная утварь и столовая посуда, вооружение воина и снаряжение всадника, части кораблей и детали механизмов, остатки мебели и резной декор зданий, сырье и отходы ремесла, одежда и украшения, кожаная обувь и ткани, игры детей и взрослых, музыкальные инструменты и пишущие принадлежности, зерно и плоды местных и привозных растений и многое другое. Изобилие деревянных, костяных и кожаных вещей впервые позволило расставить правильные акценты в характеристике ассортимента бытовых предметов, которыми пользовался средневековый горожанин. Ведь прежде в музейные витрины, как правило, попадали лишь металлические, каменные и стеклянные вещи, которые составляли менее характерную часть этого ассортимента.

Если добавить к этому и прекрасную сохранность древних строительных конструкций — остатков домов, уличных и дворовых мостовых, систем благоустройства, — то можно без преувеличения сказать, что работающий в Новгороде археолог получил возможность войти на любую средневековую усадьбу и вообразить себе ее хозяина и

ее жителей в окружении привычных для них бытовых предметов, которыми они пользовались при жизни. Недоставало лишь звуков и не слышно было голосов тех людей, которые населяли такую усадьбу в давно отшумевшие времена.

И однажды эти голоса зазвучали, чтобы в дальнейшем уже не смолкать. 26 июля 1951 г. при раскопках на Софийской стороне Новгорода, на мостовой древней Холопьей улицы, в 6-м ее ярусе (1396 — 1409 гг.) была найдена первая берестяная грамота, открывшая счет этим неизвестным прежде документам средневекового письма. Сейчас, когда завершен очередной полевой сезон 1983 г., в коллекциях экспедиции насчитывается уже 614 берестяных писем и записок. Древнейшая из них относится к началу XI в., позднейшая - к середине XV в. В те же годы берестяные документы были найдены и в других древних русских городах: 14 — в Старой Руссе, 10 — в Смоленске, 4 — в Пскове, по одной в Витебске, Мстиславле и Твери (ныне Калинин).

Жанровое разнообразие этих документов исключительно велико. Их тексты включают хозяйственные распоряжения и политические донесения, судебные казусы и бытовые просьбы, крестьянские жалобы и технологические рецепты ремесленников, школьные упражнения и заказы художнику на изготовление икон, любовную записку и сообщение о смерти близкого человека, ростовщические записи и списки налогов... И за каждым документом стоят живые люди с их повседневными заботами, радостями и огорчениями. Поэтому находка любой берестяной грамоты - не только существенное научное открытие, но и волнующий

акт «оживления» давно умершего и забытого всеми человека, о котором, казалось, не могло сохраниться никакого воспоминания даже во времена его правнуков и праправнуков.

Массовая находка в Новгороде берестяных документов не может рассматриваться иначе, как неопровержимое свидетельство высокого уровня грамотности средневекового человека. Это открытие выглядит тем более ошеломляюще потому, что вплоть до 1951 г. в науке бытовало устойчивое мнение о почти поголовной неграмотности населения Древней Руси. Однако значение находки берестяных грамот еще шире отмеченного свидетельства. Давно уже стало привычным сравнение открытия берестяных грамот с открытием папирусов. Как в свое время папирусы приоткрыли живую картину человеческих взаимоотношений в сфере житейской повседневности эллинистического Египта, так и берестяные грамоты смогли осветить такие сферы древней жизни, какие не находили отражения в традиционных источниках. Однако папирусы обнаруживают, как правило, во вторичном использовании, вне связи с породившим их конкретным комплексом. Берестяные же грамоты составляют неотъемлемую часть почти каждой средневековой усадьбы Новгорода вместе с прочими сохранившимися на ней предметами.

Поэтому документы на бересте стали способом персонификации исследуемых усадеб. Если и прежде археология способна была по набору находок судить о социальном положении владельца усадьбы и об основных занятиях ее жителей, то теперь благодаря берестяным письмам мы узнаем об их личных пристрастиях, взглядах и даже



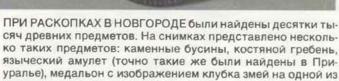
ОБЩИЙ ВИД ТРОИЦКОГО РАСКОПА в 1982 г. Ведется расчистка настилов древней Пробойной улицы на уровне начала XIII в. Слева видны остатки хозяйственной постройки того же времени.













его сторон. Эта сторона была символом языческого культа; на другой стороне медальона изображен св. Георгий на коне. Подобные предметы широко употреблялись в Новгороде, отражая двоеверие, прочно удерживавшееся даже в XVI в.

именах, порой хорошо известных из летописных источников. Топографическое изучение грамот позволяет выяснить характер взаимоотношений адресатов грамот с их соседями, а изучение этих документов по хронологической вертикали открывает неизвестные ранее генеалогические связи жителей усадеб с их предками и потомками.

Уже довольно хорошо изученный средневековый город словно вновь заселился людьми. Они завели семьи, друзей и врагов, у них появились проблемы и конфликты, огорчения и радости. Они зажили такой повседневной и столь интересной для нас жизнью. Великий Новгород «заговорил». Исследования Новгорода теперь перестали быть чисто археологическими. Берестяные грамоты стали прочными мостиками, ведущими из глубины раскопа в летописный рассказ. Они сомкнули специфические цели археологии с задачами общеисторического характера, считавшимися до сих пор уделом исследователей, работающих над изучением письменных источников. И сама научная программа археологической экспедиции в Новгороде потребовала коренной перестройки, поставившей на первое место в археологическом исследовании такие проблемы, как возникновение Новгорода, формирование и развитие в нем социальной структуры и административного устройства, причины и пути возникновения республиканской государственности, основы возникновения боярства как правящего сословия, оценка степени демократизма «вечевого строя», вопрос о роли норманнов и т.п.

В ТЕЧЕНИЕ долгого времени в исторической науке господствовала «торговая теория» происхождения русских городов. Согласно этой теории, Новгород, в частности, не имел развитого ремесла, удовлетворяясь ввозом ремесленной продукции из-за рубежей в обмен на продукты сельских промыслов.

Между тем раскопки в Новгороде открыли около 140 ремесленных мастерских (археологически изучено около 2% древней территории города) разных веков, от X до XV, и разных профилей: замочников, кожевников, ювелиров, литейщиков, токарей, бондарей, сапожников, ткачей, красильщиков, пивоваров, пекарей и т.д. Изучение способов и оснастки таких производств, как обработка черного и цветного металлов, ткацкое ремесло, сапожное дело, стеклоделие, обработка дерева, показало, что по уровню специализации и дифференциации, по оснащенности специальным инструментарием и технологической рецептурой уровень ремесла на всем протяжении исследованного времени ничем не уступал уровню производства в прославленных средневековых центрах Западной Европы и

Ближнего Востока.

Не менее важные наблюдения были сделаны при изучении новгородского импорта. Оказалось, что его основу составляло разного рода ремесленное сырье, собственными месторождениями которого Новгород не располагал. Привозными в Новгороде были цветные металлы (золото, серебро, медь, свинец, олово), поделочные камни (их везли и с Урала, и волжским путем из Ирана), даже некоторые виды ценной древесины. Так, многочисленные туалетные гребни изготовлялись преимущественно из самшита, который поступал в Новгород из южного Прикаспия. Излюбленным материалом для бус и перстней был янтарь, ввозившийся из Прибалтики. Металлографические и спектрографические исследования с каждым годом расширяют картину конкретных связей Новгорода с центрами поставки сырья. Например, в слоях XIV в. был найден слиток свинца весом 150 кг с клеймами польского короля Казимира Великого; анализ рудной свиты этого слитка установил его происхождение из полиметаллических месторождений Кракова.

В слоях XIV в. очень часто втречаются хрустальные вставки для перстней, склеенные из двух сегментов (склейка давала дополнительную игру камням). Исследование этих вставок обнаружило, что хрусталь имеет мадагаскарское происхождение, а используемый для склейки шеллак добывался на Мальдивских островах Индийского океана. Разумеется, прямых торговых связей с этими территориями у Новгорода не было. Такие предметы попадали в новгородские мастерские с западноевропейских рынков, с которыми была налажена устойчивая постоянная связь.

Механизм снабжения ремесленных мастерских сырьем заслуживает особого внимания. Подавляющее большинство открытых в Новгороде ремесленных мастерских не принадлежало свободным ремесленникам. Эти мастерские обнаружены на больших боярских усальбах, хозяева которых основывали свою хозяйственную деятельность на крупном землевладении, заботам о котором посвящена львиная доля их берестяной переписки. Действие системы «боярин — крестьянин — торговец ремесленник - боярин» наглядно демонстрируется изучением некоторых массовых категорий ремесленных предметов XI-XII вв. Возьмем, к примеру, особенности производства такого необходимого и распространенного предмета, как нож.

В XI в. ножи в Новгороде изготовлялись так называемой техникой «пакета». К стальному лезвию с двух сторон приваривались щечки из более мягкого железа, благодаря чему нож приобретал качества самозатачивающегося инструмента: в процессе работы железные шечки постепенно истирались, все больше и больше обнажая стальное лезвие, которым можно было работать практически до полного его стачивания. В первой четверти XII в. на смену этой технике приходит более простая: узкая полоса стального лезвия приваривается к железной основе, образуя лишь тонкий рабочий край инструмента. Такое упрощение, характерное и для основных видов производства того же времени, связано с повсеместным переходом от кропотливого изготовления предметов на заказ к стандартизации производства в расчете на широкий рыночный спрос. За одно и то же время мастер изготавливает больше продукции, нежели раньше, но продукция становится менее долговечной. Резкое увеличение объема производства требует, естественно, резкого увеличения объема сырья, а вместе с ним и интенсификации импорта. Однако увеличение импорта могло быть достигнуто лишь эквивалентным увеличением объема экспортируемых из Новгорода товаров, среди которых первое место занимали промысловые - пушнина, воск, мед, льняные ткани, ценные породы рыб и т.д. Далеко не случайным в этой связи представляется синхронное этому процессу резкое расширение боярской колонизационной экспансии в северных промысловых районах-в Обонежье и на Северной Двине.

На этот же период (конец XI - пер-

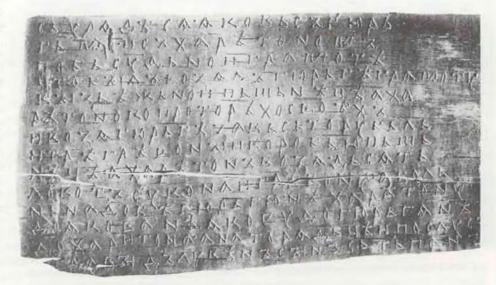
вая половина XII вв.) приходятся и наиболее значительные успехи боярства в создании республиканских форм правления, в антикняжеской борьбе. К кониу XI в. относится возникновение органа боярской государственности - посадничества, бывшего институтом защиты боярства перед князем и его аппаратом. На рубеже XI-XII вв. происходит становление вотчинной системы, иными словами, системы крупного частного землевладения бояр. А в 1136 г. в результате успешного антикняжеского восстания, возглавленного боярами, окончательно торжествует республика, превратившая приглашенного князя фактически в чиновника боярского управления.

Любопытные материалы для характеристики городского боярского хозяйства и вотчинного ремесла дает топографический анализ находок берестяных грамот. Оказалось, что большие боярские семьи владели в Новгороде значительными участками городской территории, в пределах которых компактно располагалось до полутора десятков родственно связанных усадеб; каждая из них в среднем имела размер около 1200 — 1500 м². Такой способ организации городского владения не только делал его экономически устойчивым (боярские усадьбы не меняют своих границ на всем протяжении X-XV вв.), но и позволял создавать замкнутую систему самодовлеющего хозяйства. Практически на каждой боярской усадьбе имелась какая-либо ремесленная мастерская; в пределах всего такого клана большая боярская семья имела возможность располагать исчерпывающим набором разных производств, которые, обладая, очевидной товарностью, прочно связывали владельцев усадеб с городским торгом, на котором реализовалась избыточная продукция.

Способствуя боярской консолидации, такая система решительно препятствовала консолидации ремесленников по профессиональному признаку. В Новгороде так и не возникло цеховых организаций ремесленников; участие в единой экономической организации боярского клана становилось для этого непреодолимым препятствием.

Как же подойти к оценке демократизма новгородского вечевого строя? Возможно ли, исходя из описанной выше системы боярского хозяйствования, поднимать вопрос о демократизме государственных институтов Новгорода? Впрочем, этот вопрос был поднят уже два столетия назад, когда новгородское вече трактовалось как колыбель и символ свободолюбия и народоправства.

Археологические раскопки дают недвусмысленное решение этой проблемы. Из летописных и актовых свидетельств известно, что главным местом работы веча (народного собрания Новгородской республики) было Ярославово дворище. Поиски настилов вечевой площади или по крайней мере свободного от застройки пространства в этом топографически ограниченном районе города составили целый этап в работах археологической экспедиции. Почти все пространство Ярославова дворища было изучено большими раскопками и малыми шурфами, однако на всех его участках, свободных от современных строений, обнаруживались только остатки жилых домов и хозяйственных построек.



ФРАГМЕНТ БЕРЕСТЯНОЙ ГРАМОТЫ № 366. Документ содержит изложение судебного дела XIV в., возникшего из-за того, что некий Юрий потоптал своим конем пшеницу Якова и Харитона. Стороны договорились о возмещении Юрием убытков, которые он принес истцам.

Неисследованной остается пока лишь территория, примыкающая с запада к Никольскому собору 1113 г. (городское вече, согласно письменным свидетельствам, собиралось «у святого Николы»), где логичнее всего и предполагать место сбора народного собрания. В настоящее время эта территория занята позднейшим каменным строением, ожидающим сноса, но ее максимальная площадь не превышает 2000 м². Если учесть, что вечевая площадь была оборудована трибуной и скамьями (на вече, как сообщает лето-

пись, сидели), то примерное количество его участников возможно определить лишь в 300 — 500 человек. Этот расчет получает двойное подтверждение. Немецкий источник 1331 г. именует правящий орган Новгорода «300 золотыми поясами». В Новгороде насчитывается примерно 400 крупных боярских усадеб и дворов наиболее зажиточных людей.

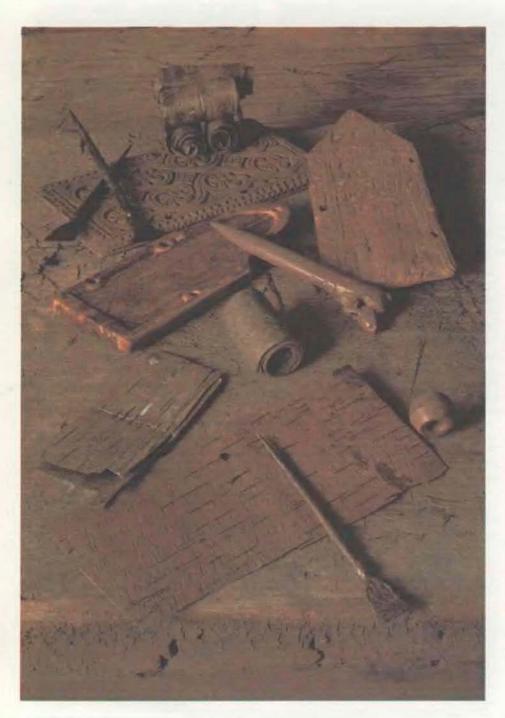
Очевидно, что новгородское вече было узко сословным органом власти, в котором заседали наиболее богатые горожане, прежде всего бояре. Единственным его демократическим признаком можно признать гласность представительного собрания, заседавшего не в закрытом помещении, а на виду городского плебса, который криками одобрения и порицания мог внушать себе ложную мысль об участии в политическом управлении государством.

РАСКОПКИ последних лет поставили перед исследователями Новгорода непростую проблему экономической основы происхождения боярской республиканской государственности. Долгое время эта проблема не возникала. Предполагалось, что с образованием в конце IX в. общерусской столицы в Киеве правившие в Новгороде князья, будучи по своему положению официальными преемниками киевского стола, не проявили большого интереса к новгородским землям, постоянно обращая взоры лишь в сторону вожделенного Киева, что и создало возможность беспрепятственного захвата новгородских общинных земель местной аристократией — боярством.

Однако в последние годы благодаря совокупному изучению источников, в числе которых видное место занимают берестяные грамоты XI — XII вв., было выяснено, что образование частной земельной собственности бояр, возникновение вотчинной системы начинается только в первой четверти XII в., т.е. тогда, когда боярство уже добилось заметного перевеса над князем. То, что считалось следствием, обернулось причиной. Именно политические успехи бояр в их борьбе с князем привели к созданию вотчинной системы, достигшей кульминации лишь к XIV в.

На чем же основывались успехи бояр в более раннее время? Из летописного рассказа известно, что существенных преимуществ новгородское боярство добилось уже в первой половине XI в., при Ярославе Мудром, который «дал новгородцам Правду и Устав».

Естественно, решение этой проблемы возможно путем исследования археологических комплексов X-XI вв. И первая неожиданность, подстерегающая здесь исследователя, состоит в том, что способ организации и хозяйствования в родовых боярских кланах начала Х в. оказывается точно таким же, каким он предстает в этих кланах в XIV и XV вв. Если в XIV в. городская усадьба боярина была центром поступления продукта сельского хозяйства из его обширных вотчин, порой расположенных за сотни километров от Новгорода, и местом переработки этого продукта, его реализации на основе эксплуатации вотчинного ремесла, то и в Х в. в самых ранних слоях городских боярских усадеб обнаруживаются такие же ремесленные мастерские, те же наборы жилых и хозяйственных построек. Как уже отмечено, даже часто-



НА ФОТОГРАФИИ мы видим берестяную грамоту XIV в., книжку, написанную на бересте в XIII в., инструменты для письма на бересте — металлические и костяные стилосы, а также церы — деревянные створки диптихов, выемки в которых заполнялись воском для записей с помощью стилоса. Расширенный конец такого пишущего инструмента был предназначен для того, чтобы стирать написанное. На обороте одной из цер начала XIV в. — школьное пособие, вырезанная азбука.

колы усадеб, поставленные на их пограничных линиях в начале X в., возобновляются на тех же линиях вплоть до потери новгородской независимости в 1478 г. Возникновение вотчинной системы в XII в. никак не проявляется в характеристиках богатых городских усадеб. Поэтому возможно предположить, что и в X—XI вв. землевладение было основой боярской экономики, осуществляясь в каких-то иных, не частновладельческих формах.

Возможность решить эту проблему дали ранние берестяные грамоты и замечательная группа необычных находок, которые на протяжении 30 лет оставались загадочными. Речь идет о леревянных цилиндрах (их найдено уже девять) необычной формы со взаимноперпендикулярными пересекающимися каналами. На поверхности этих цилиндров в одних случаях изображены геральдические знаки - тамги князей, в других вырезаны надписи: «Емца гривны 3», «Княже», «Мечниць мех в тих метех Полътвычь» (Мешок мечника Полотвицы под этой метой). У некоторых цилиндров короткий канал забит деревянной расклиненной пробкой. практически неизвлекаемой. Упоминание в одной из надписей «меха», т.е. мешка, и наличие таких пробок позволило понять, что эти цилиндры служили как бы замками-пломбами, надежно запирающими завязки мешков с ценностями. Какими же? Емец или мечник (это одно и то же) - лицо, уполномоченное князем для сбора податей с населения. Согласно древнейшему русскому писаному закону «Русской правде», эти подати самой общиной, с которой они брались, распределялись на три части: самая большая шла князю (т.е. в доход государству), «десятина» - церкви, а определенная доля полагалась и самому сборщику. Надпись на цилиндре и указывает, кому принадлежал запечатанный таким цилиндромпломбой мешок. Справедливость раздела податей, надо полагать, контролировалась в самом Новгороде, когда эти цилиндры отрезались и выбрасыва-

Если бы сбор податей поручался только княжеским дружинникам, приходившим с князем из Киева и составляющим его двор, то цилиндры, естественно, можно было бы найти только на княжеском дворе. Однако те, которые уже найдены, обнаруживались в разных районах Новгорода, на территории тех усадеб, которые в позднейшее время известны нам как дворы богатейших бояр: два найдены там, где в конце XII в. жил знаменитый новгородский посадник Мирошка Нездинич, два — там, где в XIV в. жили бояре Мишиничи, шесть поколений семьи которых давали Новгороду посадников — руководителей боярской республики.



ЗОЛОТОЕ КОЛЬЦО XII в., которое русские средневековые горожанки носили на виске, закрепив дужку в пряди волос; украшено изощренной ювелирной техникой скани и зерни. Мельчайшие золотые шарики напаивались на крохотные колечки, образуя на поверхности украшения причудливую игру светотени. До новгородских находок предполагали, что подобное производство существовало только в южнорусских городах. Теперь очевидно, что новгородские украшения имели некоторые отличия стиля, говорящие об их местном происхождении.

Однако сами цилиндры найдены в слоях XI и даже X вв., т.е. относятся к тому времени, когда предки этих знатных бояр не владели вотчинами. В этот период они, следовательно, принимали активное участие в сборе государственных доходов и в контроле за ними, а сама земельная собственность, бывшая экономической основой государства, таким образом, была корпоративной. Определенная часть доходов оставалась в руках верхушки местного общества, постепенно увеличивая ее материальную базу.

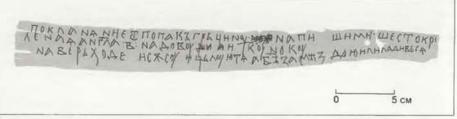
Конечно, такой вывод достаточно ответствен. Ему может быть противопоставлено возражение: не могла ли на исследованных усадьбах в какой-то момент произойти принципиальная смена владельцев? Может быть, мечник Полотвица был княжеским дружинником? Заметим, что обнаруженные на его усадьбе многочисленные предметы вооружения и конского снаряжения оказываются яркими свидетельствами дружинного быта жителей этой усадьбы, а в XII в. той же усальбой владел новгородский боярин Мирошка, отнюдь не бывший потомком Полотвицы. Рассмотрим в этой связи некоторые находки последних лет.

Принадлежность всей группы усадеб, расположенных на древней Черницыной улице, в конце XII — начале XIIIвв. боярину и посаднику Мирошке Нездиничу засвидетельствавана несколькими берестяными грамотами, адресованными ему или касающимися его посаднической деятельности. Мирошка стал героем боярского Новгорода, потому что он не побоялся отстаивать новгородские привелегии перед лицом самого могущественного русского князя той поры — владимиросуздальского властелина Всеволода Большое Гнездо, который два года продержал Мирошку у себя в заточении. Рядом с раскопанным участком в старину находилась церковь Образа, инициатором перестройки которой в 90-х годах XII в. был родной брат Мирошки Внезд Нездинич.

Отец Мирошки и Внезда — Незда известен летописцу как бирич, судебный исполнитель, т.е. лицо совместной княжеско-посадничьей администрации. Он был убит в 1167 г. Об отце Незды и других его предках источники молчат, но во время раскопок 1983 г. на той же усадьбе в слоях начала XII в. была найдена весьма знаменательная берестяная грамота № 613. Она дошла до нас в виде небольшого обрывка, к счастью, сохранившего имя адресата - Ставра. Единственный известный источникам Ставр фигурирует в новгородской летописи под 1118 г. как «сотский», т.е. несомненное лицо княжеской администрации, но его отношение к князю весьма двусмысленно. В указанном году Владимир Мономах разгневался на Ставра, вызвал его в Киев и заточил в тюрьму. Живые подробности этого конфликта народная память сохранила в былине о боярине Ставре Годиновиче. Былинный Ставр хвастается, что «в Нове-городе живу де я хозяином» и издевается над киевскими княжьими боярами:

Ой глупые бояре, неразумные, Они хвалятся градом Киевом... А что это за ограда во Киеве У ласкового князь-Владимира? У меня ли, у Ставра, широкий двор Не хуже будет города Киева.





БЕРЕСТЯНАЯ ГРАМОТА № 549 — письмо-заказ художнику Олисею-Гречину и прорись этой берестяной грамоты. Текст письма гласит: «Поклон от попа к Гречину. Напиши мне двух шестикрылых серафимов на двух иконках для оформления верха иконостаса. Целую тебя. Бог тебя вознаградит, или же договоримся обо всем».

Несмотря на службу князю, Ставр характеризуется былиной как представитель боярского Новгорода, противопоставляющий себя князю. Возникшая перед нами цепочка имен, ранние представители в которой, будучи новгородцами, состоят на княжеской службе, а поздние руководят боярской антикняжеской политикой, согласуется с выводом об участии местной аристократии Новгорода в контроле за государственными доходами и в их распределении.

Однако это был не единственный источник обогащения раннего боярства. Как показало изучение берестяных грамот, право сбора государственных доходов уже в этот начальный период было закреплено за отдельными семьями, которые контролировали поступление податей с определенных территорий, порой далеко отстоящих друг от друга. Сборщики податей поэтому приобретали особую мобильность, используя ее для эксплуатации системы денежного обращения. Органической частью их деятельности стало ростовшичество. Весьма показательна одна берестяная грамота (№ 526), относящаяся к 80-м годам XI в. Запечатленный в ней размах ростовщической деятельности поражает воображение. Паутина ростовшических операций одного из предков посадника Мирошки Нездинича охватывает практически всю территорию тогдашней Новгородской земли. Его должники живут на Луге и

Шелони, в Русе (теперешняя старая Русса) и на Селигере... Для столь раннего времени, которое привычно характеризуется господством натурального хозяйства, такая мобильность кажется сверхестественной. Но она вполне понятна на фоне той подвижности, которая была свойственна системе сбора государственных доходов. Участие в этой системе бояр хорошо подтверждается многочисленными упоминаниями ростовщических действий в ранних берестяных грамотах XI—XII вв.

Боярство Новгорода формируется в недрах ранней государственности как сословие, обладающее правом участия в государственной деятельности и государственных доходах. Сама эта деятельность укрепляет и консолидирует местную верхушку общества, давая ей средства и возможности борьбы с княжеской властью. Сопротивление князю усиливается на протяжении XI в., к концу этого столетия возникают особые формы боярской власти - посадничество, а с возникновением вотчинной системы на рубеже XI-XII вв. экономический базис боярства увеличивается в такой степени, что уже возникшее двоевластие князя и бояр в результате успешного антикняжеского восстания 1136 г. окончательно преобразовывается в республику бояр, в которой князь оказывается подконтрольным посалнику.

Все эти наблюдения ставят перед ис-

следователями Новгорода еще одну серьезнейшую проблему. Государственный механизм Новгородской республики, ее «вечевой строй» в XII в., не основывается на захвате институтов княжеской власти. Он противостоит им, явно развивая основы государственности, которые восходят к древним формам общественного устройства — народному собранию (вече) и племенным старейшинам (посадникам). Это обстоятельство тесно связано с пресловутой «норманской проблемой». По воззрениям норманистов, основы государственности, правопорядка и культуры на Руси были впервые заложены приглашенным из Скандинавии князем Рюриком. Мы видим, что традиционные формы государственности оказались в Новгороде более жизнестойкими, нежели привнесенная княжеская власть.

Что касается правопорядка, то сомнения в его раннем существовании исходили главным образом из двух фактов. Основы русского процессуального кодекса известны исключительно из памятнипозднего юридического ка — «Псковской судной грамоты» XV в. Первый писаный закон, «Русская правда», появляется только в первой половине XI в. Предполагалось, что основные нормы этого закона, в том числе замена кровной мести системой штрафов в пользу государства, формируются только с принятием Русью христианства в конце Х в., а до того господствовало обычное право, исходящее из принципа кровной мести и компенсации ущерба только потерпевшему. В ходе раскопок Новгорода была обнаружена берестяная грамота № 531, относящаяся к концу XII в. и подробно описывающая сложное судебное дело. В этом документе отражены именно те нормы процесса, которые были известны лишь по памятнику, на два века более позднему. Уже упомянутые цилиндры сборщиков полатей своими налписями указывают на действенность системы шрафов, известной по «Русской правде», однако два из них обнаружены и в слое 70-х годов Х в. Из этого следует, что и до принятия христианства русский правопорядок был принципиально сходен с позднейшим.

ОСОБЫЙ сюжет новгородских раскопок связан с открытием в слоях рубежа XII—XIII вв. мастерской художника. В слоях этого времени на усадьбе,
расположенной у перекрестка древних
Черницыной и Пробойной улиц и относящейся к комплексу владений Мирошки Нездинича, были обнаружены
остатки большого дома производственного назначения, который имел
площадь свыше 100 м². В развале этого
дома, уничтоженного пожаром в
1207 г., в изобилии встречались краски

и разного рода привозные минералыкрасители, а также многочисленные приспособления для изготовления красок и лаков термическим путем. Здесь же были найдены заготовки для небольших деревянных икон и следы производства бронзовых окладов для них. Свыше двенадцати берестяных грамот содержали заказы на изготовление икон, а в пяти грамотах названо и имя адресата — Олисей-Гречин. Это имя, известное и по летописному рассказу, принадлежало художнику, который, в частности, в 1196 г. расписал фресками несохранившуюся церковь Богородицы в новгородском Кремле.

Поиски уцелевших произведений этого художника привели к построению гипотезы о его руководящем участии в создании самого знаменитого комплекса древнерусской монументальной живописи - фрескового ансамбля церкви Спаса на Нередице близ Новгорода, расписанной в 1199 г. большой артелью живописцев, насчитывавшей в своем составе примерно 8 — 10 человек. Главный мастер помимо создания ряда замечательных художественных композиций для достижения единства восприятия ансамбля выполнил все надписи на наиболее отвественных местах живописи. Совпадение характерных ошибок в этих надписях с ошибками в берестяных автографах Гречина свидетельствует о тождестве Гречина и главного мастера церкви Спаса на Нередице. В ряду ктиторских изображений этого храма кроме патронов константинопольского патриарха Георгия Ксифилина, киевского митрополита Никифора, новгородского архиепископа Мартирия, иерея Спас-Нередицы Мины (соответственно святых Георгия, Никифора, Мартирия, Мины) имеется и изображение святого пророка Елисея, которое может быть трактовано как изображение патрона художника.

Несколько десятков лет назад выдающийся художник и искусствовед И. Э. Грабарь сетовал на то, что средств преодолеть анонимность великих созданий русского средневекового искусства никогда не найдется и мы никогда не будем знать имен художников, создававших величайшие шедевры живописи. Раскопки отвергли это пессимистическое мнение, обозначив один из надежных путей будущих открытий.

Археологическое исследование Новгорода продолжается. У него прекрасные перспективы. Чтобы сделать эти перспективы наглядными, назову лишь один факт. Оценка возможностей и состояния новгородского культурного слоя позволяет утверждать, что под асфальтом современных улиц и площадей Новгорода, под газонами его скверов и дворов, под фундаментами строений ожидает своего открытия не менее 20 тыс. древних берестяных доку-

ментов. Можно только позавидовать будущим историкам, которым чтение этих документов откроет наполненный звуком тысяч еще молчащих сегодня голосов мир средневекового Новгорода.

ОТЯ НАИБОЛЕЕ значительные от-X крытия в Новгороде — будем надеяться — еще впереди, уже сейчас можно говорить о существенном изменении общих представлений о роли и значении этого средневекового города в истории не только Руси, но и Европы в целом. Разумеется, производя раскопки в Новгороде, мы несколько односторонне изучаем процесс его взаимодействия со странами Западной Европы. В руках археологов оказываются только предметы импорта. Экспортный поток товаров возможно изучать раскопками тех городов, которые были контрагентами Новгорода, но, к сожалению, пока такие раскопки не идут по своим масштабам в какое-либо сравнение с новгородскими. Очевидно, что эквивалентность ввоза и вывоза сама по себе является важнейшим показателем взаимной заинтересованности Новгорода и западноевропейских стран в торговом и культурном общении.

О пристальном интересе к Новгороду свидетельствуют многочисленные письменные документы круга ганзейских городов. В северной Германии существовали особые корпорации купцов, специализировавшихся на торговле с Новгородом. Церковь Николая в Штральзунде XIV в. украшает рельеф с изображением новгородцев, на Готланде существовала русская купеческая община, а в Новгороде дворы готландских и немецких, ганзейских купцов. Русские товары также были нужны Западной Европе, как западноевропейские товары — Новгороду.

Взаимный интерес проявляется также и в использовании политического опыта. Любопытен следующий факт. Когда в 1420 г. началась чеканка новгородской монеты, на несколько десятилетий на ней утвердилось изображение посадника, принимающего в коленопреклоненной позе символы защиты государства от покровительницы Новгорода Софии. В европейской нумизматике имеется лишь один подобный пример устойчивого символического изображения. На монетах Венеции коленопреклоненный дож принимает от покровителя города Марка символы власти над городом. Если учесть, что в конце 10-х годов XV в. в Новгороде была проведена реформа государственного управления, по существу создавшая сенат при посаднике и максимально сблизившая структуру республиканского правительства Новгорода с венецианской, в таком заимствовании и приспособлении эмблемы заключено свидетельство изучения государственного опыта весьма отдаленной от Новгорода республики. Новейшие исследования итальянских историков обнаружили много общего в социальной структуре Венеции и Новгорода.

Раскопки Новгорода порождают множество проблем, в том числе и таких, решение которых требует совместных усилий исследователей разных стран. В организации таких исследований опыт, накопленный в Новгороде, может стать достаточно прочной основой.



ЦЕРКОВЬ СПАСА НА НЕРЕДИЦЕ близ Новгорода построена в 1198 г. и расписана в 1199 г. группой художников (их было не менее восьми). До разрушения во время войны в 1941 г. этот монументальный живописный ансамбль был полностью сохранившимся. Изучение найденных при раскопках берестяных грамот позволило высказать гипотезу о том, что Олисей-Гречин, чья мастерская изучалась на Троицком раскопе в 1973-1982 гг., был главным художником Нередицкого комплекса фресок.

Твердотельные сверхструктуры

Твердотельные сверхструктуры — это кристаллы, выращенные напылением полупроводников слоями толщиной в несколько атомов. Их свойства могут иметь большое значение для физики твердого тела и технологии полупроводниковых приборов

ГОТФРИД Х. ДЁХЛЕР

Ы ВИДИТЕ вещи и задаете вопрос: «Почему?». Я же думаю о вещах, которых никогда не было, и говорю: «А почему бы и нет?» Это высказывание Бернарда Шоу хорошо отражает то настроение, с которым десять лет назад несколько физиков, специализирующихся в области твердого тела, начали строить предположения о физических свойствах (и даже практической применимости) несуществующих полупроводников. Эти ученые были в достаточной степени реалистами, ограничиваясь рассмотрением полупроводников, которые могли бы существовать в принципе, хотя и никогда не были созданы природой. В частности, они рассмотрели твердотельные сверхструктуры - полупроводники, в которых два материала с различными электронными свойствами разделяются на чередующиеся слои путем напыления или же введения примесей в слои одного проводника.

Их надежды оправдались: во-первых, оказалось, что сверхструктуры можно «выращивать» с высокой точностью, во-вторых, свойства сверхструктур подтвердили теоретические предсказания исследователей. Некоторые из этих свойств довольно необычны, например уменьшение электрического тока с увеличением напряжения или же существование свободного электрона в сверхструктуре в течение часов, а не миллионных долей секунды. Предсказание таких свойств еще до того, как эти структуры были получены, характеризует прогресс в физике твердого тела, а также свидетельствует о становящейся все более важной тенденции - использований квантовой теории твердых тел для проектирования новых и практически полезных матери-

В КАЧЕСТВЕ введения к описанию основных свойств твердотельных сверхструктур напомним кратко основные характеристики полупроводников. Рассмотрим чистый совершенный кристалл полупроводникового материала, такого, как кремний. При температуре абсолютного нуля (нуль градусов

Кельвина) он будет изолятором, так как электроны (носители заряда, ответственные за электропроводность металлов) не смогут двигаться свободно. Это явление объясняется тем, что в полупроводнике электроны могут обладать только определенными значениями энергии, образующими энерге-«зоны». тические «Энергетическая щель» (существенная разность энергии) разделяет «валентную зону», полностью занятую электронами, которые участвуют в образовании химических связей, скрепляющих в одно целое атомы кристалла, и пустую «зону проводимости». При температуре 0° К энергетическая щель служит для электрона непреодолимым препятствием; при более высокой температуре он может иногда получать энергию, необходимую для достижения зоны проводимости, т.е. электрон становится подвижным.

Что же в действительности означает эта «оккупация зоны»? Допустим, что твердое тело состоит из N атомов. Каждый свободный атом может иметь ряд энергетических состояний (уровней), разрешенных для его электронов. Одно из основных положений квантовой физики, известное как принцип исключения Паули, гласит, что каждое состояние может быть занято не более чем двумя электронами и что спины этих двух электронов должны быть ориентированы в противоположных направлениях (спин — собственный момент количества движения элементарных частиц). В твердом теле это условие изменяется: каждое состояние расщепляется на систему 2N подуровней. В макроскопическом образце N равно по крайней мере 1023; таким образом, подуровней так много и они так тесно расположены по энергии, что образуют квазиконтинуум. И все же на каждом уровне в каждом атоме могут находиться только два электрона.

Предположим теперь, что каждый атом имеет четное число электронов. В таких атомах уровни с низшей энергией полностью заняты, каждый — двумя электронами; следовательно, валентная зона заполнена. Предположим да-

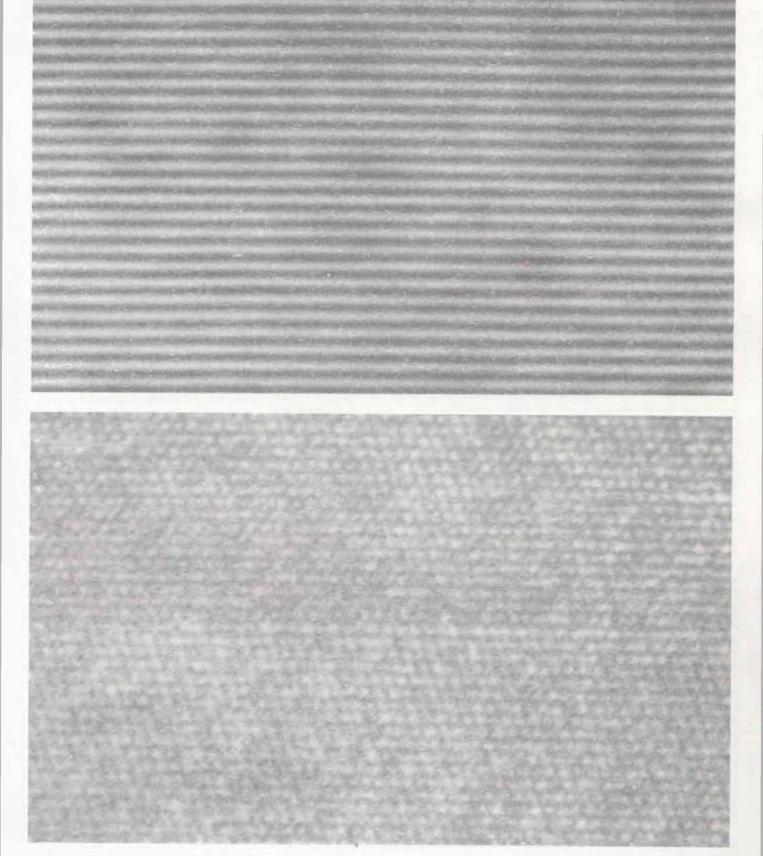
лее, что валентная зона и зона проводимости не перекрываются по энергии, но расположены не слишком далеко друг от друга. В этом случае твердое тело является полупроводником. (Если валентная зона и зона проводимости перекрываются, то электроны с самых верхних уровней валентной зоны будут свободно «стекать» на нижележащие уровни зоны проводимости.) Допустим, что число атомов нечетное, так что самый верхний уровень в валентной зоне заполнен лишь наполовину. Тогда твердое тело представляет собой простой металл.

Теперь по крайней мере понятно, почему простой металл является проводником. Электроны в металле легко ускоряются электрическим полем потому, что разность энергии занятых и свободных подуровней в квазиконтинууме из 10²³ подуровней пренебрежимо мала. В полупроводнике же, напротив, электроны, до того как они смогут получать энергию малыми порциями в незанятом квазиконтинууме, должны пересечь энергетическую щель и попасть в зону проводимости. Этот переход может быть реализован несколькими способами, например при поглощении фотона (кванта света) с энергией, превосходящей ширину энергетической шели.

Фундаментальной является также еще одна характеристика полупроводника. Каждый электрон, возбужденный в зону проводимости, оставляет «дырку» в валентной зоне, т.е. место без электрона в том или другом атоме. Дырка может смещаться от атома к атому, следовательно, она во всех отношениях аналогична носителю заряда и дает вклад в проводимость кристалла. (При этом термины «валентная зона» и «зона проводимости» в некотором смысле меняются местами.) Заряд электрона отрицательный, а дырки — положительный.

ПРЕДПОЛОЖИМ, что свободный электрон и дырка образуются в полупроводнике за счет поглощения фотона с энергией, превышающей энергетическую щель. Они будут достаточно

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ СВЕРХСТРУКТУРЫ



КОМПОЗИЦИОННАЯ СВЕРХСТРУКТУРА — это решетка, состоящая из чередующихся слоев двух разных полупроводников. На верхней электронной микрофотографии полупроводниками являются GaAs и $AI_{1-x}Ga_x$ As: каждая темная зона состоит из шести атомных плоскостей GaAs, каждая светлая — из четырех атомных плоскостей $AI_{1-x}Ga_x$ As. Расстояние между последовательными атомными плоскостями 2,83 · 10^{-10} м. На фотографии внизу пока-

зана одна граница между слоем GaAs (верхняя половина) и слоем Al_{1 — x}Ga_xAs (нижняя половина). Граница, проходящая через середину изображения, имеет толщину один атомный слой. Расстояние между плоскостями 3,6·10⁻¹⁰ м. Каждая светлая точка — это изображение цепочки атомов в кристалле сверхструктуры. Электронные микрофотографии получены П. Петроффом и А. Госсардом из фирмы Bell Laboratories.

быстро терять избыточную энергию, нагревая кристалл. Так, электрон будет «скатываться» вниз, к нижнему краю зоны проводимости. В то же время дырка «взлетает» к верхнему краю валентной зоны. Если эти две частицы рекомбинируют, то полупроводник испустит фотон с энергией, равной энергии шели. Ясно, что значения энергий верхнего края валентной зоны и нижнего края зоны проводимости представляют собой величины, очень важные для описания свойств полупроводника.

Первыми реальными твердотельными сверхструктурами стали композиционные сверхструктуры (или гетероструктуры). Этот новый полупроводниковый материал был предложен в 1970 г. Л. Исаки и Р. Цу из Исследовательского центра им. Т. Дж. Ватсона фирмы International Business Machines (IBM). Спустя несколько лет он был выращен Исаки, Цу и их сотрудниками.

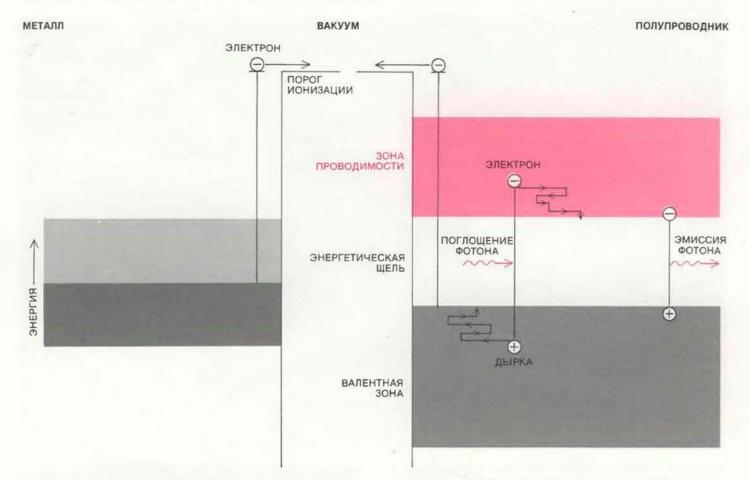
Композиционная сверхструктура — это периодическая решетка чередующихся сверхтонких слоев двух различных полупроводников. Толщина каждого слоя не более нескольких сот атомов. Полупроводники подбираются с различными энергетическими щелями.

Таким образом, в результате пространственного изменения электронных свойств материала простая система энергетических уровней, характерная для массивного полупроводника, заменяется более сложной. Наиболее прямым способом ее определения является рассмотрение сверхструктуры в виде последовательности слоев полупроводника, каждый из которых обладает характерными свойствами. Более сложные вычисления показывают, что такой подход дает удовлетворительные результаты даже в случае очень тонких слоев. Поэтому можно сказать, что в результате периодического чередования слоев возникает периодическое чередование электрического потенциала. В частности, кажлый слой полупроводника с меньшей энергетической щелью создает так называемую потенциальную яму (см. рисунок на с. 53). В каждой потенциальной яме для электронов из зоны проводимости имеются только определенные энергетические уровни. (И снова каждый уровень расшепляется на квазиконтинуум, или мини-зону.) Ситуация подобна той, которая наблюдается в кристалле, где периодичность определяется расположением атомов с регулярными ин-

тервалами. Каждый атом создает потенциальную яму, и в каждом атоме имеются определенные разрешенные для электронов энергетические состоя-

Однако есть и важное отличие от этой картины. Электронные свойства атома заранее определены природой. Электронные свойства сверхструктур можно спроектировать. И в первую очередь можно изменить величины энергетических уровней, разрешенных для электронов, за счет соответствующего выбора полупроводников и толщины их слоев. (В основном это справедливо и для уровней, разрешенных для дырок.) Кроме того, можно изменить ширину каждой мини-зоны. Эта ширина, определяющаяся интенсивностью взаимодействия между соседними потенциальными ямами, увеличивается с уменьшением толщины слоев полупроводника с большей энергетической щелью.

На практике полупроводником с меньшей энергетической щелью может быть такой материал, как арсенид галлия (GaAs), а с большей щелью — $Al_{1-x}Ga_xAs$. (Возможно любое соотношение между числом атомов алюминия и галлия, но их общее число должно



РЕЗКО РАЗЛИЧАЮЩИЕСЯ ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОИСТВА металла и полупроводника показаны на диаграммах, на которых изображены энергетические уровни, разрешенные для носителей заряда. В металле (слева) носители — это электроны, свободно движущиеся в частично заполненной зоне разрешенных энергий. В полупроводнике (справа) электро-

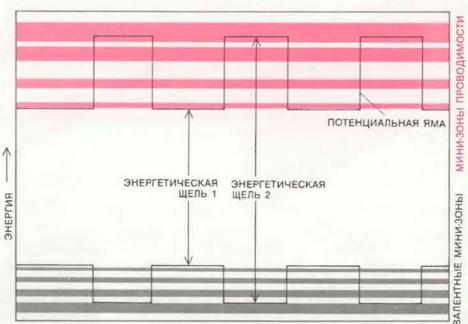
ны, участвующие в образовании связей между атомами, заполняют «валентную зону». Они возбуждаются в «зону проводимости» при поглощении фотонов с энергией, превышающей «энергетическую щель». Уровни возбуждения «дырок» находятся в валентной зоне. При рекомбинации электронов и дырок их энергия диссипируется фотонами. но быть равно числу атомов мышьяка.) Расчеты, проведенные для композиционных сверхструктур из слоев этих материалов, показывают, что минизоны намного уже, чем в любом массивном полупроводнике, и в зоне проводимости отделены друг от друга относительно большими «мини-щелями». Единственное требование — толщина слоев обоих типов должна быть от 4 до 10 нм.

Мини-зоны обеспечивают идеальные условия для такого известного в физике твердого тела явления, как блоховские осцилляции, которые, по-видимому, не были зарегистрированы ни в одном природном твердом теле. В основе этого явления лежит тот факт, что сильное электрическое поле наклоняет зоны полупроводника. Наклон равен произведению е (заряда электрона) на напряжение, приложенное к кристаллу, деленному на полную длину кристалла; таким образом, наклон увеличивается с увеличением напряжения. В обычном полупроводнике электроны забрасываются к верхнему краю зоны проводимости, изогнутой электрическим полем (см. рисунок вверху с. 54). Однако задолго до конца пути они теряют энергию, полученную от электрического поля, испуская «фононы», т.е. возбуждая тепловые колебания в кристалле.

В сверхструктуре ситуация другая. Мини-зоны узкие, поэтому вероятность достижения электроном верхнего края наклоненной мини-зоны высока. На верхнем крае электроны отражаются потому, что не могут пройти через мини-щель в следующую минизону. После такого отражения (квантового явления, известного как брэгговское отражение) они возвращаются назад, к нижнему краю мини-зоны. В действительности такие отражения могут происходить неоднократно, и электроны будут сновать между верхним и нижним краями мини-зоны, совершая множество таких блоховских осцилляций до того, как испустят фонон и «свалятся» на более низкий энергетический уровень.

Среднее расстояние вдоль зоны проводимости, на которое смещается среднее положение (центр массы) электрона в результате испускания фонона, уменьшается с увеличением наклона зоны. Таким образом, увеличение напряжения, приложенного к сверхструктуре, может привести к необычному эффекту — уменьшению протекающего через нее тока. Другими словами, кристалл может обладать отрицательным сопротивлением: он может перестать потреблять энергию, как это происходит в обычном резисторе, а будет отдавать энергию в колебательную систему. Поэтому сверхструктуры могут служить активным элементом генератора электромагнитных волн. В отличие от других устройств с отрицатель-





СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОЙ СВЕРХСТРУКТУРЫ — результат периодического чередования двух разных полупроводников. Их выбирают так, чтобы энергетические щели различались по величине; в результате образуются потенциальные ямы — резкие провалы на кривых потенциальной энергии кристалла (внизу). В свою очередь потенциальные ямы расщепляют валентную зону (показана серым цветом) и зону проводимости (показана красным цветом) на мини-зоны. Кристалл можно специально приготовить (т.е. задать ширину и энергию мини-зон), выбирая конкретные полупроводники и толщину их слоев.

ным сопротивлением они будут почти мгновенно реагировать на напряжение, следовательно, они могут генерировать СВЧ-излучение с длиной волны менее 1 мм. В настоящее время для этого диапазона длин волн эффективных генераторов не существует.

МЕННО эту замечательную идею о блоховских осцилляциях в композиционной сверхструктуре и высказали Исаки и Цу еще тогда, когда эти системы не были получены. Затем началось изготовление сверхструктур с помощью метода эпитаксии в молекулярных пучках, разработанного А. Чоу и Дж. Артуром-младшим из фирмы Bell Laboratories в конце 60-х годов. По этому методу кристаллы выращивают.

направляя пучки атомов или молекул, составляющих кристалл, на подложку, изготовленную, например, из арсенида галлия. Вещество наносится со скоростью около одного атомного слоя в секунду. Спустя несколько лет Исаки, работая совместно с Л. Чангом, сообщил о первом экспериментальном подтверждении теоретического предсказания, с которого и начались эти исследования.

За первым успешным результатом вскоре последовали другие. Р. Дингл, У. Вигманн, А. Госсард и Ч. Генри из Bell Laboratories исследовали поглощение света композиционными сверхструктурами, состоящими из GaAs и $Al_{1-x}Ga_xAs$. Они предположили, что фотоны будут поглощаться только в

том случае, если их энергия равна или больше пороговой величины, определяемой не энергетической щелью любого взятого отдельно полупроводника, а эффективной энергической щелью: разностью энергий самой низкоэнергетической мини-зоны проводимости и самой высокоэнергетической валентной мини-зоны (см. рисунок на с. 53). Кроме того, считают, что поглощение должно резко возрастать для фотонов с энергиями, равными разности энергий других пар мини-зон.

Эксперименты подтвердили эти

предсказания; таким образом, положения квантовой физики были проверены на новом, созданном человеком материале. С другой стороны, подтверждение теоретических предсказаний явилось доказательством высокой точности изготовления сверхструктур. Это дало возможность использовать их для изучения сложных квантовомеханических явлений. В частности, взаимодействие между частицами в квантовомеханической системе многих тел можно исследовать при простых и хорошо определенных условиях, если множество носителей заряда занимают прямоугольную потенциальную яму, созданную с высокой точностью в сверхструктуре.

И с этой точки зрения сверхструктуры обладают замечательными свойствами. До сих пор я описывал только полупроводниковые материалы, в которых носители заряда образуются при поглощении света. Вместо таких носителей, которые быстро исчезают в результате электронно-дырочной рекомбинации после прекращения возбуждения кристалла, постоянную засе-

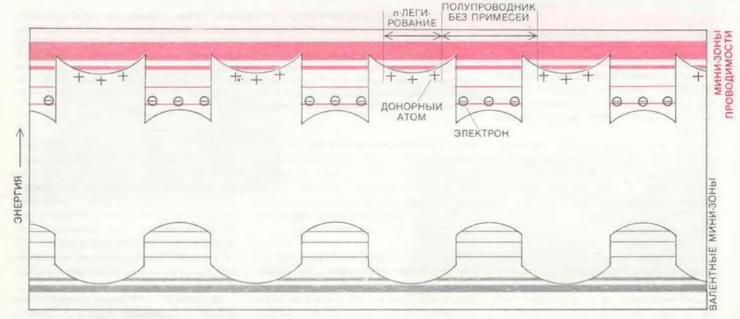






БЛОХОВСКИЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ связаны с тем, что напряжение ускоряет электроны в зоне проводимости, наклоняя одновременно зону, поэтому электроны подходят к ее верхнему краю. В типичном полупроводнике (а) они никогда не достигают края, испуская фононы, т.е. возбуждают тепловые колебания в кристаллической решетке и «сваливаются» на более низкие уровни. В сверхструктуре, у которой зона проводимости расщеплена на узкие мини-зоны, электроны до-

стигают края, в частности края низшей мини-зоны проводимости (δ), и затем отражаются. До испускания фонона они могут осциллировать между краями мини-зоны. Вследствие ее наклона эмиссия смещает центр массы электрона на Δz (ϵ). С увеличением наклона это расстояние увеличивается, и таким образом можно получить необычный эффект уменьшения тока, протекающего через кристалл полупроводника.



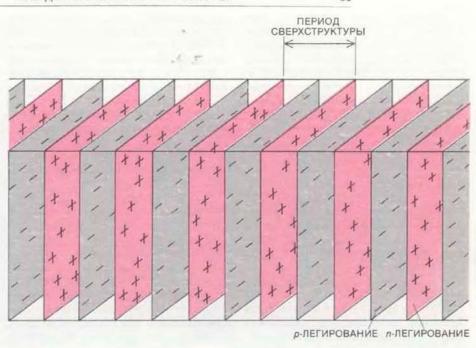
ЛЕГИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОИ СВЕРХСТРУКТУРЫ (введение примесей в решетку кристалла) увеличивает подвижность электронов. Полупроводник с большей энергетической щелью легируется донорными атомами, каждый из которых отдает электрон в кристалл и становится положительно заряженным ионом. Электроны заселяют затем низ-

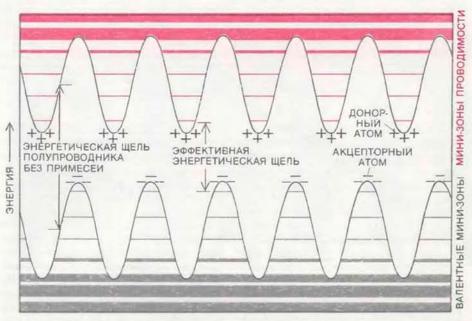
шую разрешенную мини-зону проводимости, расположенную в других слоях. Возникающее пространственное разделение носителей заряда и положительных ионов уменьшает их взаимодействие, поэтому проводимость кристалла может увеличиться в сотни раз по сравнению с однородным полупроводником с той же концентрацией носителей.

ленность электронами или дырками можно достичь с помощью «легироваполупроводника примесными атомами. Атомы, у которых число ваэлектронов лентных (электронов, участвующих в образовании химических связей) на один больше, чем у замещаемых ими атомов кристаллической матрицы, являются донорами: они могут легко отдавать слабо связанный избыточный электрон. Таким образом, полупроводник, легированный донорными атомами, уже не будет изолятором даже при температуре абсолютного нуля — это электронный полупроводник, или полупроводник птипа (п обозначает отрицательный заряд электрона). Наоборот, атомы, у которых валентных электронов на один меньше, чем у атомов кристаллической матрицы, являются акцепторами: они могут легко захватывать валентный электрон у атомов основного кристалла, создавая в результате дырку. Следовательно, полупроводник, легированный акцепторными атомами, представляет собой дырочный проводник, или полупроводник р-типа (р обозначает эффективный положительный заряд дырки).

Однако в полупроводниках доноры и акцепторы не только создают носители заряда, но и уменьшают подвижность носителей. Связано это с тем, что донор, отдавая электрон, и акцептор, принимая электрон, становятся ионами и поэтому создают электрическое поле, которое, рассеивая носители заряда, затрудняет их движение. Для инженера это недостаток: электроны и дырки не будут двигаться так быстро, как необходимо. Для ученых, изучающих квантовомеханические системы многих тел, это тоже нелостаток: взаимодействие между электронами будет маскироваться сравнительно сильным взаимодействием между электронами и примесными атомами.

Этот недостаток в композиционных сверхструктурах можно устранить с помощью несложного приема. Легирование донорными атомами можно ограничить слоями полупроводника с большей энергетической щелью (см. рисунок внизу на с. 54). Каждый донорный атом будет отдавать в кристалл по одному электрону, которые будут «отыскивать» для себя разрешенные состояния с минимальной эпергией. Такие состояния, однако, будут расположены в слоях другого полупроводника (здесь они образуют минизоны с минимальной энергией). Таким образом, электроны окажутся пространственно-разделенными с донорными атомами и проводимость материала может стать в несколько сот раз выше по сравнению с однородным полупроводником с той же концентрацией носителей. Эта идея была впервые проверена экспериментально в 1978 г.





ЛЕГИРОВАННАЯ СВЕРХСТРУКТУРА — это периодическая решетка, состоящая из слоев одного полупроводника, легированных двумя различными способами (вверху). В п-слоях донорные атомы отдают электроны; в р-слоях акцепторные атомы связывают электроны. Получающееся в результате распределение электрического заряда приводит к возникновению системы потенциальных ям (диаграмма внизу). Эффективная энергетическая щель зависит от выбора концентраций легирующих атомов и толщины слоев.

Х. Стёрмером, Динглом, Госсардом, Вигманном и Р. Логаном из Bell Laboratories. И снова эксперимент подтвердил теоретическое предсказание. В настоящее время в лабораториях США, Европы и Японии разработаны установки и методы выращивания кристаллов, позволяющие достигать все более высокой подвижности электронов чуть ли не каждый месяц (что, безусловно, очень обнадеживает инженеров, заинтересованных в создании быстродей-

ствующих электронных устройств).

Чем больше работ по исследованию композиционных сверхструктур завершалось успехом, тем больше я убеждался в том, что практически важной будет и сверхструктура другого типа. Это легированная сверхструктура, т.е. один массивный полупроводник, промодулированный только с помощью периодического *п*- и *р*-легирования. Проблема состояла в том, чтобы заинтересовать специалистов, которые мог-

ли бы создать такие структуры. Мне казалось, что технические трудности при выращивании легированных сверхструктур едва ли были бы серьезнее трудностей при изготовлении композиционных сверхструктур, а электронные и оптические свойства легированных сверхструктур, предсказанные мною еще в 1972 г., без сомнения, не менее удивительны, чем свойства композиционных сверхструктур.

Рассмотрим периодическую решетку из полупроводниковых слоев, легированных донорами и акцепторами, возможно разделенных слоями того же нелегированного материала. (Последние являются i-слоями, где i обозначает собственную проводимость; такая сверхструктура представляет собой n-i-p-i-кристалл.) Некоторая доля доноров и акцепторов окажется ионизованной, поскольку электроны, покидающие доноры, бу-

дут рекомбинировать с дырками, уходящими с акцепторов, до тех пор, пока не будет достигнута минимальная полная энергия материала. Возникающий в результате этого заряд в легированных слоях (положительный в каждом n-слое и отрицательный в каждом pслое) приведет к образованию периодического электростатического потенциала, который будет модулировать зоны проводимости и валентные зоны в основном так же, как в композиционной сверхструктуре.

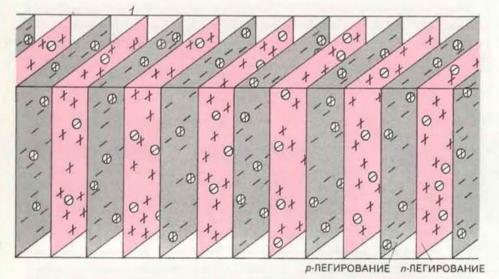
Существенным преимуществом легированных сверхструктур является легкость их изменения. Для их создания в качестве основного материала могут использоваться любые полупроводники с единственным ограничением — возможностью легирования и донорами, и акцепторами. В противоположность этому выбор двух полупроводников для композиционных сверхструктур ограничен по крайней

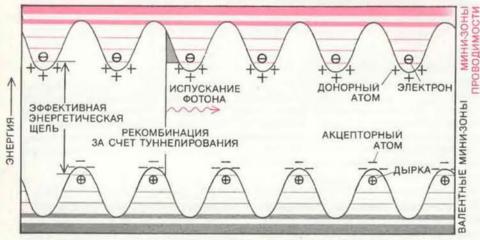
мере приблизительным равенством межатомных расстояний в этих двух материалах. Кроме того, в легированной сверхструктуре эффективная энергетическая щель может быть сделана любой величины - от нулевой до соответствующей нелегированному основному материалу - с помощью соответствующего выбора концентрации легирующих атомов и толщины слоя. Если концентрация легирующих примесей и толщина слоя достаточно большие, то сверхструктура становится полуметаллом — материалом с нулевой энергетической шелью и остаточной концентрацией свободных электронов и дырок.

Даже после изготовления легированная сверхструктура может быть перестроена, т.е. ее электронные и оптические свойства могут быть рассчитаны так, чтобы получить определенные значения, которые затем могут модулироваться в широких пределах с помощью слабого возбуждения кристалла - скажем, при поглощении светового сигнала низкой интенсивности или при подаче слабого электрического тока. Эта возможность перестройки, отличающая легированные сверхструктуры от всех других полупроводников, является следствием странственного разделения электронов и дырок, созданных при возбуждении. Электроны находятся в п-слоях, они «сваливаются» в самые нижние минизоны проводимости. Дырки располагаются в р-слоях, они «взлетают» на самые высокие валентные мини-зоны.

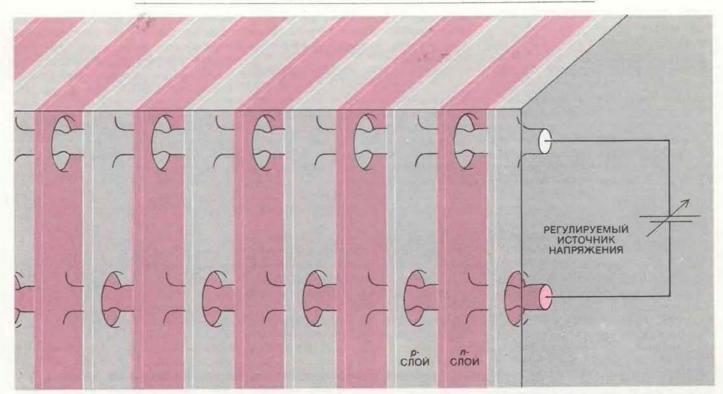
Поскольку п- и р-слои разделены, электроны и дырки теряют партнеров по рекомбинации. При условии, что они подчинялись бы законам классической физики, они никогда бы не рекомбинировали, если только, например, не вернулись бы в исходное положение под действием тепловой энергии кристалла. Такой механизм рекомбинации возможен только при высокой температуре. Однако по законам квантовой физики существует другой способ рекомбинации: частицы могут «туннелировать» через потенциальный барьер. Но вероятность рекомбинации путем туннелирования резко снижается при увеличении высоты и ширины барьера. Расчеты показывают, что легированные сверхструктуры можно слелать такими, что время жизни свободных электронов и дырок будет лежать в диапазоне от нескольких наносекунд (время жизни носителя заряда в однородном полупроводнике) до нескольких часов.

Отсюда следует, что в легированных сверхструктурах можно достичь очень медленного затухания больших отклонений от основного состояния (состояния с минимальной полной энергией). Действительно, отклонения могут быть стабилизованы с помощью про-





ВОЗБУЖДЕННОЕ СОСТОЯНИЕ легированной сверхструктуры возникает при вводе в *п*-слои электронов, а в *p*-слои дырок. Эти носители заряда частично нейтрапизуют заряд ионизованных примесных атомов, так что потенциальные ямы уплощаются, а эффективная энергетическая щель увеличивается. Таким образом, свойства легированной сверхструктуры можно перестраивать с помощью инжекции тока или оптического возбуждения электронно-дырочных пар. Электроны и дырки рекомбинируют, если электрон «туннелирует» через потенциальный барьер (показан серым цветом). Скорость туннелирования зависит от ширины и высоты барьера, поэтому время жизни носителей заряда тоже можно регулировать.



СЕЛЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ для n- и p-слоев — это участки материала, сильно легированного примесями n- и p-типа соответственно. Ионизованные доноры в каждом n-слое отталкивают дырки в каждом p-электроде; ионизованные акцепторы в каждом p-слое отталкивают электроны в n-

электроде. В результате при подаче напряжения на электроды дырки входят только в p-слои, а электроны — в n-слои, перестраивая кристалл. Инжекция прекращается при равенстве величины щели разности напряжений.

стой инжекции электронов и дырок (инжекция дырок соответствует извлечению электронов из валентной зоны) или же их генерации с низкой скоростью, т.е. в легированных сверхструктурах концентрации электронов и дырок — перестраиваемые величины. Именно эта перестройка является решающим фактором. В п-слоях концентрация электронов частично нейтрализует положительный заряд донорных атомов, превратившихся в ионы. В р-слоях концентрация дырок частично нейтрализует отрицательный заряд ионизованных акцепторных атомов. Следовательно, кривая потенциальной энергии сверхструктуры становится более плоской и эффективная энергетическая щель возрастает.

Читатель, вероятно, не удивится, узнав, что электропроводность, оптическое поглощение, излучательную способность - по существу все параметры, относящиеся к электрическим и оптическим свойствам легированных сверхструктур, - можно перестраивать. Электронно-дырочные пары, создаваемые путем оптического возбуждения кристалла, разделяются с высокой эффективностью. Поскольку рекомбинация маловероятна, их концентрация возрастает и энергетическая щель уширяется. Уплощение потенциала увеличивает вероятность туннелирования, поэтому время жизни носителей заряда уменьшается. Наконец, скорость рекомбинации становится равной скорости образования электроннодырочных пар. Теперь кристалл находится в стационарном состоянии со свойствами, настроенными на конкретные величины.

На первый взгляд возбуждение кристалла с помощью инжекции электронов только в п-слои и дырок только в рслои может показаться неразрешимой проблемой для микроэлектроники. В действительности это можно сделать очень просто. Селективным электродом на п- или р-слоях может быть область сильного п- или р-легирования соответственно, проходящая по всей сверхструктуре (см. рисунок вверху). В месте пересечения такого электрода со слоем противоположного типа легирования носители заряда не могут войти в него - этому препятствуют электрические поля. В п-слоях ионизованные доноры отталкивают дырки, которые вошли бы в слой в случае отсутствия доноров; в р-слоях электроны отталкивают ионизованные акцепторы.

ИССЛЕДОВАТЕЛЕМ, взявшимся, наконец, за выращивание легированных сверхструктур, стал К. Плуг из Института физики твердого тела им. Макса Планка в Штутгарте. Благодаря усилиям его и его коллег работа, начатая в 1980 г., почти сразу же привела к успеху. В качестве основного материала был выбран арсенид галия; легирующими примесями были атомы кремния (доноры) и бериллия (акцепторы). Выращивание проводилось по методу эпитаксии в молекулярных пучках.

Сначала было проверено предсказанное соотношение между концентрацией носителей заряда и эффективной энергетической щелью; это осуществлялось с помощью измерения электронной и дырочной проводимости в слоях структуры. Г. Кюнзель, работая совместно с Плугом, Дж. Кнехтом, А. Фишером и мной, обнаружил, что проводимость становится исчезающе малой при электрическом потенциале, для которого концентрация носителей должна быть равна нулю. Затем были проверены предсказанные оптические свойства. В одном эксперименте, проведенном Кюнзелем, Плугом и мной, поглощение света легированной сверхструктурой приводило к образованию носителей заряда с временем жизни более 1000 с. Это соответствует увеличению в триллион раз по сравнению с временем жизни носителей в типичных полупроводниках. Аналогичное улучшение было получено и для чувствительности сверхструктур к свету. Ясно, что легированные сверхструктуры выдержали экзамен на применимость в качестве детекторов света.

Проверка оптических свойств позволила нам также подтвердить предсказанную перестраиваемость легированных сверхструктур. Наиболее сильное доказательство было получено в экспериментах по люминесценции кристаллов. Исследователи, уже названные мною, работая совместно с Г. Джунгом, Д. Олего, У. Ремом и Г. Штольцем, измерили спектр света, испускае-

мого легированной сверхструктурой при разной интенсивности внешнего освещения, которое служило в качестве источника возбуждения. Было показано, что при возрастании интенсивности падающего света концентрация носителей, эффективная энергетическая щель и энергия фотонов, испускаемых сверхструктурой, могут увеличиваться на 20%. Аналогичное увеличение наблюдалось впоследствии для легированных сверхструктур, возбуждаемых инжекцией носителей заряда. Легированные сверхструктуры выдержали успешно и экзамен на применимость в качестве модуляторов света, например в электронных системах, управляющих лучом лазера.

Конечно, для испускания света сверхструктурой необходима рекомбинация электронов и дырок, что, как может показаться, не согласуется с временем жизни носителей заряда — порядка 1000 с. На самом деле это не так. Легированная сверхструктура иметь время жизни носителей заряда порядка 1000 с, когда они находятся вблизи своего основного состояния, а эффективная энергетическая близка к нулю. (При нулевой энергетической щели рекомбинация уже не может уменьшать полную энергию кристалла, поэтому время жизни носителей велико.) Однако при сильном освещении эффективная энергетическая щель приближается по своей величине к щели, характерной для нелегированного полупроводника. Барьер для туннелирования становится плоским и время жизни носителей заряда уменьшается.

Для того чтобы получить легированную сверхструктуру с интенсивной люминесценцией, энергия фотонов которой намного меньше величины энергетической щели, характерной для нелегированного полупроводника, необходимо изменить ее соответствующим образом. В частности, можно сделать более тонкие слои с более высокой степенью легирования. Чем уже слои, тем уже потенциальные ямы, а это обеспечит определенную «прозрачность» для свободных электронов, даже если высота каждой потенциальной ямы большая.

В СПИСОК свойств легированных на основе квантовой физики и подтвержденных впоследствии экспериментально, необходимо включить и разности энергии мини-зон. Исследователи из Института им. Макса Планка в Штутгарте, включая Г. Абстрейтера и П. Рудена, направляли фотоны на легированную сверхструктуру, изготовленную из арсенида галлия, и измерили энергию фотонов, отраженных обратно. Некоторые рассеянные в обратном направлении фотоны возбуждают

электроны из заселенных мини-зон на расположенные выше свободные минизоны и потому теряют соответствуюшую энергию.

Современные твердотельные сверхструктуры представляют одну из наиболее быстро развивающихся областей физики твердого тела. Прежде всего сейчас намного расширился круг полупроводниковых материалов, из которых создаются композиционные сверхструктуры. Одним из наиболее интересных новых кристаллов, несомненно, является композиционная сверхструктура, изготовленная из слоев арсенида индия (InAs) и антимонида галлия (GaSb), предложенная и впервые исследованная Г. Сай-Халацем, Чангом, Цу и Исаки из фирмы ІВМ. Специфичность электронных свойств сверхструктуры вытекает из необычного расположения зон в этих материалах. Оказывается, что нижний край зоны

проводимости в арсениде индия расположен ниже верхнего края валентной зоны в антимониде галлия. Таким образом, имеются энергетические уровни, на которых одновременно существуют электроны и дырки; электроны — в арсениде индия, дырки — в антимониде галлия. Эти сосуществующие носители получили название хоктроны (от англ. hoctrons).

Твердотельные сверхструктуры — это более чем сложные нгрушки для забавы физиков-твердотельщиков. По моему мнению, композиционные сверхструктуры и, в частности, легированные сверхструктуры, с их уникальным свойством перестраиваемости, представляют новый важный класс полупроводников, которые окажут сильное влияние не только на развитие физики твердого тела, но и на будущее полупроводниковой технологии.

ИЗдательство МИР предлагает:

И. Экланд, Р. Темам ВЫПУКЛЫЙ АНАЛИЗ И ВАРИАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Перевод с английского

Книга молодых и активно работающих французских математиков — первая монография по данной тематике. Авторами рассмотрены два круга вопросов. С одной стороны, они применяют методы двойственности к многомерным вариационным задачам, обсуждают численные методы, доказывают теоремы существования решений многомерных зас другой - обсуждают проблемы квазирегуляризации, связанные с выпуклыми расширениями многомерных вариационных задач.

Книга представит несомненный интерес для математиков широкого профиля, интересующихся вопросами оптимизации, вариационного исчисления и оптимального управления.

Содержание: І. Основы выпуклого анализа. ІІ. Двойственность и выпуклые вариационные задачи. ІІІ. Невыпуклые вариационные задачи и релаксация.

1979, 20 л. Цена 1 р. 80 к.

Б. Джон, Э. Дербишир, Г. Янг, Р. Фейрбридж, Дж. Эндрюс ЗИМЫ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ Земля подо льдом

Перевод с английского

представляет научно-популярное изложение основных фактов, теорий и гипотез, посвященных ледниковым периодам, - «зимам современному распространению ледников и многолетней мерзлоты на земном шаре, влиянию оледенений на изменение климата, развитие фауны и флоры. Текст сопровождается многочисленными фотографиями и схемами. Книга доступна не только геологам, географам, преподавателям высшей и средней школы, но и широкому кругу любителей при-

1982, 336 стр. Цена 1 р. 60 к.





50 и 100 лет назад

SCIENTIFIC AMERICAN

НОЯБРЬ 1933 г. На последнем заседании Британской ассоциации развития науки лорд Резерфорд со всей серьезностью заявил: «Всякий, кто говорит, будто с имеющимися у нас ныне средствами и знаниями нам доступно использование атомной энергии, несет сущий вздор». В течение двух последних десятилетий у физиков не раз появлялась надежда на высвобождение атомной энергии, но эта надежда затем вновь угасала. В последнее время стало ясно, что использование хотя бы ничтожного количества этой энергии связано с гораздо большими энергетическими затратами по сравнению с тем, что может быть получено. Это, впрочем, не означает, что какие-либо новые открытия не способны изменить сложившуюся ситуацию, однако не следует принимать всерьез безответственные намеки, которыми щедро одаривают публику, будто бы ученые сейчас упорно работают над решением именно этой проблемы. Физиков интересуют чисто научные аспекты расщепления и преобразования атомов, любых возлействий на атомную структуру. Всякая связь этих экспериментов с проблемами энергетики может иметь лишь прикладной характер.

В июле этого года Уайли Поуст удивил весь мир, пролетев на самолете по круговому замкнутому маршруту 15 400 миль за 7 дней, 18 ч и 49,5 мин. Весь полет был выполнен in solo. Особый интерес вызывает радиоустройство, установленное на его «Уинни Мэй» инженерами Авиационного корпуса американской армии в Райт-Филде. По существу, это радиоустройство представляет собой радиопеленгатор. Для его использования «Уинни Мэй», которая не несла на себе радиоаппаратуры в обычном смысле этого слова, была снабжена антенной, натянутой между фюзеляжем и рулем направления. По просьбе организаторов полета все радиостанции, расположенные вблизи этого трансконтинентального маршрута, передавали для самолета позывные на определенных частотах. Ясно, что если пилот во время перелета примет сигналы от двух радиостанций, координаты которых ему известны, то по этим сигналам он может вычислить собственное положение в пространстве. Однако навигационное устройство, смонтированное на «Уинни Мэй», было способно на большее. От сигналов одной-единственной радиостанции на самолете срабатывал указатель, сообщавший пилоту с большой точностью, не отклонился ли его самолет от правильного курса. Мы будем недалеки от истины, если скажем, что Поуст облетел вокруг света верхом на радиоволне.

В лаборатории Камерлинга Оннеса в Лейденском университете была получена самая низкая температура, когдалибо достигнутая и измеренная человеком, -0,085° по абсолютной шкале. Эта температура исключительно близка к точке абсолютного нуля, где должно прекратиться всякое движение атомов, свестись к нулю электрическое сопротивление и где возможны многие другие удивительные явления. Профессор В. И. де Гааз из Лейдена и профессор Х.А. Крамерс из Утрехта, поставившие этот эксперимент, пользовались методом, известным как адиабатическая лемагнетизация парамагнитных солей.

Фермер, не способный использовать средства механизации сельского хозяйства и вынужденный вкладывать слишком много ручного труда в каждую единицу своей продукции, неизбежно получает меньшую плату за свою работу по сравнению с фермером, который повышает эффективность производства за счет широкого применения техники. Это утверждение справедливо вне зависимости от существующего курса цен. Исследования, проведенные в Университете шт. Огайо, показывают, что фермер, пользующийся при выращивании зерновых пароконной упряжкой и собирающий урожай вручную, затрачивает 27,63 ч на обработку каждого акра нивы, дающего 55 бушелей зерна. В то же время фермер, который для выполнения всех работ, кроме сева, использует трактор и соответствующее навесное и прицепное оборудование, а урожай собирает с помощью двухрядной жатки, тратит всего 7,48 ч. Таким образом, первый за каждый час труда получает два бушеля зерна, в то время как второй — 7,5 бушеля.



НОЯБРЬ 1883 г. В настоящее время создатели машин и станков во всех деталях механизмов, подверженных большим нагрузкам и требующих высокой прочности, начинают активно заменять очищенное железо низкоуглеродистой сталью. Теперь из стали предпочитают изготовлять поршни, клапаны, тонкие полированные оси, штоки и многие другие детали. При использовании хорошего способа литья, прокатки и ковки этой стали в небольшие

стержни и бруски она обладает замечательными свойствами. Такая сталь не содержит «песчаных островков», или включений, твердого железа, которые обычно быстро выводят из строя резцы токарных и строгальных станков. Она прекрасно подходит для ходовых винтов в токарных и особенно в винторезных станках. Эта сталь своей износостойкостью настолько превосходит традиционно использующееся железо, что реальная цена изготовленных из нее деталей скольжения и вращения не сравнима с ценой железных деталей. Это достоинство, а также возможность изготавливать различные соединения со значительно большей точностью позволяют почти (если не полностью) компенсировать некоторое увеличение начальных затрат на производство этого нового материала.

Барон Норденскьёльд сообщил о результатах своих исследований, проведенных в Гренландии. 4 июля из фьорда Аулейтсвик его экспедиция направилась в глубь острова. Когда исследователи удалились на 140 км к востоку от границы ледника и поднялись на высоту 5 тыс. футов над уровнем моря, дальнейшее продвижение стало невозможным, так как рыхлый снег не позволял пользоваться санями. Вперед была выслана партия лапландцев на снегоступах. Они прошли по бескрайней снежной пустыне еще 230 км к востоку и достигли высоты 7 тыс футов. Таким образом, можно сделать вывод, что внутри острова не существует районов, свободных от снега. Эта экспедиция, в ходе которой люди впервые достигли внутренних районов Гренландии, дала очень важные результаты относительно природы этого континента. Теперь мы знаем, что вся внутренняя часть Гренландии покрыта льдом.

Г-н Сент-Джордж разработал фотографический метод записи телефонных разговоров. Круглая стеклянная пластинка покрывается слоем коллодия и сенсибилизируется точно так же, как обычная фотопластинка. Она помещается в темную камеру, и через узкую щель на ее чувствительную поверхность может падать луч света. Колебания телефонной мембраны передаются заслонке, которая изменяет ширину записывающего светового луча. В соответствии с системой, предложенной профессором Грейамом Беллом, колебания луча полностью повторяют колебания мембраны. Падающий на фотопластинку луч оставляет за собой темную полосу, ширина которой пропорциональна смещениям мембраны. Сама фотопластинка, подобно валику фонографа, поворачивается с помощью часового механизма. После записи она подвергается обычной химической обработке.

Адаптация жуков-зерновок к ядовитым семенам

Личинки жуков-зерновок питаются семенами, содержащими аминокислоту, которая очень ядовита для других насекомых. Личинки преодолевают токсическое действие аминокислоты, а также используют содержащийся в ней азот

ДЖЕРАЛЬД А. РОЗЕНТАЛЬ

ЛЯ БОЛЬШИНСТВА насекомых пищей служат растения, и насекомые относятся к числу наиболее агрессивных и разрушительных их вредителей. Наземные растения не способны перемещаться и поэтому не могут спасаться от своих врагов бегством. И все же растения вовсе не пассивны в той борьбе, которая идет между ними и насекомыми уже более 50 млн. лет. Основным оружием растений против опустошающей прожорливости насекомых служат химические вещества - естественные компоненты растений. Все множество различных соединений, которые синтезируются высшими растениями в ходе метаболизма, можно условно разделить на первичные и вторичные метаболиты. Первичные метаболиты - это вещества, характерные для всех форм жизни, например нуклеиновые кислоты, аденозинтрифосфат (АТР), глюкоза. Вторичные метаболиты у разных растений различны, они-то и позволяют им вести химическую войну. Активное потребление пиши, характерное для насекомых и других растительноядных, наравне с уничтожением растенияхозяина патогенными организмами создают давление естественного отбора, которое стимулирует и поддерживает изощренные химические барьеры против вредителей и болезнетворных организмов. Естественный отбор, основываясь на наследственной изменчивости, обеспечивающей разнообразие вторичных метаболитов у растений, дает «зеленую улицу» тем из них, которые могут увеличить приспособленность организмов, создав эффективную защиту. Размышляя над взаимоотношениями между насекомыми и растениями, П. Фини из Корнеллского университета заметил: «В настоящее время мы являемся свидетелями своего рода гонки вооружений: растения, чтобы выжить, расходуют существенную часть «бюджета» своего метаболизма на оборону (как физическую, так и химическую), а насекомые вынуждены тратить немалую долю накопленной энергии и питательных веществ на

средства обнаружения и атаки противника».

Эту точку зрения неплохо подтверждает пример растения Dioclea megaсагра, которое относится к выющимся бобовым. Среди насекомых у него есть только один вредитель — Caryedes brasiliensis, маленький жучок из семейства Bruchidae, куда входят жукизерновки, распространенные на свете повсеместно. Растение весьма успешно отпугивает всех других насекомых. Одна из причин этого состоит в том, что в Dioclea накапливается L-канаванин. Эта аминокислота обладает инсектицилным действием: у насекомых она нарушает производство нормальных белков, а также имеет некоторые другие эффекты. И поэтому адаптация С. brasiliensis к средствам химической защиты растения поистине замечательна. Наша работа в Университете шт. Кентукки внесла некоторую ясность в понимание взаимодействия между насекомыми и вторичными метаболитами высших растений.

Канаванин — одна из примерно 250 аминокислот, которые синтезируются высшими растениями, но не используются для сборки белков. Соответственно, в состав белков растения эта аминокислота не входит. Образование канаванина характерно для группы бобовых растений Lotoideae. Он обнаружен также в таких важных сельскохозяйственных культурах, как люцерна и клевер. Канаванин свойствен и другим видам растений, однолетним и многолетним, декоративным и древовидным, например Wisteria и Robinia.

Есть убедительные данные в пользу того, что канаванин выполняет в метаболизме важную функцию. В форме канаванина запасается азот, что особенно существенно в семенах, вещество которых должно обеспечить рост развивающегося растения.

Молекула L-канаванина является структурным аналогом L-аргинина одной из 20 аминокислот, которые входят в состав белков. В канаванине одна из —СН₂-групп аргинина заменена на кислород. Эта разница по существу не сказывается на обмене канаванина, который может участвовать практически во всех реакциях, катализируемых ферментами, для которых предпочтительным субстратом служит аргинин. Например, канаванин активируется синтетазой аргинил-тРНК, которая активирует аргинин и затем связывает его с соответствующей транспортной РНК.

В том случае, если канаванин связался с транспортной РНК, которая в норме переносит аргинин к месту сборки белка на рибосомах клетки, вместо аргинина в растущую полипептидную цепь неизбежно попадет канаванин. Канаванин обладает менее шелочными свойствами, чем аргинин, и при физиологических условиях положительный заряд молекулы канаванина будет меньше, чем молекулы аргинина. Это может влиять на те взаимодействия, которые обусловливают укладку полипептидной цепи в единственно возможную для данной белковой молекулы конформацию. Накапливаются данные о том, что белки, структура которых изменена вследствие включения канаванина на место аргинина, функционируют неправильно. В этом и состоит токсическое действие, которое оказывает канаванин на большинство насе-KOMBIX.

ОЙ КОЛЛЕГА Д. Дальман и я экспе-Монколлы определили инсектицидные свойства канаванина. В качестве объекта мы взяли представителя чешуекрылых — табачного бражника Manduca sexta, гусеницы которого питаются листьями растений, не содержащих канаванин, например табака и томата. Таким образом, у M. sexta отсутствовала способность нейтрализовывать токсичное действие этой аминокислоты. Когда мы инъецировали в гемолимфу (т.е. циркулирующую жидкость) табачного бражника канаванин, меченный радиоактивным углеродом 14С, примерно 3,5% меченого канаванина оказалось в новообразованных белках насекомого.

У перелетной саранчи Locusta migratoria migratorioides канаванин, посту-

АДАПТАЦИЯ ЖУКОВ-ЗЕРНОВОК К ЯДОВИТЫМ СЕМЕНАМ

пивший в жировое тело, включался в вителлогенин — основной белок жирового тела, очень важный для развития яиц. Вителлогенин саранчи, содержащий канаванин, имеет большую подвижность в электрическом поле по сравнению с нормальным белком. Из этого следует, что физико-химические свойства белка вследствие включения канаванина меняются весьма значительно

В 1973 г. я прочел работу Д. Джензена, специалиста по тропической экологии (сейчас он работает в Пенсильванском университете), который изучал в Коста-Рике взаимодействие жуковзерновок Caryedes brasiliensis и выощегося бобового растения Dioclea megacarpa. Моим интересом к этой «паре» я обязан сообщению Джензена о том, что в семенах растения содержится в значительном количестве канаванин. Позже я определил, что содержание канаванина составляет до 13% от сухого веса плода, причем сконцентрирован он в основном в оболочке. В форме канаванина находится до 55% всего азота семени. Такое количество канаванина создает высокоэффективный химический барьер против вредителей; единственным известным потребителем семян среди насекомых являются личинки *C. brasiliensis*.

Самка жука откладывает яйца на стенку созревшего плода растения, часто вблизи борозды, характерной для плодов бобовых. Яйцо защищено специальной оболочкой, которую называют оотека. Обычно кладка яиц делается поздней осенью в конце периода дождей, примерно за месяц до созревания бобов. Бобы *D. megacarpa* годятся для откладки яиц в течение довольно короткого времени. Жуки-зерновки не откладывают яйца на зрелые или пере-

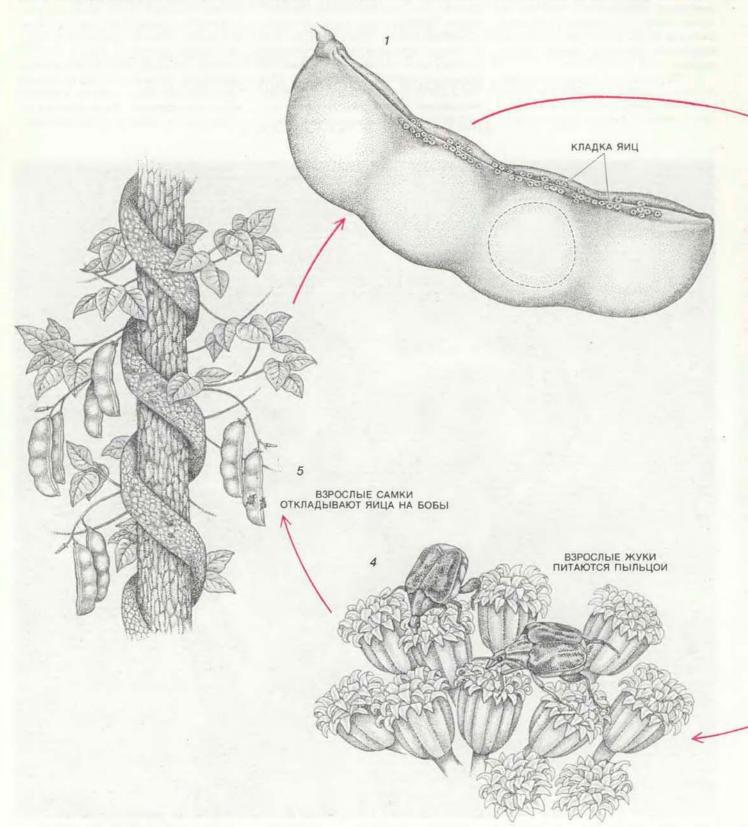


ВЗРОСЛЫЙ ЖУК-ЗЕРНОВКА Caryedes brasiliensis вылезает из семени бобового растения Dioclea megacarpa после того, как провел там несколько месяцев в стадиях личинки и куколки (в одном семени может жить одновременно до 50 личинок). Чтобы выбраться наружу, жук просверлил отверстие в оболочке семени. C. brasiliensis — единственное

насекомое-вредитель *D. megacarpa*. Это растение вырабатывает аминокислоту канаванин, которая ядовита для других насекомых. Благодаря биохимической адаптации личинки *C. brasiliensis* не подвержены токсическому действию канаванина; более того, они используют азот, который в нем содержится.

зрелые бобы и, если самки пропускают удобный период, популяции жуков для того, чтобы завершить жизненный цикл откладкой яиц, приходится ждать конца следующего сезона дождей и появления бобов нового урожая. Вылу-

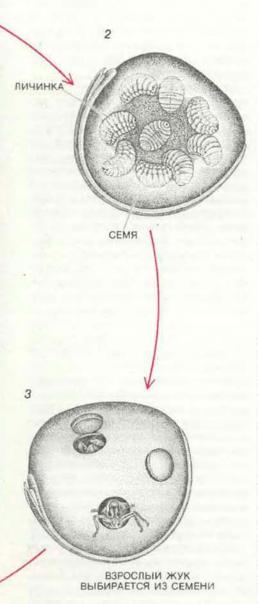
пившись, личинка просверливает стенку плода и оболочку семени и делает небольшую камеру в запасающих тканях зерна. Пока личинка растет, окукливается и вылупляется, превращаясь во взрослое насекомое, т.е. несколько месяцев, эта камера служит ей домом. В одном семени может развиваться до 50 насекомых. Молодой жучок прорезает в оболочке семени выход и выбирается из боба через продольный шов или же через отверстия, сделанные животны-



ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ жуков-зерновок C. brasiliensis. Поздней осенью, примерно за месяц до созревания бобов, взрослые самки откладывают яйца на бобы Dioclea megacarpa. Вылупившиеся личинки просверливают стенку боба и оболочку семени и поселяются в тканях семени. Через несколько

месяцев личинки претерпевают метаморфоз: они превращаются в куколки, из которых затем выходят взрослые жуки. Молодые жуки прогрызают оболочку семени, выходят во внутреннее пространство боба и отсюда через шов плода или через отверстия, которые были проделаны другими, которые пытались добраться до семян. Жуки выходят из бобов с апреля по июнь, взрослые особи кормятся только цветочной пыльцой, и поэтому канаванин в них не попадает.

Взаимодействие D. megacarpa и



ми животными, выбираются наружу. Взрослые жуки питаются пыльцой различных растений, а осенью откладывают яйца, начиная новый жизненный цикл.

C. brasiliensis — идеальный случай для изучения того, как насекомые адаптируются к токсичным соединениям, синтезируемым растениями. Жуки успешно следуют своим специализированным привычкам в питании благодаря биохимической адаптации, позволяющей им справляться с канаванином, который в противном случае был бы для них очень ядовит. Мои коллеги и я предприняли систематическое исследование антиканаваниновых биохимических приспособлений (эти работы являются частью программы Национального научного фонда). Для начала мы задались вопросом, включается ли канаванин в белки жуков-зерновок и если да, то как достигается, что при этом у них не образуются белки с нарушенной структурой? Мы инъецировали меченый канаванин личинкам, которых семян извлекли ИЗ пораженных D. megacarpa. В канаванине радиоактивным был только концевой атом углерода. Такой характер мечения наилучшим образом подходил для наших экспериментов: при превращении радиоактивного канаванина ферментами аргиназой и уреазой именно концевой углерод переходит в образующуюся двуокись углерода, а этот газ можно уловить химически и затем измерить в нем радиоактивность с помощью жидкостного сцинтилляционного спектрометра.

Были выделены новосинтезированные слаборадиоактивные белки, и их подвергли кислотному гидролизу, чтобы разделить на составляющие аминокислоты. Из смеси аминокислот с помощью ионообменной хроматографии выделили основные аминокислоты, в том числе канаванин. При обработке изолированных аминокислот аргиназой и уреазой в образующейся двуокиси углерода ощутимого количества радиоактивной метки не обнаружилось. Следовательно, в личинках не происходило существенного включения канаванина в белки (впрочем, в некоторой степени оно все же имело место). Биохимическая основа этого явления становится ясна при сравнении синтетазы аргинил-тРНК C. brasiliensis с аналогичным ферментом табачного бражника Manduca sexta. Фермент из M. sexta присоединяет к аргининовой транспортной РНК и аргинин и канаванин, а фермент C. brasiliensis — только аргинин. Таким образом, одно из биохимических приспособлений у жуков C. brasiliensis состоит в том, что их синтетаза аргинил-тРНК способна различать канаванин и аргинин, благодаря чему канаванин не связывается с аргининовой транспортной РНК и не включается в

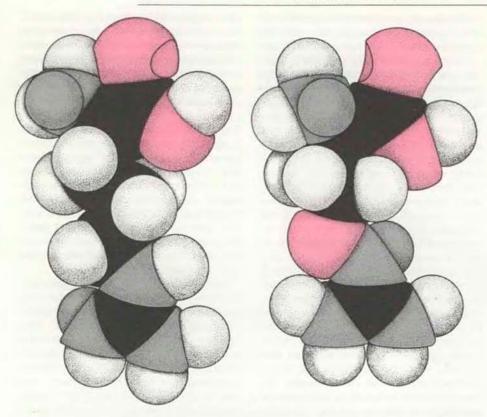
НЕДАВНО мы провели исследование, которое позволило взглянуть на описанную выше особенность белок-

синтезирующей системы жуков-зерновок с другой стороны. Было синтезировано несколько меченых аминокислот, которые по своей структуре походили на аргинин, и определено включение этих соединений в белки M. sexta и C. brasiliensis наряду с канаванином и аргинином. В новосинтезированные белки у личинок табачного бражника включались все искусственные аминокислоты, а у личинки жуков-зерновок - только аргинин. Значит, личинки C. brasiliensis способны отличать аргинин от любых молекул сходной структуры, а не только от канаванина. Это свойство создает защитный барьер, устраняющий ошибки, которые могут привести к включению неправильных аминокислот в белки.

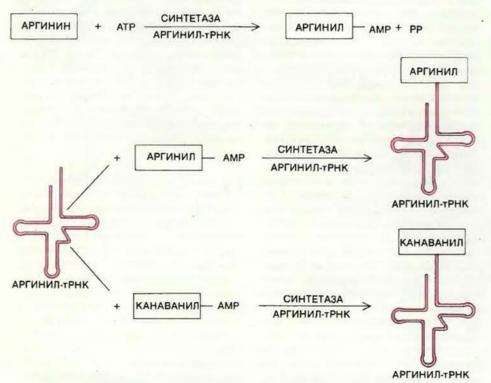
Оставалось еще много нерешенных проблем, но мы направили наши усилия на выяснение того, что происходит у жуков-зерновок с канаванином. Выделяют ли они это соединение из организма или же избегают его биохимических эффектов иным образом? Например, казалось вполне вероятным, что они используют его как питательное вещество. В самом деле, разумно было думать, что насекомые не станут пренебрегать таким богатым источником азота.

Прежде всего мы определили содержание канаванина в семенах D. тедасагра, зараженных личинками жуковзерновок. Применив статистические методы, мы нашли способ оценивать вес семени до появления в нем личинок по весу его интактной оболочки. Содержание канаванина определяли в сохранившейся, не тронутой вредителями части семени и в экскрементах насекомых, что в сумме позволяло подсчитать, сколько канаванина имелось в семени исходно. Оказалось, что, питаясь, личинки потребляли более половины канаванина, который семя содержало изначально.

ДНАКО оставался открытым вопрос о том, каковы превращения канаванина в организме насекомого. Аргиназа, которая расщепляет L-аргинин на мочевину и L-орнитин, также действует на L-канаванин, расщепляя его на мочевину и L-каналин. Фермент этот широко распространен в мире насекомых; он выполняет несколько важных функций, одна из которых состоит в превращении аргинина в орнитин, из которого затем образуется глутаминовая кислота. У жуков-зерновок имеется аргиназа и, следовательно, они способны превращать канаванин в каналин и мочевину: $NH_2-C(NH)-NH-O -CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH - NH_2-CO-NH_2 + NH_2-O- - CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH.$ y насекомых редко встречается уреаза фермент, гидролизующий мочевину. Однако у личинок жука-зерновки ак-



СТРУКТУРА МОЛЕКУЛ L-аргинина (слева) и L-канаванина (справа) очень похожа. Они состоят из атомов углерода (черные), водорода (белые), азота (серые) и кислорода (цветные). Аргинин обычный компонент белков, канаванин же для построения белков не используется. Разница между этими аминокислотами невелика: вместо одной из CH₂-групп в канаванине стоит кислород, и, кроме того, в аргинине гуанидиновая группа находится в иной форме (— NH), чем в канаванине (— NH₂).



РОЛЬ ТРАНСПОРТНОЙ РНК. В норме в присутствии АТР синтетаза аргининовой тРНК реагирует с аргинином с образованием его активной формы (вверху) и присоединяет ее к нужной тРНК (в середине), после чего этот комплекс отправляется в рибосому, где синтезируется белок. Та же тРНК может вместо аргинина связать канаванин (внизу) и перенести его к рибосоме, где выбраковки «неправильных» аминокислот не происходит и канаванин включается в полипептидную цепь на место аргинина.

тивность уреазы оказалась необычайно высокой. Канаванин расщепляется на каналин и мочевину, а затем в дело вступает уреаза, разлагая мочевину на аммиак и CO₂. То есть половина азота канаванина переходит в аммиак и таким образом становится доступна для дальнейшего метаболизма.

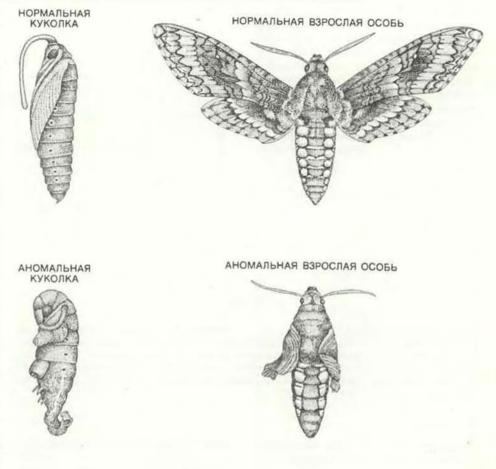
Используется ли у личинок в качестве источника азота аммиак? Что происходит — только обезвреживание канаванина или же одновременная утилизация азота, который содержится в канаванине, для синтеза новых аминокислот? Это очень важные вопросы, поскольку, кроме включения цианида в аспарагин, пока неизвестны другие случаи, когда насекомые использовали бы ядовитый компонент растений для образования аминокислот.

Итак, мы пришли к необходимости новых экспериментов. Они были выполнены в Институте по изучению влияния курения на здоровье при Университете шт. Кентукки, где имеется прекрасное оборудование для масс-спектроскопии. Личинкам инъецировали мочевину, которая содержала тяжелый изотоп азота. Выделив затем новосинтезированные аминокислоты, их химически обрабатывали, превращая в более летучую форму, что давало возможность разделить компоненты с помощью метода газовой хроматографии. Компоненты смеси, попав на выход хроматографа, поступали в массспектрометр. В масс-спектрометре соединение облучается электронами, при этом аминокислота разрушается с образованием характерного набора фрагментов. Смесь анализируется с помощью компьютера, что позволяет точно охарактеризовать фрагменты и реконструировать по ним само соединение. Зная относительное содержание фрагментов с различными изотопами азота, можно точно восстановить соотношение ¹⁵N и ¹⁴N в исходной аминокислоте. С одной стороны, было обнаружено значительное включение ¹⁵N в аланин, глицин, серин, пролин, метионин, аспарагиновую кислоту (или в аспарагин, или в оба соединения), глутаминовую кислоту (или в глутамин, или в оба соединения). Все эти аминокислоты обычны для состава белков, в организме насекомого они в норме синтезируются из соответствующих предшественников. С другой стороны, не было выявлено заметного количества тяжелого изотопа азота в треонине, лейцине, изолейцине, гистидине, лизине и гидроксипролине. Эти аминокислоты также входят в состав белков, но насекомые не могут их синтезировать и вынуждены извлекать из пищи. Полагают, что для нормального питания насекомых необходимо, чтобы пища содержала валин, но личинки C. brasiliensis способны синтезировать его в небольшом количестве. Из-за ограничений,

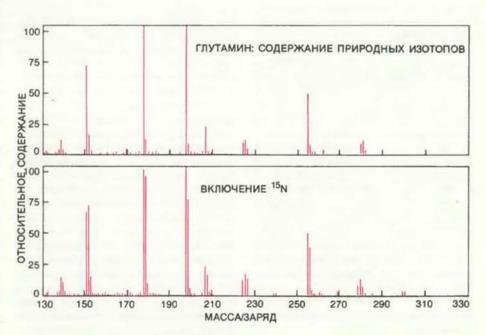
свойственных самой методике определения, в этих опытах не выявлялись тирозин, фенилаланин, аргинин и триптофан. Интересно, что у личинок жуков-зерновок заметное количество ¹⁵N включалось также в аминокислоты, которые в биосинтезе белка не участвуют: в 2-аминомасляную кислоту, β-аланин и гомосерин.

Каким же путем азот канаванина, перешедший в аммиак, участвует в синтезе этих аминокислот? У насекомых широко распространены ферменты синтеза аланина и аспарагиновой кислоты из глутаминовой кислоты. По всей вероятности, в метаболизме аминокислот у них основную роль играют глутаминовая кислота и глутамин. Глутамин и аспарагин образуются непосредственно из глутаминовой и аспарагиновой кислот соответственно при присоединении к ним аммиака. Глутаминовая кислота также прямо связана с синтезом пролина и серина, а из серина легко образуется глицин. Может показаться неожиданным, что значительное количество ¹⁵N было обнаружено в 2-аминомасляной кислоте, однако это соединение может образовываться из органической кислоты, которая получается из треонина и метионина. Таким образом, почти все аминокислоты, о которых известно, что они синтезируются у насекомых, в том числе и у C. brasiliensis, содержат азот, причем его количество эквивалентно тому, которое содержится в канаванине.

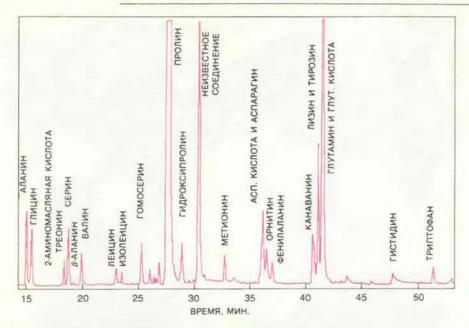
ЛЕДУЮЩАЯ проблема состояла в л том, что аминокислота L-каналин, которая в синтезе белка не участвует, в свою очередь очень токсична. Среди аминокислот она выделяется тем, что имеет на конце аминооксигруппу —ONН₂; никакая другая аминокислота свободных ONH₂-групп не содержит. В экспериментах с личинками табачного бражника показано, что Lканалин задерживает рост, искажает развитие, повышает смертность и нарушает функции нервной системы. Каналин взаимодействует с альдегидной группой пиридоксальфосфата, который в качестве кофактора так важен для функционирования некоторых ферментов. Комплекс каналина с пиридоксальфосфатом стабилен, поэтому его образование серьезно влияет на активность тех ферментов, которые содержат пиридоксальфосфат. На первый взгляд жуки-зерновки всего лишь заменили один яд другим. Однако, изучая превращения каналина, мы обнаружили, что у личинок есть фермент, способный расщеплять его с образованием гомосерина и аммиака: NH,-О--CH, -CH(NH,) -CÕOH → - OH-CH, -CH, -CH(NH,)-—COOH + NH₃. Обнаружив это, мы были поставлены перед необходимостью ответить на вопрос, как же насеко-



ЭФФЕКТ КАНАВАНИНА на примере табачного бражника Manduca sexta. В пищу, которой кормили в лаборатории личинок, был добавлен канаванин. В результате получились аномальные куколки и вывелись аномальные взрослые особи. Если канаванин вводили непосредственно в гемолимфу, развитие также нарушалось.



ВКЛЮЧЕНИЕ АЗОТА в L-глутамин. Личинкам *C. brasiliensis* инъецировали мочевину, меченную тяжелым изотопом азота ¹⁵N; из личинок выделяли аминокислоты и анализировали их на газовом хроматографе, соединенном с массспектрометром. ¹⁵N включался в синтезируемые аминокислоты и не включался в те, которые насекомые получали только из пищи. L-Глутамин — обычный компонент белков; включение тяжелого азота в него было довольно значительным.



КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ данных о включении тяжелого азота в аминокислоты *C. brasiliensis*. В организме личинок канаванин превращается в каналин и мочевину, азот из которой может утилизоваться в биосинтезе аминокислот. ¹⁵N из мочевины включался именно в те аминокислоты, которые синтезируются у личинок, но не обнаруживался в аминокислотах, единственным источником которых является пища.

мые справляются со всем аммиаком, который тоже токсичен из-за того, что азот в нем находится в восстановленной форме. У насекомых азот экскретируется в основном в виде мочевой кислоты, аммиак при этом обычно выступает как минорный компонент. Анализируя экскременты личинок, мы обнаружили, что около 90% азота находилось в форме аммиака и мочевины и только 11% — в форме мочевой кислоты. Стало быть, жуки-зерновки способны прямо выводить избыточный аммиак из организма с экскрементами.

Такой путь - не единственный доступный насекомым механизм обезвреживания аммиака. У личинок жуков довольно высока активность глутаминсинтетазы. Этот фермент присоединяет аммиак к глутаминовой кислоте с образованием глутамина, который является одной из основных свободных аминокислот гемолимфы насекомых. В гемолимфе содержится также довольно много пролина. Обычно углеродный скелет пролина используется для образования глутаминовой кислоты, которая затем вступает в синтез глутамина. Весьма вероятно, что последовательность реакций от пролина через глутаминовую кислоту к глутамину играет важную роль в превращении токсичного аммиака в безвредные соелинения.

Что касается гомосерина, то Д. Джиованелли и его сотрудники (Национальный институт психического здоровья) установили, что в растениях производные гомосерина служат предшественниками при синтезе некоторых незаменимых серусодержащих аминокислот. Можно было ожидать, что у многих видов насекомых (например, у тлей, которые сосут сок из семян гороха *Pisum sativum*) используется гомосерин, поскольку эта аминокислота, не входящая в белки, может составлять до 10% от сухого веса некоторых частей растения.

Когда личинкам жуков-зерновок давали гомосерин, меченный углеродом ¹⁴С, радиоактивная метка включалась в метионин и цистеин, но в очень небольшом количестве. Мы провели аминокислотный анализ экстракта таких личинок и неожиданно обнаружили значительный пик радиоактивности, который нельзя было отнести на счет аминокислот, так как неизвестное соединение не окрашивалось нингидрином (нингидрин, взаимодействуя с аминокислотами, образует комплекс характерного сиреневого цвета - это классический колориметрический тест на аминокислоты). Этот результат можно объяснить тем, что у жуков-зерновок гомосерин вступает в синтез других аминокислот через аминотрансферазную реакцию. В этом случае гомосерин должен утрачивать способность взаимодействовать с нингидрином. Так или иначе, ясно, что гомосерин синтезируется у жуков-зерновок в большом количестве не для производства серусодержащих аминокислот, а для какой-то иной цели.

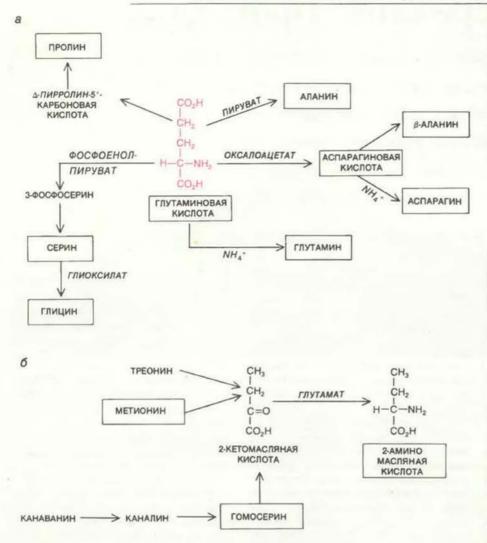
Замечательная черта биохимической адаптации жуков-зерновок к содержащемуся в их пище вредному со-

единению - канаванину - состоит в том, что механизм ее тот же, что и у растений, синтезирующих это соединение. Конвергентность эволюции очевидна, если принять во внимание следующие четыре группы данных. Вопервых, у зерновок имеется фермент (синтетаза аргининовой транспортной РНК), способный различать аргинин и канаванин. Растения также обладают способностью отличать аминокислоты, входящие в состав белков, и «небелковые», избегая тем самым неблагоприятных эффектов своих же собственных «небелковых» аминокислот. Во-вторых, у растений, синтезирующих канаванин, образование из канаванина мочевины с последующим образованием из нее аммиака является главным способом извлечения азота из канаванина. В-третьих, если у насекомых каналин обезвреживается, превращаясь в гомосерин, то у растений, синтезирующих канаванин, превращение гомосерина в каналин представляет собой часть пути синтеза канаванина. И наконец, мы показали, что аргиназа C. brasiliensis имеет большее сродство к канаванину и реагирует с ним быстрее, чем аргиназы других изученных на этот предмет видов насекомых. Такие же особенности свойственны аргиназе Canavalia ensiformis — бобовому растению, вырабатывающему канаванин, - в отличие от аргиназы сои Glycine max, в которой канаванин не синтезируется.

Из наших экспериментов можно сделать вывод, что жуки-зерновки, приспосабливаясь к D. тедасагра как к источнику пищи, приобрели несколько самостоятельных, но взаимосвязанных биохимических адаптаций. Разумно предполагать, что одним из первых этапов было развитие способности различать аминокислоты, что позволило насекомым избежать синтеза нефункциональных белков. Первоначально жуки-зерновки, вероятно, просто выделяли канаванин и каналин с экскрементами, а потребности растущей личинки в азоте удовлетворялись за счет других богатых азотом веществ (например, белков), содержащихся в семенах. Впоследствии благодаря естественному отбору насекомые приобрели механизмы, позволяющие включать канаванин и каналин в метаболизм и утилизовать азот, который в них содержится.

Успешная адаптация увеличивала зависимость жуков от *D. megacarpa*. Со временем выгоды, которые давала связь с этим растением, привели к дискриминации особей, откладывавших яйца на семена других растений. Несомненно, экологическая ниша вида сузилась, но опасности, которые вытекают из зависимости от единственного источника питания и места для откладки яиц, компенсируются важными пре-

АДАПТАЦИЯ ЖУКОВ-ЗЕРНОВОК К ЯДОВИТЫМ СЕМЕНАМ



ВОЗМОЖНЫЕ БИОХИМИЧЕСКИЕ ПУТИ от глутаминовой кислоты (выделена цветом) до аминокислот, которые синтезируются в организме личинок *C. brasiliensis* (а). Прямоугольниками обведены аминокислоты, в которые включается ¹⁵N из глутаминовой кислоты. Показано также, как из метионина и гомосерина образуется 2-аминомасляная кислота (б). Синтез гомосерина у *C. brasiliensis*, единственного вида насекомых, у которых такой процесс известен, не может идти через деградацию канаванина до каналина, поскольку здесь канаванин не был помечен, а в гомосерине метка появилась.

имуществами. Для *C. brasiliensis* отсутствует конкуренция за семена; им не нужно тратить силы на выработку защитных механизмов от всего разнообразия растительных токсинов; наконец, развивающимся личинкам обеспечено относительно безопасное убежище, поскольку токсичность канаванина защищает семена от нападения личинок других видов.

Отметим еще один аспект этих исследований. Они продемонстрировали необыкновенную способность насекомых адаптироваться к самым разнообразным ядовитым соединениям, включая изобретенные людьми инсектициды. Казалось вероятным, что важную роль в переработке токсичных соединений типа канаванина могут играть микробы-симбионты, живущие в кишечнике насекомых. На семенах D. megacarpa присутствует множество микробов (и симбиотических и патогенных), которые вполне могли быть «приобретены» C. brasiliensis и включены в механизмы биохимической адаптации к канаванину и каналину. Мы выделили микробов-симбионтов из личинок жуков и показали, что некоторые из них (по крайней мере один вид) могут использовать канаванин или каналин в качестве единственного источника углерода и азота. Мы будем продолжать эксперименты, чтобы выяснить, какими своими биохимическими возможностями жуки-зерновки обязаны симбиотическим микроорганизмам.

Наши исследования создают реальную основу для понимания биохимической адаптации насекомых к токсинам растений-хозяев. Остается лишь сожалеть, что до сих пор эти работы, по существу, единственные в своем ро-

де. То, что мы обнаружили, имеет и практическое значение — ведь те же механизмы могут действовать в случае токсинов не только естественного, но и искусственного происхождения, что открывает пути химического контроля. Помимо всего прочего, описанные здесь исследования — яркий пример того, что объединение экологического и биохимического подходов всегда очень плодотворно.

ИЗдательство **МИР** предлагает:

Т. Брилл СВЕТ: ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРОИЗВЕДЕНИЯ ИСКУССТВА

Перевод с английского

Книга Томаса Брилла весьма оригинальна: пожалуй, ей нет аналогий в мировой литературе. Автор адресует свой труд художникам, искусствоведам, сотрудникам музеев. В основу книги положены лекции, которые автор читал на протяжении ряда лет студентам Делавэрского университета и работникам Винтерфурского музея. В ней удачно обобщены многочисленные сведения о световых явлениях и основные положения соответствующих теорий, разработанных как физиками, так и химиками.

В книге подробно рассматривается структура молекул красителей и пигментов, и детально разбираются разнообразные изменения, которые может вызвать воздействие светового излучения различных частот. Основное внимание уделяется фотохимическим реакциям, происходящим в дереве, бумаге, тканях, масляных красках, лаках. Обсуждаются механизмы и скорость обесцвечивания красителей, а также меры предосторожности, необходимые при работе с такими материалами.

> 1983, 307 страниц с иллюстрациями. Цена 1 р. 60 к.



Извержение Кракатау

Только теперь выясняется природа взрывов, 100 лет назад уничтоживших бо́льшую часть одного из островов Зондского архипелага. Исследователи обратили внимание на состав вулканических пород и время появления воздушных и морских волн

ПИТЕР ФРЭНСИС, СТИВЕН СЕЛФ

ч то лет назад, утром 27 августа 1883 г., серия кратковременных извержений вулкана Кракатау завершилась катастрофическим взрывом, разрушившим значительную часть небольшого одноименного острова в Зондском проливе. В волнах цунами, вызванных взрывом, погибло более 30 тыс. человек на соседних островах Ява и Суматра. Известие об этом потрясло мир и стимулировало организацию ряда научных исследований, заложивших основы современной вулканологии. Однако только теперь становится возможным объяснить природу вулканических процессов, повлекших за собой столь трагические последствия. Что было причиной извержения? Почему оно сопровождалось взрывами необычайной силы? Какова связь между ними и всесокрушающими цунами? Эти вопросы обсуждались неоднократно, но и сейчас остаются предметом дискуссии. Мы попытаемся дать на них ответ.

Во время извержения Кракатау отголоски взрывов были слышны в глубинных частях Австралийского континента, в Маниле, Шри-Ланке и даже на острове Родригес, затерявшемся в Индийском океане на расстоянии более 5 тыс. км от вулкана. Во всем мире были зарегистрированы низкочастотные воздушные волны, а в Токио, на расстоянии 5863 км от места событий, отмечалось увеличение атмосферного давления на 1,45 миллибара. Морские волны, вызванные взрывами, не только пересекли весь Тихий океан, но и проникли в Атлантику; необычная высокая волна наблюдалась в Бискайском заливе, т.е. за 17 тыс. км от эпицентра взрыва. Даже спустя месяц во всем мире можно было наблюдать красочные закаты солнца, необычный вид которых был связан с внезапным выбросом в атмосферу большого количества газов и пыли. Средняя температура воздуха в северном полушарии в этот период была на 0,5 - 0,8°C ниже

Извержение Кракатау считается

классическим примером события подобного рода не только из-за его силы, но и - с точки зрения истории науки - из-за особенностей момента, когда оно произошло. Это извержение было одним из первых, ставших объектом серьезных научных исследований, а в викторианскую эпоху научные идеи находили многочисленную и восторженную аудиторию, чего не было прежде. Так, извержение вулкана Тамбора на острове Сумбава, происшедшее ранее, в 1815 г., привлекло мало внимания, хотя и было значительно мощнее. В процессе деятельности этого вулкана в атмосферу было выброшено 150—180 км³ пемзы и пепла, тогда как выброс Кракатау — только 20 км3; кроме того, извержение Тамбора явилось причиной — либо непосредственной, либо косвенной — гибели 90 тыс. человек (см.: H. Stommel, E. Stommel, "The Year without a Summer", Scientific American, June, 1979). Однако в то время никто не увидел связи между необычно холодной погодой в Северной Америке и Европе летом 1816 г. и извержением вулкана Тамбора, которое и до сих пор еще недостаточно хорошо изу-

Зато после извержения Кракатау и Лондонское Королевское общество и правительство Голландии, колонией которой были тогда Индонезийские острова, опубликовали пространные доклады об этом событии. В докладе Лондонского Королевского общества 312 страниц из 494 было посвящено необычным оптическим явлениям в атмосфере, отмечавшимся в 1883-1886 гг., в том числе описывались внезапное наступление сумерек, появление наблюдаемой солнечной короны, помутнение атмосферы, окрашивание дисков Солнца и Луны и т.д. В докладе голландского комитета, которым руководил горный инженер и геолог Р. Вербек, подробно рассматривались геологические аспекты извержения. Члены комитета дважды посетили место событий, причем первый раз уже 15 октября 1883 г. Они нанесли на карту

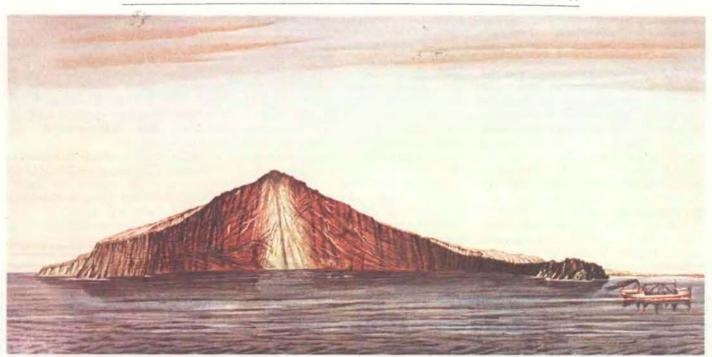
появившиеся новые острова и остатки старых, установили изменение рельефа морского дна. Вербек собрал образцы вулканических пород, которые он и его помощники впоследствии изучили под микроскопом.

Выводы, которые Вербек сделал на основании полученных разнообразных материалов, можно считать образцом блестящего научного предвидения. Например, имея только результаты замеров глубин и зная площадь района, где выпал пепел, он настолько точно подсчитал общий объем извергнутого материала, что эта величина используется и теперь без существенных поправок. Исследователь установил, что собранные им образцы являются свежими магматическими породами, и совершенно справедливо предположил, что старый вулканический конус не взорвался, а просто обрушился в море, когда запас магмы в располагавшемся под ним очаге иссяк.

ОЛНОЕ описание извержения — даже простое перечисление фактов — было бы захватывающим повествованием. Но мы сконцентрируем внимание лишь на тех явлениях, с которыми, как нам кажется, связано становление вулканических пород, поскольку лишь на этой основе возможно реконструировать события.

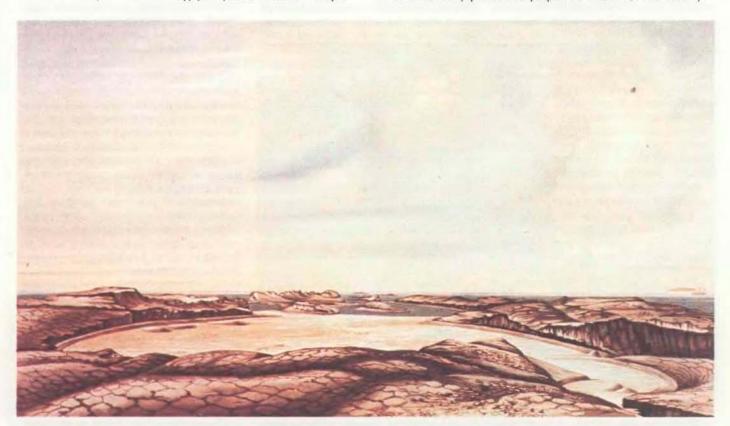
Восстановить происшедшее возможно главным образом по показаниям голландских чиновников, живших на побережье Суматры и Явы и в удаленных от моря городах, а также по свидетельствам морских офицеров, которые в тот момент несли вахту на кораблях, проходивших через Зондский пролив (несколько кораблей находилось вблизи Кракатау в момент самого сильного извержения). Описание состава и стратиграфии вулканических отложений сделано по личным полевым наблюдениям С. Селфа, одного из авторов этой статьи, и М. Рампайно, сотрудника Годдардовского института космических исследований НАСА. Мы изучили образцы этих отложений в 1979 г., ког-

ИЗВЕРЖЕНИЕ КРАКАТАУ



РАССЕЧЕННЫЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ КОНУС — это все, что осталось от острова Кракатау после извержения 27 августа 1883 г. Первоначально на острове были три вулканических конуса. Считается, что главное жерло во время событий 1883 г. располагалось между двумя северными конусами. После обрушения кровли магматического очага 2/3 острова погрузились в море. Северная часть южного конуса Раката оказалась на краю новой кальдеры практически без опоры

и впоследствии рухнула в море. Видны внутренняя структура вулканического аппарата (в том числе обеленные вследствие гидротермальных изменений породы, выполняющие центральное жерло); дайки, выполняющие магмовыводящие каналы (они выглядят как черные столбы) и проникающие в магматический очаг, переслаивание лав и пепловых слоев, которые слагают тело вулкана, и слои белой пемзы на склонах. (Хромолитография из «Album of Krakatau».)



ОСТРОВА СТЕЕРС И КАЛЬМЕЙЕР, возникшие в Зондском проливе к северу от Кракатау, представляли собой нагромождения продуктов вулканизма на морском дне, поднявшиеся выше уровня моря. Они были образованы пирокластическими потоками стелившихся по земле туч пемзы и пепла. Потоки уходили от жерла в среднем на 15 км. Слагавший их раскаленный материал выпадал на дно либо скользил по поверхности воды. Соприкосновение его с

морской водой приводило к ее взрывоподобному испарению; многие взрывы, последовавшие за извержением, имели именно такую, вторичную природу. На рисунке видна большая воронка, оставшаяся после одного из вторичных взрывов на острове Кальмейер. (Хромолитография взята из «Album of Krakatau». Это издание вышло в 1886 г., с тех пор рыхлые вулканиты были размыты и острова исчезли.) да вели работы на острове в рамках программы исследований атмосферных явлений, связанных с вулканическими извержениями.

Судя по тем навигационным картам Кракатау и прилегающих акваторий Зондского пролива, которые были составлены до извержения, на острове существовала цепь из трех вулканических конусов, вытянутая с юго-востока на северо-запад. Крупнейший из конусов, Раката, имел в высоту 813 м; он находился на южном конце цепи. Конус Данан был пониже и располагался в центре, а самый маленький конус Пербуватан - на северо-западном крае. Лавовые потоки вблизи вулканического центра Пербуватан свидетельствуют о том, что он был активен в недалеком геологическом прошлом, и, вероятно, именно с ним связаны выбросы пемзы в 1680 г. Около Кракатау находились два острова меньших размеров: Сертунг и Раката-Кечил («Маленький Раката»), которые, как и южный край самого острова Кракатау, по-видимому, представляли собой остатки вала, окружавшего вершинную часть крупной кальдеры обрушения-огромного кратера, возникшего при проседании вулканической постройки.

Когда 20 мая 1883 г. серия оглушительных взрывов возвестила, что Пербуватан после 200-летнего перерыва вновь стал активен, извержение явилось полной неожиданностью. Кракатау был необитаем, лишь изредка его посещали рыбаки и лесозаготовители. Поэтому никаких событий, непосредственно предшествовавших пробуждению вулкана, зарегистрировано не было, если не считать того, что в этот период отмечалось заметное возрастание сейсмической активности в зоне пролива, но тогда никто не связал его с деятельностью Кракатау.

Майское извержение Пербуватана сопровождалось взрывами, которые были слышны более чем за 150 км от Кракатау. На этом расстоянии длинная воздушная волна была настолько мощной, что в домах дребезжали стекла, хлопали двери, останавливались часы. раскачивались висячие лампы. Поскольку воздушная волна не сопровождалась звуковыми эффектами, многие спутали ее с землетрясением. Позже, во время катастрофического августовского извержения, отмечалась повышенная сейсмическая активность, а в мае, видимо, почти вся энергия взрывов уходила на образование воздушных волн.

Извержения Пербуватана, правда не такие сильные, продолжались с перерывами в течение мая, июня и июля. Капитан Ферзенаар, голландский топограф, посетивший Кракатау 11 августверным посетивший кракатау 11 август

та, отметил, что деревья на острове в то время еще стояли, хотя все листья с них были сорваны падавшим вулканическим пеплом, который покрыл весь остров слоем мощностью до 0,5 м. В настоящее время можно наблюдать лишь отдельные выходы мелко- и среднезернистого пепла, соответствующего этой фазе вулканической деятельности.

Относительно слабые извержения

Относительно слабые извержения происходили и в августе, а 26 и 27 числа этого месяца они завершились катастрофой. Масштабы событий этих двух дней были настолько грандиозны, что трудно даже четко представить себе, что и в какой последовательности произошло, и множество деталей наверняка упущено. Никто из очевидцев взрыва не уцелел, и реконструировать ход событий в этот критический период можно лишь на основании показаний приборов и изучения вулканических отложений. В результате сильнейших взрывов 27 августа образовались настолько мощные воздушные волны, что они были зарегистрированы манометрами на газовом заводе в Джакарте — таким образом воздушная волна как бы оставила запись о времени своего прибытия и относительной силе. Время появления и амплитуда волн цунами были записаны стоявшими в проливах приборами для измерения колебаний уровня моря (мареографами).

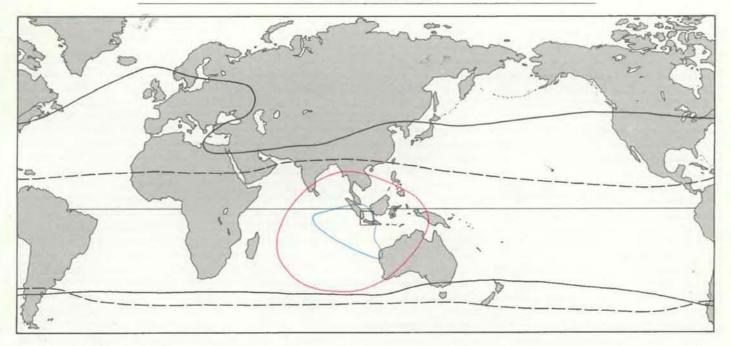
Критическую фазу извержения можно подразделить на две стадии, которые отличаются по характеру разреза и составу соответствующих им слоев вулканического пепла. 26 августа в 13 часов с десятиминутными перерывами последовала серия взрывов и над островом поднялся столб горячих газов и пыли высотой около 25 км. В процессе извержения выбрасывались прежде всего те продукты, которые могли переноситься по воздуху - пемза и вулканический пепел (они представляют собой пористые стекловатые частицы. образующиеся при остывании пузыристых капелек магмы, и различаются по размеру: частицы менее 2 мм в диаметре обычно называют пепловыми).

На островах Сертунг и Раката-Кечил за время этого извержения накопился 20-метровый слой пемзы и пепла, и даже пассажиры кораблей, которые находились в 20 км от места событий, отмечали выпадение пепла и пемзовых обломков диаметром до 10 см. Впрочем, сильный пеплопад охватил ограниченную область, а на Суматре и Яве он был очень слабым.

27 августа в 5 ч 30 мин извержение вступило в самую драматическую фазу. В течение дня продолжались мощнейшие взрывы. Самый сильный из них — тот, отголоски которого достигли острова Родригес, — произошел в 9 ч 58 мин. Взрывы сопровождались гигантской 40-метровой морской во-



КРАКАТАУ представлял собой небольшой необитаемый остров. Он располагался в 32 км к западу от самого узкого места Зондского пролива между Суматрой и Явой. В результате извержения, уничтожившего большую часть острова, погибли 30 тыс. человек, главным образом в волнах цунами, которые прокатились по прибрежным равнинам ближайших островов. На восточном берегу залива Лампунг (южный берег Суматры) несколько человек были найдены погребенными пеплом. Они, вероятно, стали жертвами пирокластических потоков, которые от вулкана распространялись по поверхности моря на расстояние до 40 км и даже на таком удалении от него все еще оставались испепеляюще горячими. На карте показаны населенные пункты, упомянутые в схеме последовательности событий на с. 74-75.



ГЛОБАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ извержения Кракатау. Показаны границы района пеплопада (синяя пиния), области, в пределах которой были слышны взрывы (красная линия) и зоны, где происходили атмосферные явления, вызванные выбросами вулканического пепла и аэрозолей в верхние слои атмосферы (пунктирная черная пиния отвечает эффектам, наблюдавшимся до 22 сентября, а сплошная — до

конца ноября). Пепел покрыл площадь в 700 тыс. км² — самый большой известный ореол. Во время сильных извержений над Зондским проливом образовались плотные тучи мелкого пепла, которые ослабляли звуки взрывов, поэтому на побережьях Явы и Суматры люди не слышали грохота и не ожидали цунами; вместе с тем отголоски взрывов докатились до глубинных областей Австралии.

лной, которая произвела опустошение в близлежащих прибрежных районах.

На этой стадии извержения наряду со столбом газа и пыли сформировались пирокластические потоки. Извержение 27 августа происходило быстро. Во время каждого взрыва высоко в воздух выбрасывалось огромное количество пемзы и пепла. Однако облако вулканических продуктов было настолько плотным, а сами они настолько тяжелыми, что их не могло далеко унести воздушными потоками и они почти сразу же выпадали обратно на землю. Здесь пемза и пепел образовывали стелившиеся по склонам палящие тучи, которые под действием силы тяжести и увлекаемые струями раскаленных газов быстро устремлялись в сторону моря. Часть пепла проникала в верхние слои атмосферы вследствие конвекционных движений воздуха над локальным источником тепла. Такое пепловое облако могло подниматься на высоту до 40 км и рассеивать пепел по обширным пространствам. На берега пролива спустились сумерки; выпадение пепла отмечалось даже на Кокосовых островах, в 1850 км от Кракатау.

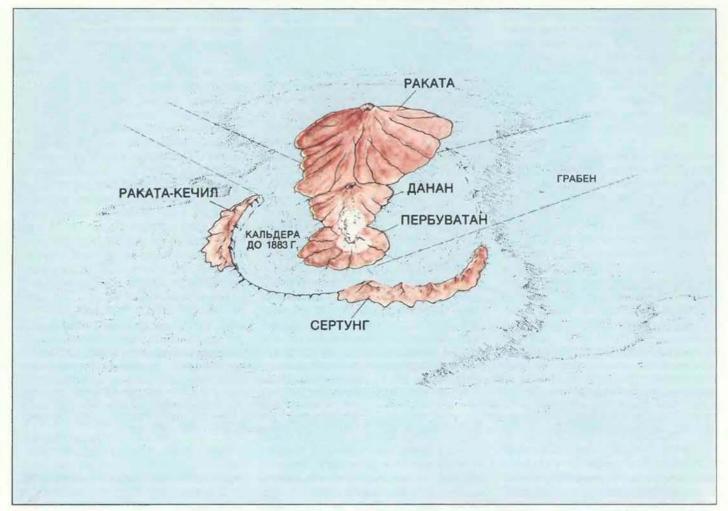
Из пирокластических потоков образовались породы, называемые игнимбритами, которые и составляют большую часть материала, извергнутого Кракатау. В пирокластических потоках вещество было насыщено раскаленными газами, поэтому его плотность и вязкость были невелики, благодаря чему материал мог переноситься на зна-

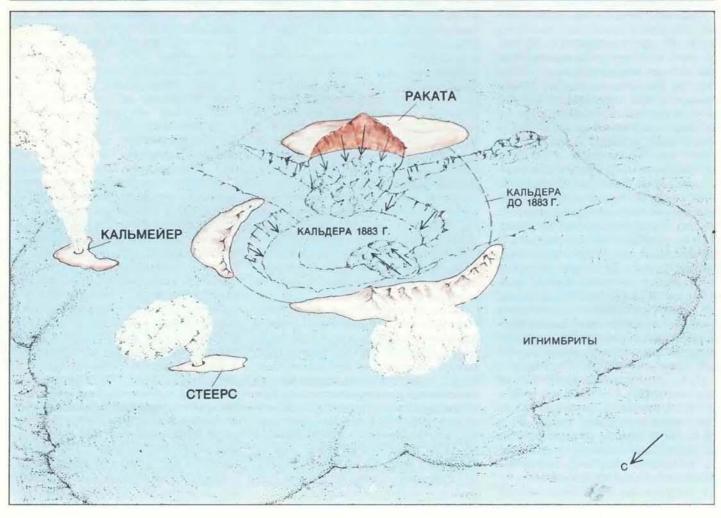
чительные расстояния за счет кинетической энергии, приобретенной в процессе падения. Даже на расстоянии 15 км от жерла, располагавшегося, вероятно, между Дананом и Пербуватаном, мощность игнимбритовых покровов достигала 40 м. Пирокластические потоки двигались преимущественно на север и северо-восток, покрывая острова и морское дно своеобразным игнимбритовым «одеялом». Их распространению на юг препятствовал высокий конус Раката. Судя по сообщениям о пожарах, вызванных раскаленным пеплом в районе Калимбанга на юге Суматры, некоторые потоки тянулись в северном направлении на расстояние до 40 км. Не вызывает сомнения, что эти случаи возгорания были связаны с горизонтальными потоками, а не с обычным пеплопадом, поскольку есть свидетельство очевидца, наблюдавшего, как горячие газы и пепел проникали через щели в полу дома.

28 августа голландское судно "Gouverneur-Generaal Loudon" предприняло попытку пересечь Зондский пролив севернее Кракатау от Телукбетунга (Суматра) в направлении Джакарты (Ява). На некоторых участках пролив неожиданно оказался мелководным и был буквально забит плавающими пемзовыми «островками». Кораблю пришлось отклониться от своего обычного курса, повернуть на запад, а не на восток и в конце концов пройти к югу от Кракатау — приблизительно над внешним краем игнимбритового по-

крова, отложившегося на морском дне.

В детальных гидрографических схемах, составленных Вербеком и его коллегами в середине октября, были зафиксированы изменения топографии, вызванные извержением. Северная часть острова (2/3 его площади) исчезла. Береговая линия островов Сертунг и Раката-Кечил выдвинулась в море на 3 км вследствие скоплений пемзы и пепла. Даже сохранившаяся южная часть Кракатау оказалась под игнимбритовым покровом. Однако большая часть вулканических продуктов все же была снесена в море. Некоторые участки Зондского пролива, глубина которых еще недавно достигала 20-60 м, теперь были заполнены игнимбритами. К северу от Кракатау в проливе появились два новых острова, названные впоследствии Стеерс и Кальмейер. В пределах древней и теперь уже полузасыпанной кальдеры образовалась новая, на южном краю которой глубина достигала 290 м. Распределение отложений пирокластических потоков на южном и восточном склонах Ракаты наводит на мысль, что они сформировались еще до образования кальдеры, а значит, обрушение кровли магматического очага произошло на заключительной стадии извержения. При этом большая часть острова погрузилась в море. Конус Раката оказался прямо на южной кромке кальдеры, но его северная часть практически не имела опоры и впоследствии сползла в море. Красиво рассеченный вулканический ко-





нус — вот и все, что осталось от острова Кракатау.

ДНОЙ из причин, которые до сих пор мешали разобраться в событиях на Кракатау, было недостаточное внимание к физическим свойствам вулканических продуктов, и особенно отложений пирокластических потоков. Вербек исследовал петрографию вулканитов, а К. Стен (он посетил этот район в 1927 г., когда произошло извержение нового подводного вулкана в пределах старой кальдеры 1883 г.) занялся их стратиграфией. Х. Уильямс из Калифорнийского университета в Беркли в 1941 г. сделал важное открытие, выяснив, что отложения пемзы были сформированы пирокластическими потоками, а не путем переноса частиц по воздуху. Однако лишь в последние 15 лет вулканологи стали осознавать важность таких физических особенностей продуктов вулканизма, как размер частиц и их внутренняя структура. Применительно к вулканитам Кракатау эти свойства были впервые изучены Селфом и Рампайно, которые посетили остров в 1979 г.

Собственно, неудивительно, что физические свойства вулканитов не исследовали раньше. Не только игнимбриты, отложившиеся в море, но и острова Стеерс и Кальмейер оказались недоступны для наблюдения, так как были быстро эродированы и исчезли под водой. Такая же участь постигла продукты вулканизма, выпавшие и на ранее существовавшие острова. Уже через два месяца после извержения Вербек обратил внимание на каньонообразные овраги глубиной до 40 м, врезавшиеся в толщу вулканических пород. Позже неровности рельефа скрылись под пышной тропической растительностью. В настоящее время собрать образцы пород можно лишь в нижней части прибрежных утесов, так что без лодки при этом не обойтись.

М ЗУЧЕНИЕ физических свойств пород совершило переворот в наших представлениях об извержении и позволило ответить на первый из поставлен-

ных в начале статьи вопросов: что явилось причиной извержения? Мощные вулканические взрывы вызываются внезапным высвобождением летучих компонентов из магмы, которая насыщена или даже пересыщена газами, такими, как углекислый газ и водяной пар. Выделение летучих может происходить двумя способами. Иногда давление в магматическом очаге возрастает постепенно по мере отделения газов от расплава, и когда оно превзойдет прочность вмещающих пород, магма пробивает себе выход на поверхность. Помимо этого, в результате тектонических процессов, таких, как землетрясения и перемещения блоков пород по разломам при землетрясениях, происходит приоткрывание магматического очага и мгновенная дегазация магмы. Поскольку нет данных об активных тектонических движениях, которые могли бы вызвать извержение Кракатау, то причину его надо искать в самом магматическом очаге. По мнению Вербека, катастрофа произошла в результате того, что в магматический очаг проникли морские воды. Одно время его гипотеза была очень популярна, и в конце концов аналогичным образом стали объяснять и все более ранние взрывы. Вулканические взрывы, обусловленные взаимодействием воды и магмы, называются фреатомагматическими и имеют место в случаях, когда магма разогревает и взламывает породы вблизи уровня грунтовых вод или когда морские воды какимто образом просачиваются в магматический очаг. В процессе смещения морских или грунтовых вод с магмой происходят сильнейшие взрывы, и на значительных площадях отлагаются характерные слои очень мелкозернистого вулканического пепла. Однако облик вулканитов Кракатау иной, и нельзя со всей определенностью утверждать, что в этом случае все происходило так, как считал Вербек.

Смешавшись с большим количеством морской воды, магма может остыть, поэтому и продукты извержения, в том числе пепел, при фреатомагматических взрывах остывают

СТРОЕНИЕ ОСТРОВА КРАКАТАУ до и после извержения, восстановленное по гидрографическим схемам того времени. Остров состоял из трех вулканических конусов: Раката, Данан и Пербуватан. Расположенные поблизости острова Сертунг и Раката-Кечил, а возможно, и южный край самого Кракатау представляли собой остатки краевого вала древней кальдеры. Судя по подводным грабенам (впадинам) вблизи острова, земная кора в этом месте испытывала растяжение и в конце концов образовался магматический очаг. В 1883 г. большая часть запасов магмы изверглась в форме пирокластических потоков, оставивших на дне моря игнимбритовый покров мощностью 40 м. Потоки распространялись в основном на север и северо-восток, поскольку высокий конус Раката препятствовал их движению на юг. Кое-где игнимбритовые толщи выступили из-под воды и сформировали два новых острова: Стеерс и Кальмейер. Когда запас магмы иссяк, произошло обрушение кровли магматического очага и образовалась новая кальдера, а значительная часть острова исчезла. Кальдера, возникшая в 1883 г., вероятно, имела удлиненную форму, поскольку контролировалась разломами. (Рисунки выполнены без соблюдения масштаба.)

раньше, чем в любом другом случае. Во время полевых исследований появились сомнения, могло ли так быть на Кракатау. С одной стороны, стекловатые пемзовые обломки ранних извержений, которые заносило ветром на остров Раката-Кечил, удаленный на 2,3 км от предполагаемого жерла, были настолько раскаленными и мягкими, что на месте отложения они спекались. Таким образом, предварительный контакт продуктов извержения с водой маловероятен. С другой стороны, Ж. Уокер из Гавайского университета в Маноа утверждает, что, судя по некоторым разностям игнимбритов, магма действительно охлаждалась водой. В крупных обломках пемзы в центральной части пористость была выше, чем на периферии. Кроме того, обломки имели зону закалки, которая образуется при внезапном охлаждении породы. Все эти особенности позволяют предположить, что обломки сначала разогрелись сильнее, чем основная масса пепла, и остывали от внешних зон к внутренним. Однако возможно, что морские воды охлаждали продукты вулканизма, когда те выбрасывались из жерла, или что закалка игнимбритов происходила в момент их отложения. (В большинстве случаев игнимбриты встречаются сейчас на уровне моря.)

Таким образом, нет однозначных геологических доказательств того, что в магматическом очаге или в магмовыводящем канале Кракатау магма непосредственно контактировала с морской водой. И все-таки, поскольку жерло вулкана располагалось вблизи уровня моря, ограниченные фреато-магматические взрывы могли происходить, особенно с вечера 26 августа, хотя прямого контакта воды и магмы в очаге при этом не было. Этих взрывов оказалось достаточно для ослабления кровли магматической камеры, что повлекло внезапную дегазацию магмы и выделение огромного количества летучих. Однако мы полагаем, что взаимодействие воды и магмы было второстепенной причиной извержения. На главную же его причину указывает сам характер пемзовых обломков. Их стекловатое пористое вещество содержит небольшое количество кристаллов минералов, образование которых началось в магматическом очаге еще до извержения. (Вулканическое стекло образуется, когда магма остывает относительно быстро; ее медленное остывание способствует росту кристаллов.) Состав пемзы и любых кристаллических включений в ней зависит от состава исходного расплава. Магма по своему составу может быть базальтовой — темной и относительно бедной кремнеземом, промежуточной андезитовой и дацитовой и риолитовой — обогащенной SiO, и имеющей

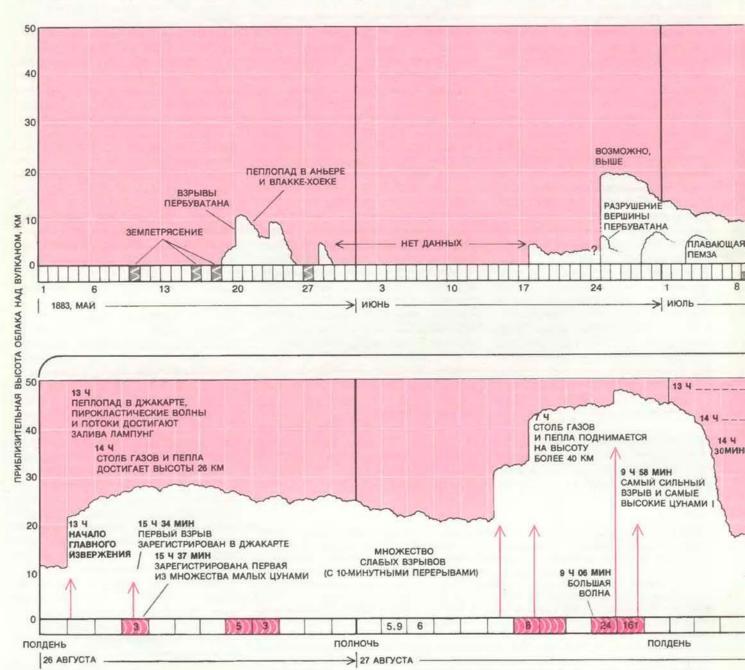
светло-серую окраску. Светлоокрашенные магмы называются кислыми; они состоят из минералов с высокой концентрацией кремнезема — кварца и полевого шпата. Темноокрашенные магмы называются основными; в их составе встречаются минералы, обогащенные магнием и железом, например пироксены.

Большая часть вулканитов Кракатау представляет собой светлоокрашенную сравнительно плохо раскристаллизованную дацитовую пемзу. Однако порой облик породы совершенно иной: в обломках чередуются полосы темного и светлого стекла, а некоторые целиком сложены темным материалом. Темноокрашенная пемза отличается от светлой и по составу. Такое смещение

различных пемз на Кракатау отнюдь не редкость, и это наводит на мысль, что оно произошло в результате перемешивания горячей базальтовой магмы с риолитовой или дацитовой.

Проникновение свежих порций базальтовой магмы в камеру, заполненную дапитовой магмой, может вызывать конвективную циркуляцию, так плотность кислых расплавов вследствие их состава меньше, чем плотность основных. Считается, что дацитовая магма в магматическом очаге расслаивается. Самые верхние слои имеют риолитовый состав, а более плотные и несколько более основные по составу разности накапливаются в нижних частях очагов. Такая система устойчива. С. Спаркс и Г. Хапперт из

Кембриджского университета предполагают, что в результате внезапного поступления в очаг больших порций горячей базальтовой магмы нижние слои могут перегреваться и становиться изза этого менее плотными, чем вышележащие слои кислой магмы. Это также порождает конвективную пиркуляцию. Возможно, однако, что горячая основная магма первоначально находилась в состоянии покоя на дне очага, и перемешивание произошло, только когда она стала остывать: по мере остывания базальтовой магмы от нее отделялись летучие компоненты и кристаллизовались минералы, а плотность остывавшего расплава при этом падала до тех пор, пока не становилась меньше, чем у вышележащих слоев кислой магмы.



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СОБЫТИЙ при извержении Кракатау восстановлена по дневникам и записным книжкам голландских чиновников и других лиц, проживавших на ближайших островах; по записям в вахтенных журналах,

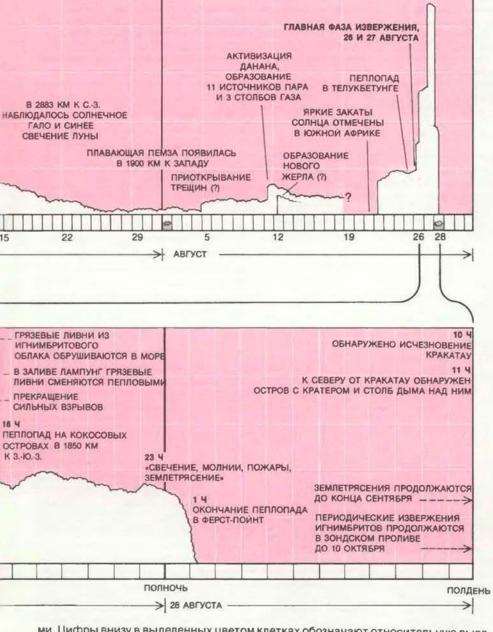
сделанным офицерами кораблей, проходивших через Зондский пролив; по данным манометра на газовом заводе в Джакарте и мареографов, установленных вдоль пролива, а также по описаниям, оставленным случайными свидетеля-

Почему же это конвективное перемешивание сопровождалось эксплозивными процессами? В целом излияние базальтовой магмы не влечет за собой таких взрывов, как извержение кислой магмы. Основные расплавы имеют пониженную вязкость и поэтому легко дегазируются, а из кислых вязких лав высвобождение газов происходит лишь тогда, когда давление последних сильно возрастает и происходит их взрывообразный выброс. С. Тернер из Австралийского национального университета, а также Спаркс и Хапперт экспериментально доказали, что при перемешивании магмы в очаге важная роль принадлежит летучим компонентам, поступающим в очаг с новыми порциями вещества. Базальтовая магма может быть насыщена летучими, которые удерживаются в ней благодаря высокому давлению на тех глубинах, где она образовывалась. Из-за конвективного перемешивания такой насыщенный газами расплав оказывается на верхних уровнях магматического очага, где окружающее давление ниже. Поэтому по мере подъема расплава он быстро дегазируется, давление в магматической камере резко возрастает и создаются условия для взрыва.

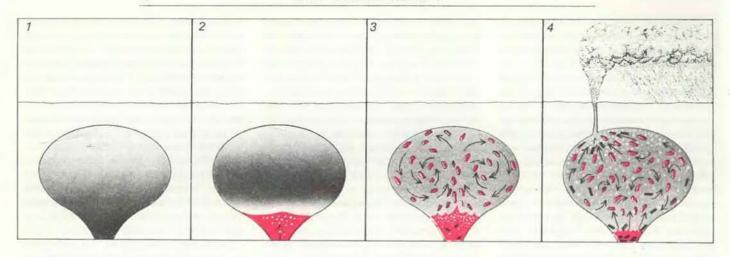
В пользу гипотезы о связи взрывов Кракатау с перемешиванием вещества в магматическом очаге свидетельствуют наблюдения голландского горного инженера Шуурмана, который побывал на Кракатау 27 мая 1883 г., т.е. вскоре после первых извержений. В

своем весьма подробном отчете Шуурман отмечал, что на острове поверх слоя светлой «пемзы» мощностью 30 см залегала пачка темного «пепла» мощностью 60 см. Он собрал и изучил образцы продуктов извержения. Пемзовые обломки по составу отвечали дацитам, которые выбрасывало позже, во время августовских событий, а вот темный пепел имел базальтовый состав. Поэтому вполне вероятно, что выбросы небольшого количества материала базальтового состава происходили вскоре после первых извержений дацитовой магмы. Таким образом, уже в мае в магматическом очаге находились расплавы, резко контрастные по своему составу. Это является еще одним аргументом в пользу предположения о том, что августовские взрывы были вызваны поступлением свежих порций базальтовой магмы и перемешиванием вещества в магматической камере. Специальные эксперименты, поставленные Спарксом и Хаппертом, тоже показали, что такой механизм извержения вполне вероятен. Возможно, он действовал и при других извержениях, например при извержении вулкана Аскья в Исландии в 1875 г. и вулкана Санта-Мария в Гватемале в 1902 г., так как в обоих случаях тоже были обнаружены скопления пемзовых обломков различного состава. И все-таки одну проблему, связанную с извержением Кракатау, гипотеза смешения расплавов объяснить не в силах. Даже если перемешивание магмы повлекло за собой начало извержения, остается неясным, почему некоторые взрывы были необычно сильными.

ТЕПЕРЬ попробуем ответить на второй вопрос и разобраться, почему извержение Кракатау сопровождалось множеством сильных взрывов. Возможно, что некоторые из них были как бы вторичны и связаны с проникновением горячих пирокластических потоков в море. Документально описано лишь несколько подобных случаев, и остается неясным, что при этом происходит. Перемещается ли поток по дну моря или по поверхности воды? Повидимому, реализуются обе возможности, и все зависит только от характера самого потока. Когда он достигает моря, материал, слагающий нижнюю более плотную его часть — пемзовые обломки, мелкозернистые стекловатые частицы и куски более древних невулканических пород, - вероятно, сразу погружается в воду. В верхней части потока общая плотность взвешенных пепловых и пемзовых частиц, участвующих в турбулентных движениях раскаленных газов, временами оказывается меньше, чем плотность воды, и эта часть потока распространяется по поверхности моря. По мере затухания турбулентных движений большая

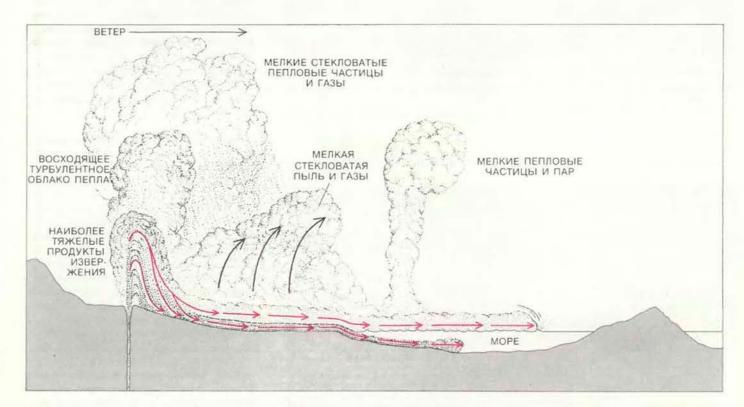


ми. Цифры внизу в выделенных цветом клетках обозначают относительную высоту цунами. Относительная сила взрывов отражена высотой стрелок. Показаны лишь некоторые из множества взрывов, сопровождавших извержение.



СМЕШЕНИЕ МАГМ разнообразных составов, вероятно, явилось причиной извержения Кракатау. Состав магматических расплавов изменяется от базальтового через андезитовый и дацитовый до риолитового, обогащенного кремнеземом. Чем меньше в магме кремнезема, тем она тяжелее. В магматическом очаге под Кракатау, видимо, сначала произошло разделение магмы на слои различной плотности, которые некоторое время пребывали в равновесии (1). Внезално в нижнюю часть магматического очага произошел приток свежих порций базальтовой магмы, имевшей более высокую температуру и насыщенной летучими компонентами (2). Это привело к перегреву вышележащего слоя дацитовой магмы; плотность расплава в нем понизилась и стала мень-

ше, чем в верхних слоях. В результате остывания базальтовой магмы в ней начались кристаллизация минералов и отделение летучих компонентов, а сама магма становилась менее плотной, чем нижние слои дацитовой магмы. Эти процессы привели к перемешиванию расплава в магматическом очаге (3). Так как насыщенная газами базальтовая магма достигла более высоких уровней очага, где давление было сравнительно низким, происходило бурное отделение летучих компонентов. При этом давление в магматической камере резко возрастало. Наконец, оно превысило прочность вышележащих пород и началось извержение (4). На такой механизм извержения указывает смешанный состав пемзовых обломков, найденных в районе Кракатау.



ПИРОКЛАСТИЧЕСКИИ ПОТОК — это насыщенная раскаленными газами масса рыхлого вулканического материала, вязкость и плотность которой меньше, чем у твердого материала. В нижней части потока обломки более тяжелые, и там движение ламинарное, а в верхней его части преобладают более легкие частицы, и течение здесь турбулентное. Когда такой поток вторгается в море, более тяжелый материал погружается в воду, а в верхней части потока средняя плотность вещества иногда оказывается ниже, чем у воды, и поэтому оно скользит по поверхности моря. Когда газовые компоненты рассеиваются, плотность остающегося материала возрастает и большая его часть выпадает на дно моря. В конце концов остаются только клубы пара и вулканического пепла. Раскаленные продукты извержения при соприкосновении с водой вызывают вторичные взрывы. Доказано, что в результате процессов сортировки материала как в самом потоке, так и при рассеивании пепла при вторичных взрывах образуются бедные кристаллами, очень тонкозернистые пепловые отложения. Р. Вербек обнаружил такие породы вблизи Кракатау.

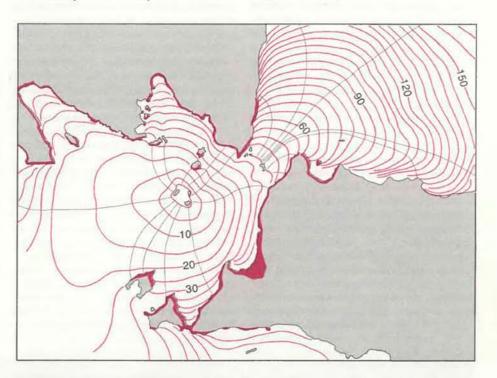
часть твердого материала выпадает из потоков, которые в этом случае состоят только из газов и пылевидных частиц. Такой поток, видимо, и проник в городок Калимбанг на берегу залива Лампунг.

Характер пирокластического потока, образовавшегося 6 тыс. лет назад при извержении вулкана Койя на острове Кюсю в Японии, показывает, что при соприкосновении раскаленных игнимбритов с морской водой в определенных условиях могут происходить взрывы любой мыслимой мощности. Изучив отложения в районе Койя, Уокер пришел к выводу, что такие взрывы вызывают пеплопад на огромной территории в тысячи квадратных километров. Образующиеся скопления пепла отличаются тем, что их мощность и размеры слагающих их частиц мало меняются с расстоянием от центра извержения (это является признаком необычайной силы взрывов).

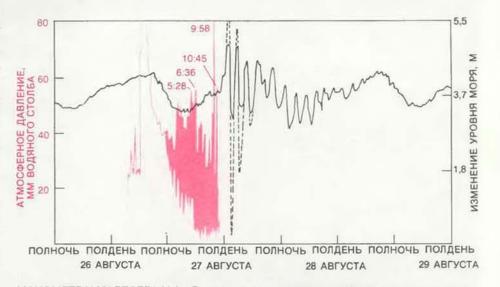
Судя по вулканитам Ротоеху, извергшимся 50 тыс. лет назал из вулкана Окатаина в Новой Зеландии, такие пепловые массы содержат мало кристаллов. По мнению Уокера, кристаллы отделяются от пемзовых частиц в результате естественных процессов сортировки: более плотные кристаллы выпадают в море, а пемзовая пыль уносится. Отделение кристаллов от пылевых частиц продолжается при взрывах, которые сопровождают проникновение потоков в море. Порожденные взрывами мощные турбулентные вихри уносят более легкую пыль.

Конечно, спустя 100 лет трудно судить, что произошло, когда пирокластические потоки Кракатау проникли в море. Однако на сделанных очевидцами рисунках острова Кальмейер, одного из двух островов, образованных игнимбритовыми потоками, изображены округлые воронки. Эти воронки удивительно напоминают кратеры от вторичных взрывов, сопровождавших проникновение пирокластического потока в озеро Спирит при извержении вулкана Сент-Хеленс в мае 1980 г. Кроме того, Вербек отмечал, что на острове Себеси самый верхний слой пепла состоял исключительно из очень мелких стекловатых частиц и, вероятно, образовался в результате пеплопада после мощных вторичных взрывов. Поэтому мы считаем, что, хотя катастрофические взрывы, происшедшие 27 августа в 9 ч. 58 мин, были связаны с выбросами магмы, которые сформировали пирокластические потоки, все-таки некоторые из мощных взрывов во время этого извержения объясняются проникновением пирокластических потоков в море.

Вызванный взрывами гигантские цунами завершили картину разрушений. Хотя эти огромные волны изучались довольно много, причина их образования все еще служит предметом дискуссий. Цунами обычно сопровождают землетрясения; видимо, их вызывают внезапные вертикальные перемещения участков морского дна. В 1960-х годах было доказано, что во время извержения Кракатау цунами возникли при образовании кальдеры проседания. Теперь обсуждается, когда именно и насколько быстро произошло обрушение кровли магматического



КАРТА ДВИЖЕНИЯ ЦУНАМИ составлена по данным регистрации времени прибытия волн мареографами, установленными в различных точках Зондского пролива. Цунами рассматриваются здесь отдельно от вторичных волн. Скорость цунами рассчитывалась по глубине пролива на пути следования волны. Цветные изолинии построены по данным о траектории и времени появления нескольких цунами (серые линии), и по ним можно определить время движения цунами от Кракатау до любого пункта побережья. Области, где произошло наводнение, закрашены.



МАНОМЕТР И МАРЕОГРАФЫ в Джакарте зарегистрировали мощные взрывы и последовавшие за ними цунами. Манометр на газовом заводе зафиксировал сильную воздушную волну (цветная кривая). Широкий пик, приходящийся на 26 августа, к извержению отношения не имеет; вероятно, он связан просто с повышением давления газа в газохранилище, в котором стоял манометр. Мареограф в местечке Таньунг-Приук (бухта Джакарты) зарегистрировал прибытие морских волн (черная кривая). Некоторые волны оказались столь высоки, что прибор зашкаливало. Продолжающая эти места кривой пунктирная линия проведена на основании косвенных наблюдений, позволяющих оценить перемещение уровня моря (например, насколько заливало лестницы в гавани). Самый большой пик соответствует волне цунами, достигшей Джакарты в 12 ч 16 мин, а следующие за ним пики — вторичным волнам, поднятым цунами в бухте и проливах.

очага и прелшествовало ли появлению гигантской волны временное понижение уровня моря над вновь образовавшейся кальдерой. Вопрос о времени обрушения остается открытым, но возможно, что кальдера образовалась уже при завершении извержения и, может быть, даже после возникновения первых цунами. Что касается понижения уровня моря, то однозначного мнения на этот счет тоже пока нет. На многих участках Зондского пролива появление волн сопровождалось, как правило, повышением уровня моря, но достоверно известно несколько случаев понижения. Надо помнить, однако, что в большинстве случаев приборы не могли зафиксировать этого явления, поскольку находились слишком далеко от места событий.

Известны три варианта причин образования цунами. Некоторые исследователи считают, что их возникновение обусловлено извержениями подводных вулканов, в процессе которых как бы выталкивается столб воды. В 1884 г. Вербек предположил, что при извержении Кракатау гигантские волны поднялись, когда северная часть конуса Раката соскользнула во вновь образовавшуюся кальдеру. Кроме того, он считал, что внезапное перемещение воды в результате «выпадения» в море огромных масс вулканического материала также могло породить цунами. Наиболее вероятной причиной цунами нам кажется именно внезапный выброс в море колоссального количества раскаленного вещества в виде пирокластических потоков.

Решающее значение для выяснения природы волн имеет сопоставление данных о времени их прихода в различные пункты Зондского пролива с событиями на Кракатау. Хронологический анализ сложен по двум причинам. Вопервых, не все волны представляли собой настоящие цунами, т.е. волнообразные движения, затрагивающие только массы воды. Во-вторых, оказалось трудно синхронизировать события на Кракатау с моментом регистрации воздушной волны приборами на газовом заводе в Джакарте и с появлением цунами в Зондском проливе.

Судя по имеющимся данным о времени прихода морских волн в удаленные от вулкана пункты, большинство из них перемещалось необычайно быстро, почти как атмосферные. Скорость распространения морской волны пропорциональна глубине моря. Точнее говоря, она равна квадратному корню из произведения ускорения силы тяжести на глубину. Путь от Кракатау до Гонолулу волна прошла всего за 11 ч. Это значит, что средняя глубина океана должна была бы составлять 17 км, а на самом деле она значительно меньше - около 4 км. Кроме того, волны, сопровождавшие извержение, зарегистрированы даже там, где их появление вообще совершенно неожиданно, например на противоположной стороне островной цепи, которая для волны является непреодолимым препятствием. На эти парадоксы сразу обратили внимание, но в течение многих лет они оставались необъясненными.

В 1955 г., когда вошли в практику микробарографы, способные улавливать самые незначительные колебания атмосферного давления, М. Эвинг из Ламонтской обсерватории и Ф. Пресс из Массачусетского технологического института обнаружили, что сейсмические волны, распространяющиеся в недрах Земли, могут возбуждать и колебания в атмосфере. В 1967 г. Д. Харкридер (Университет Брауна) и



АНАК-КРАКАТАУ («Сын Кракатау») — новый вулканический конус, образовавшийся почти на месте старого конуса Данан в кальдере, которая осталась после событий 1883 г. Он

показался над водой в конце января 1928 г. С тех пор вследствие его деятельности большая часть старой кальдеры заполнилась обломочными породами. (Снимок М. Краффта.)

Ф. Пресс показали, что часть энергии низкочастотных колебаний в атмосфере, которые вызываются ядерными испытаниями, передается океану, и вдали от района взрыва появляются волны. Механизм возникновения волн при ядерных взрывах очень сложен: количество передаваемой энергии сильно зависит от резонанса, т.е. в конечном счете от собственных частот колебания океана и атмосферы. Тем не менее обший принцип взаимодействия этих сред формулируется довольно просто. Можно считать, что океан «реагирует» на чередующиеся повышения и понижения атмосферного давления таким образом, чтобы поддерживалось гидростатическое равновесие: при увеличении атмосферного давления океан «мелеет», а уменьшение давления вызывает повышение его уровня, так что суммарное давление столбов воздуха и воды на единицу площади дна моря остается более или менее постоянным. Харкридер и Пресс сочли возможным провести аналогию между ядерным и вулканическим взрывами и предположили, что этим путем можно объяснить возникновение необычных цунами при взрыве Кракатау.

Потребовалась длительная и кропотливая работа, чтобы разобраться в механизме истинных цунами, нахлынувших на берега Зондского пролива. Следовало учитывать данные только тех приборов, которые регистрировали приход цунами, а не вызванных ими вторичных волн, отмеченных в заливах, где стояло большинство мареографов. Затем необходимо было проследить весь путь цунами от места их возникновения, принимая во внимание рефракцию волн, т.е. изменение их скорости, в зависимости от изменения глубины проливов. В 1981 г. И. Иокаяма из Вулканологической обсерватории в Усу (Япония) проанализировал рефракцию волн, распространявшихся от Кракатау, и составил карту их маршрутов. Он пришел к выводу, что некоторые небольшие цунами, возможно, образовались при проникновении продуктов извержения в море, но самая высокая волна, достигшая Джакарты 27 августа в 12 ч 16 мин, скорее всего, была связана с подводным извержением.

мнения придерживается Дж. Лэттер (Департамент научных и промышленных исследований, Новая Зеландия). Он попытался максимально точно установить последовательность событий, исходя из показаний манометра на газовом заводе и мареографа, установленного в бухте Джакарты. Зная время прибытия мощной воздушной волны в Джакарту, он рассчитал момент взрыва Кракатау, имея в виду, что эта волна достигла города через 8 мин после катастрофы, а разница времени между Джакартой и островом составляет 5 мин. Согласно карте,

предложенной Иокаямой, волна цунами преодолела расстояние от Кракатау до Джакарты за 2 ч 25 мин. Сопоставив времена взрывов и график движения цунами, Лэттер продемонстрировал, что разница в показаниях мареографа и манометра составляла 3,5 мин. Восстановив точную хронологию событий, он доказал полное соответствие времен прибытия в Джакарту воздушных волн и морских волн, вызванных второстепенными взрывами.

В некоторых случаях, однако, морские волны не сопровождались колебаниями атмосферы и, очевидно, не были связаны со взрывами. Самая мощная воздушная волна, докатившаяся до отдаленных уголков Индийского океана, достигла Джакарты в 10 ч 08 мин. Если принять во внимание время движения волны и прочие факторы, получается, что взрыв Кракатау произошел в 9 ч 58 мин. Большая морская волна была зарегистрирована мареографом в Джакарте почти в тот же самый момент, когда манометр на газовом заводе отметил приход воздушной волны. Судя по тому, что время движения морской волны от Кракатау до Джакарты составляет приблизительно 2 ч 25 мин, а по мнению Лэттера, никаких особых событий на Кракатау около 7 ч 40 мин утра не происходило, большая морская волна, видимо, была вызвана колебаниями в атмосфере. Настоящая же волна цунами, возникшая вследствие взрыва, случившегося в 9 ч 58 мин, имела значительно большую амплитуду, чем ложные цунами, и появилась в Джакарте только в 12 ч 16 MHH.

Начиная с этого момента особенно важными становятся расчеты времени. Получалось, что волна, прибывшая в 12 ч 16 мин, возникла в районе вулкана в 9 ч 45 мин, т.е. за 13 мин до главного взрыва. Лэттер был уверен в точности своих расчетов и не сомневался в том, что есть связь между самыми мощными воздушной и морской волнами. Поэтому он сделал вывод, что цунами образовались не в районе Кракатау, а ближе к бухте Джакарты — на расстоянии от вулкана, эквивалентном 13-минутной разнице во времени. Затем, используя карту Иокаямы, он показал, что волна, вызванная взрывом в 9 ч 58 мин, возникла в 10-15 км от Кракатау. Эта точка отвечает примерно внешнему краю вновь образовавшегося острова Кальмейер. Аналогичным образом Лэттер установил, что по меньшей мере три гигантские волны, связанные с извержением Кракатау, были обязаны своим происхождением вторжению в море колоссальных пирокластических потоков, один из которых и сформировал остров Кальмейер. Эти цунами - крупнейшие из волн, о которых известно, что они были вызваны соприкосновением пирокластических

потоков с морской водой. Впрочем, подобные явления мы находим и в истории извержения других вулканов. Так, в 1980 г. сотрудники Геологической службы США Ю. Кенль и С. Свенсон сообщили, что 9-метровая волна, которая прокатилась по заливу Инглиш на Аляске после извержения вулкана Августин в 1976 г., образовалась, когда в воды залива ворвался пирокластический поток.

ОСЛЕ извержения 1883 г. на том же месте, где находился конус Данан, возник новый вулкан - Анак-Кракатау («Сын Кракатау»). Сначала он был скрыт под водой, а в конце января 1928 г. показался над поверхностью моря. Продукты более поздних извержений — лавы и пирокластические породы - постепенно заполнили северную часть кальдеры 1883 г. Центры вулканической активности со временем смещаются на юг, и очень может быть, что они приурочены к тем же разломным структурам, вдоль которых располагались вулканические сооружения прежнего острова Кракатау. В конце концов может возникнуть новый остров, который, как и старый, протянется с северо-востока на юго-запад. Подобно птице Феникс, остров Кракатау возрождается из пепла.

ИЗдательство МИР предлагает:

птицы

Перевод с английского

Сборник статей из журнала "Scientific American", выпущенный в США отдельной книгой, посвящен основным проблемам орнитологии. В нем изложены современные данные о полете, миграции и навигации, эволюции и поведении, физиологических особенностях, пении птиц, а также о взаимоотношениях человека и птиц в современном мире.

Книга предназначена для биологов всех специальностей, в первую очередь для орнитологов, зоологов, экологов, специалистов по охране природы, преподавателей и студентов, а также для всех лиц, интересующихся жизнью птиц.

1983 г., 42 л. Цена 4 р. 70 к.



Социальная археология мегалитических памятников

Переход от простых могил к сложным погребальным сооружениям в эпоху неолита на территории Западной Европы совпадал, по-видимому, с появлением централизованной политической власти

КОЛИН РЕНФРЮ

ПОСЛЕДНИЕ два десятилетия в археологии наметился переход от концепции воссоздания прошлого в рамках истории культуры к концепции «процесса», которая стремится объяснить события прошлого, а не только описать их. Как считает Кент В. Флэннери из Мичиганского университета, некоторые археологи стран Нового Света «в конечном счете интересуются не индейцем, стоящим за каждым древним предметом, а скорее системой, стоящей и за индейцем, и за предметом: какие другие компоненты имеет эта система, какой источник энергии приводит ее в движение ... и так палее.».

Различие между двумя подходами к археологии становится еще более очевидным на исторических материалах Старого Света, связанных с изучением европейских мегалитов (от греческого мегас — «большой» и литос — «камень»). Эти внушительные памятники вот уже более ста лет занимают воображение исследователей. Они встречаются во всех странах Европы, прилегающих к Атлантическому океану, от побережья Средиземного моря до Швеции, и наличие во многих мегалитах человеческих костей показывает, что они служили в качестве гробниц. Некоторые из мегалитов весьма просты по конструкции, хотя и их вряд ли было легко построить. Например, памятники, называемые дольменами, иногда состоят из трех или четырех больших валунов, несущих на себе массивную плиту — «крышу» («ключевой мень»). В Европе имеется около 50 тыс. дольменов, и их сооружение потребовало усилий огромного числа людей, чтобы сгруппировать валуны, построить земляные пандусы и установить «ключевые камни». Другие монументы гораздо сложнее по конструкции, чем дольмены, и на их сооружение были затрачены сотни тысяч человекочасов. Такими, например, являются огромные «коридорные могилы» в Нью-Грейндже (Ирландия) и в Маэс-Хауи на Оркнейских островах.

Даже первые исследователи мегали-

тических памятников в Европе признавали, что они были очень древними и предшествовали эпохе Римской империи. Размеры и сложность таких построек, как «коридорные могилы», заставляли, однако, тех же самых исследователей считать, что мегалитические сооружения были созданы варварскими народами древней Европы. Отсутствие в них металлических предметов свидетельствовало о том, что их создали простые земледельцы «новокаменного века» (неолита), но до появления методов абсолютной датировки об их реальном возрасте можно было только гадать.

Действительно ли эти постройки отражают влияние более высокой культуры, проникавшей с Крита и из Греции на запад до Испании и затем на север вдоль Атлантического побережья? Благодаря этому предположению быстро сформировалась «диффузионистская» точка зрения, согласно которой варварская Европа просто заимствовала достижения древних цивилизаций Ближнего Востока. Ученые представители «культурно-исторической школы» — даже попытались картографировать распространение этих предполагаемых средиземноморских влияний.

Появление радиоуглеродного метода датировки привело эти диффузионистские взгляды к полному краху. Очень скоро было установлено, что мегалитические памятники нескольких областей Европы примерно на 2000 лет старше, чем любой из их предполагаемых средиземноморских прототипов. Самые ранние из них, например в Бретани, могут быть датированы 4500 г. до н.э. Не оставалось никаких сомнений в том, что эти сооружения — древнейшие каменные постройки, все еще сохранившиеся во многих уголках мира, - имели местное, европейское происхождение.

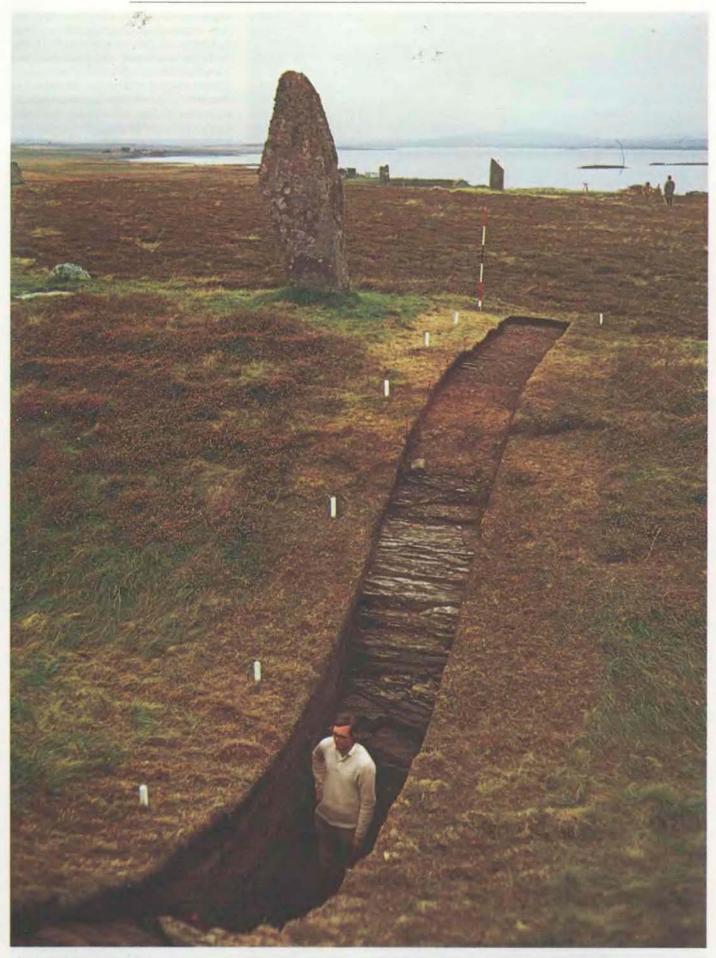
ТЕРЕД археологами тогда встала двойная проблема: необходимо было не только найти какое-либо объяснение по поводу происхождения этих мо-

нументов, но и высказать свое мнение относительно их назначения, что могло бы сделать данные памятники более понятными для нас. Различные исторические реконструкции, которые предлагались до сих пор, считаются теперь неудовлетворительными. Вместо этого исследователь рассуждает сейчас с позиций «процесса», рассматривая систему, стоящую и за монументами, и за обществами, которые их строили. Сегодня археологи все еще почти не располагают сведениями о том, почему эти мегалитические памятники возникли именно там, где они сейчас находятся, а не повсеместно в Европе. Но ученые по крайней мере начали думать о мегалитах и в социальном плане.

Хотя, конечно, эти сооружения могли иметь и другие функции, большинство из них использовалось в качестве гробниц. В некоторых областях, особенно на территории Великобритании, есть древние каменные монументы и иного рода, как, например, огромные каменные кольца Стонхенджа, Авибери и Кольцо Брогара на Оркнейских островах. В Бретани огромное скопление камней, стоящих параллельными рядами длиной свыше 1 км, обнаружено в Карнаке. Результаты анализа на содержание углерода-14 и разнообразие форм монументов в различных областях указывают на то, что они могли иметь пять или шесть совершенно независимых друг от друга мест происхождения. Одним из таких мест определенно была Бретань. Другое находилось в Португалии а, возможно, в Испании, третье - в Дании, четвертое, видимо, в Ирландии и еще одно, вероятно, в Южной Англии. Г. Дэниэл из Кембриджского университета высказал предположение, что некоторые из этих каменных сооружений заимствовали свою форму у деревянных домов местных жителей и их предшественников. Для некоторых случаев это действительно вполне допустимое предположение, но оно никак не объясняет причину появления подобных памятников.

Столкнувшись с рассматриваемой проблемой, археологи задались вопро-

СОЦИАЛЬНАЯ АРХЕОЛОГИЯ МЕГАЛИТИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ



РОВ, ОКРУЖАЮЩИЙ КОЛЬЦО БРОГАРА, один из двух крупнейших памятников (хенджей) позднего неолита на главном острове Оркнейского архипелага. Раскопки проводились

экспедицией под руководством автора статьи. По оценкам исследователей, на сооружение рва длиной 330 м было затрачено 80 тыс. человеко-часов.

сом: какова была роль этих разнообразных памятников в обществах, которые их создавали? Частично этот вопрос касается и реальных функций указанных монументов. Каким образом их использовали, как они помогали людям древнего общества? Ответ на поставленные вопросы помог бы понять и характер данных обществ. Какими они должны были быть, чтобы такие монументы заняли в их жизни свое осмысленное место? Оба этих вопроса выходят за рамки рассмотрения «полезности» древних каменных сооружений в узком материалистическом или функционалистском смысле; очевидно, что с самого начала эти гигантские памятники во многих случаях должны были иметь огромное символическое значение. Они наверняка служили источником гордости их создателей и, возможно, предметом зависти со стороны соседей. При социальном подходе к этим вопросам невольно затрагиваются такие человеческие качества, как гордость и соперничество, солидарность и конкуренция.

Как бы ни были интересны эти два вопроса, мы прежде всего должны выяснить, в каком конкретном месте или регионе сооружались интересующие нас памятники. В разных областях монументы отличаются друг от друга, и

поэтому здесь необходимо использовать специальный метод интерпретации закономерности их размещения. Одна из первых областей, которую следует изучить, - древний Уэссекс, те несколько графств Южной Англии, где находятся Стонхендж, Авибери и множество менее значительных памятников. Интересующий нас период - от 4000 г. до н.э., времени возникновения здесь земледельческих общин, 2000 г. до н.э., времени появления технологии обработки бронзы, когда строительство мегалитических монументов полностью прекращается. До недавних пор об оседлых поселениях на этой территории было известно очень немного.

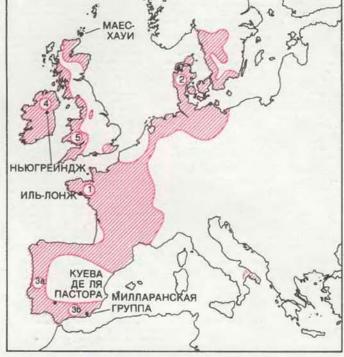
РЕВНЕЙШИЕ монументы Уэссекса в лействительности не являются мегалитическими: они не имеют крупных камней. Тем не менее это погребальные памятники. Они представляют собой длинные, продолговатые холмы, до 70 м длиной, известные как «длинные курганы». Сооруженные из мелового грунта, они являются в некотором смысле местным эквивалентом каменных гробниц, характерных для более западных областей и более редких в самом Уэссексе. Поскольку первые исследователи этих сооружений не

обнаружили в них погребальных камер, они сначала были названы длинными бескамерными курганами. Однако более поздними раскопками было установлено, что большинство из них первоначально имело внутри деревянные конструкции, разрушившиеся еще в древности. Подобно мегалитическим камерным гробницам, указанные курганы, несомненно, служили местом захоронения умерших, но количество погребенных в них в большинстве случаев невелико. Кроме того, скелеты там часто бывают неполными, и это дает основание предположить, что труп умершего хоронили где-то на стороне для естественного разложения, с тем чтобы подготовить его для вторичного захоронения в кургане (обычай, хорошо документированный для разных культур во многих уголках земного шара).

Погребальный инвентарь в длинных курганах весьма беден, как, впрочем, почти во всех европейских мегалитических гробницах. Эти находки чаще всего ограничиваются набором обычных неолитических вещей: керамика, полированные каменные топоры и кремневые орудия. За исключением гробниц Испании и Португалии, едва ли делалась хоть одна попытка поместить в могилу обильно орнаментированные предметы, такие, как каменные скульпредметы, такие, как каменные скульпредметы, такие, как каменные скульпредметы.



ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ мегалитов в Европе по побережью Атлантического океана по данным, которыми располагали археологи еще до появления радиоуглеродного метода датировки. Предположение основывалось на допущении, что могильники Крита и Греции с характерными для них земляными крышами появились раньше, чем такие же сооружения Италии и Сицилии, которые в свою очередь легли в основу домегалитических каменных могильников на Мальте и в Сардинии. Впоследствии распространение мегалитов происходило через Иберийский полуостров



на запад Франции, в северную Германию, частично в Скандинавию и наконец в Англию, Уэлс, Шотландию и Ирландию (карта слева). С появлением метода абсолютной датировки, с помощью которого удалось установить, что некоторые мегалитические памятники на территории Франции были построены примерно в 4500 г. до н.э. и что памятники на отдаленных Оркнейских островах на несколько столетий старше египетских пирамид, диффузионистская точка зрения уступила свое место мнению о местном происхождении памятников (карта справа).

туры или изделия из камня, украшенные резьбой или каким-либо иным способом. Таким образом, можно утверждать, что как в Уэссексе, так и на более широкой территории эти гробницы не служили местом демонстрации личного богатства, а предметы, помещенные в них, отнюдь не свидетельствуют о высоком общественном положении умерших. Здесь заметно отличие от находок в Уэссексе следующего периода — раннебронзового века. В течение ближайших после 2000 г. до н.э. столетий в индивидуальные могилы клали богатый погребальный инвентарь, включая предметы из бронзы, янтаря и золота.

Вторая категория земляных уэссекских памятников известна как «лагерь с дамбами». Большинство таких лагерей представляют собой почти круглые плошалки диаметром около 200 метров, окруженные концентрическими кольцами рвов. Рвы несплошные, они имеют невскопанные участки - проходы, и теперь стало ясно, что именно валы, насыпанные из выкопанного мелового грунта, а не рвы имели первоначально основное оборонительное значение. Недавние раскопки Роджера Мерсера из Эдинбургского университета в Хамблдон-Хилле в Дорсетшире выявили валы, которые были защищены стоящим впереди бревенчатым палисадом. Кроме того, Мерсер обнаружил во рвах человеческие черепа и обломки костей, что позволяет пересмотреть наши прежние гипотезы о назначении этих памятников как мест для собраний широко разбросанных общин из прилегающих областей. Мерсер предполагает, что эти укрепленные площадки служили в качестве «центров для помещения трупов ... обширных, зловонных, открытых кладбищ, молчание которых нарушалось только назойливым криком воронья».

И длинные курганы, и лагеря с дамбами относятся к раннему периоду британского неолита, примерно от 4000 до 3500 г. до н.э. Позднее, около 3000 г. до н.э., появился совершенно иной вид памятников типа «хендж» (термин, происходящий от знаменитого уэссекского памятника Стонхендж). Однако большинство хенджей не являются кольцами из крупных камней. Они представляют собой круглую площадку, окруженную рвом и тщательно насыпанным валом, который находится обычно на внешней стороне рва. Как правило, они имеют один-два входадамбы, а вся планировка выглядит гораздо более правильной, чем у прежних лагерей с дамбами. Раскопки в местах расположения ряда хенджей (особенно в Даррингтон-Уолсе), проведенные Джеффри Уэйнрайтом, инспектором древних памятников при Департаменте экологии Великобритании, показали, что некоторые из них включают в себя



СИЛБЕРИ-ХИЛЛ, огромный могильный холм искусственного происхождения, расположенный близ Авибери в Уилтшире. На снимке, сделанном аэрофотосъемкой, он виден в центре. Это самое крупное рукотворное сооружение в Европе до промышленной революции. По подсчетам, на его создание было затрачено 18 млн. человеко-часов.

и прочные круглые деревянные здания. Хенджи иногда очень велики по размерам и достигают 500 м в диаметре.

Наконец, в этом кратком обзоре уэссекских памятников следует упомянуть о самом Стонхендже, с его кольцом из камней, связанных друг с другом перекрытиями, и о гигантском искусственном земляном холме Силбери-Хилл близ каменного кольца Авибери, гораздо более крупного, чем Стонхендж. Вплоть до эпохи промышленной революции Силбери-Хилл оставался крупнейшим сооружением Европы, сделанным руками человека.

ЛЯ ТОГО чтобы разобраться в этом Собилни материала, можно использовать два аналитических метода. Первый метод учитывает пространственное расположение, второй рассматривает абсолютную величину памятников. Оба метода могут дать сведения о наличии иерархии, а это в свою очередь может отражать социальные ранги, лежащие в основе самого общества. Например, когда памятники Уэссекса были нанесены на карту (картографированы), стало очевидно, что 132 длинных кургана почти в 20 раз превосходят по своей численности семь лагерей с дамбами. Карта показала также большую разбросанность длинных курганов. Они разделялись, по-видимому, на пять групп, и в пределах каждой из них имелся соответственно один лагерь с дамбами. (Два лагеря выпадают из общего числа, так как не могут быть

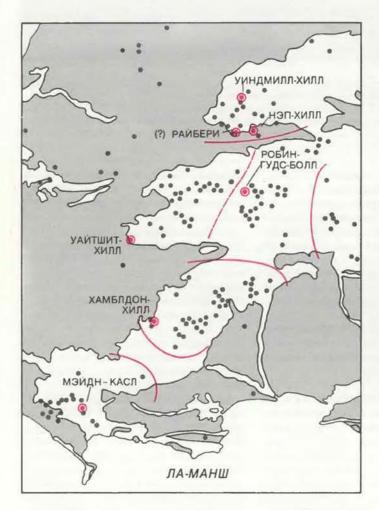
уверенно связаны ни с одной из групп длинных курганов.) Таким образом, можно уже говорить об умеренной пространственной иерархии, если считать каждый лагерь с дамбами центром небольшого района, определяемого одной группой длинных курганов. Если посмотреть на распространение крупных хенджей (тех, что свыше 200 м в днаметре), то выявится, что их пространственное размещение совпадает с размещением лагерей с дамбами. Каждый лагерь с дамбами в более позднее время заменяется (опять-таки за двумя исключениями) одним крупным хенлжем.

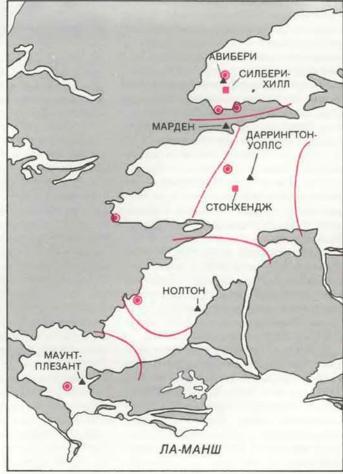
Этот анализ можно продолжить, если от пространственного распространения обратиться к размерам памятников. Например, длинные курганы имеют довольно скромную величину. Расчет трудоемкости их сооружения (основанный на простых способах вычисления объема перенесенной земли с учетом использования самых примитивных орудий труда, таких, как деревянные лопаты и кирки из рога оленя) показывает, что для насыпания каждого кургана потребовалось от 5 тыс. до 10 тыс. человеко-часов, что примерно равно объему работы, который могли выполнить 20 человек за 50 дней. Трудоемкость строительства лагерей с дамбами на целый порядок больше и составляет от 40 тыс. до 100 тыс. человеко-часов. Огромные хенджи эпохи позднего неолита требовали еще больших затрат труда, на их сооружение уходило до 1 млн. человеко-часов. Уэйнрайт вычислил, что на строительство хенджа Даррингтон-Уоллс, например, ушло всего 900 тыс. человекочасов. Если рассматривать самые крупные хенджи, такие, как Силбери-Хилл и Стонхендж, то, по подсчетам Ричарда Аткинсона из университетского колледжа в Кардиффе, трудовые затраты на их сооружение (включая работу по транспортировке камней в Стонхендж) составили соответственно 18 млн. и 30 млн. человеко-часов, т.е. величину седьмого порядка.

Таким образом, помимо очевидной пространственной иерархии существует еще и иерархия трудовых затрат, выраженная в человеко-часах. Несколько лет назад было высказано

предположение, что можно воссоздать социальные структуры на основе корреляции их с пространственно-энергетическими иерархиями и что для позднего неолита можно соответственно говорить об обществах, стоящих на стадии «вождества» или «племенных союзов», центрами которых были пять больших уэссекских хенджей. О приблизительных размерах их территории можно судить, разделив прилегающую местность на районы, в каждом из которых крупный хендж будет доминирующим пунктом. При столь значительных затратах труда неизбежен вывод о наличии центральной организующей силы и ряде других выявленных этнографами черт, характерных для обществ уровня племенных союзов.

Наиболее существенной чертой является, конечно, существование ранжированного общества (с вождем во главе), жившего за счет системы, основанной на установленном вождем перераспределении продукции, включая и некоторые предметы первой необходимости. Характерно, что племенные союзы имели более высокую плотность населения и более четко выраженные территориальные границы, чем менее развитые общества. У них были центры, которые координировали социальную, религиозную и хозяйственную деятельность; они демонстрировали рост специализации, так же как и способность организовать и использовать рабочую силу для крупных строительных работ.





ПОГРЕБАЛЬНЫЕ ПАМЯТНИКИ Уэссекса в Великобритании сгруппированы в основном на нагорьях, лишенных лесной растительности (белые зоны), которые предпочитали земледельцы эпохи неолита, первыми заселившие данную территорию. Их могильные курганы (черные точки) представляли собой длинные холмы, и поэтому их нельзя отнести к мегалитам. Когда они представлены 5—6 группами холмов (области, очерченные красными линиями), то каждая из четырех групп с меньшим числом холмов включает один лагерь с дамбами (кружки с точкой), в котором, по-видимому, производились предварительные захоронения, и затем кости, оставшиеся от трупов, переносили в близрасположенный длинный холм (карта слева). Найденный в длинных холмах погребальный инвентарь — немногочисленный и включает самые простые предметы быта. Это говорит о том, что об-

щество земледельцев было социально однородным. Когда пятью веками позже в этой части Англии стали строить круглые земляные хенджи иного вида, некоторые наиболее крупные из них (треугольники на карте справа) находились в тех же местах, где раньше были лагеря с дамбами с близлежащими сгруппированными длинными холмами. Памятники типа хенджей, которые редко включают мегалиты, сделаны искуснее, чем более ранние лагеря с дамбами. По этому факту можно предположить, что общество, которому служили эти памятники, было уже с более сложной социальной структурой. Это предположение подтверждается наличием двух крупнейших памятников в данном районе (отмечены прямоугольниками) — Стонхендж и к северу от него Силбери-Хилл.

Н ЕКОТОРЫЕ из этих черт уже можно приписать государствам, оставившим памятники типа Даррингтон-Уоллс или Авибери в их центре. Следующим шагом в развитии общества является дальнейшая централизация: слияние или соединение прежде независимых территорий отдельных племенных союзов в федерацию, возможно со Стонхенджем в качестве ее ритуального центра и Силбери-Хиллом в качестве ее крупнейшего памятника. На основе проведенных в Силбери-Хилл раскопок Аткинсон предположил, что этот памятник был сооружен не более чем за два года. Даже при наличии людей, работающих ежедневно по восемь часов в течение 300 дней в году, для строительства большого кургана потребовался бы отряд из 3700 человек, и каждого члена этого отряда нужно было кормить и содержать с помощью ресурсов данного племенного союза.

Такой подход в духе «социальной археологии» заставляет рассматривать более крупные памятники с точки зрения их четко выраженного социального содержания. Они отражают динамику процесса социального развития, когда простые общества раннего периода позднее превращаются в централизованные социальные единицы; последние должны иметь большую плотность населения и, как следствие, более крупные памятники (большие хенджи и Силбери-Хилл), которые мы можем считать продуктом обществ, стоявших на уровне племенных союзов, в отличие от меньших памятников типа длинных курганов. Это особенно важно, поскольку большинство европейских мегалитических сооружений может быть близко сопоставлено с длинными курганами. Они также являются погребальными памятниками, часто на их постройку затрачивалось не менее 10 тыс. человеко-часов, и многие из них территориально столь же разбросаны, как и длинные курганы. Крупные памятники встречаются значительно реже: хенджей и каменных колец на европейском континенте почти нет (хотя, если судить по размерам, огромные линии камней в Карнаке, несомненно, принадлежат к категории Стонхенджа).

ПОНЯТИЯ о масштабе и пространственной организации вновь становятся полезными, когда более внимательно смотришь на длинные курганы Уэссекса или на каменные монументы того же возраста, такие, как мегалитические гробницы на о. Арран близ западного побережья Шотландии. Если провести линии посередине между памятниками, чтобы разделить местность на отдельные области (процесс, который географы называют формированием многоугольника Тиссена), то обнаружится, что, за немногими ис-

ключениями, вся территория разделится на области с приблизительно равной продуктивностью. Например, на Арране каждый такой многоугольник содержит по крайней мере небольшую часть весьма ограниченных по площади пахотных земель острова. Не считая тех случаев, когда памятники стоят парами, они территориально рассредоточены. Если к тому же учесть и размеры монументов, то окажется, что здесь еще нет признаков иерархической структуры: по крайней мере в пределах величины одного порядка эти гробницы имеют приблизительно одинаковые размеры. Здесь господствует уравнительный принцип.

Логично предположить, что эти памятники пяти- или шеститысячелетнего возраста отражают существование в прошлом небольших, довольно разбросанных групп земледельцев, живших в общинах, еще не знавших централизации. Несомненно, что эти группы были связаны брачными, а следовательно, и родственными узами (а, возможно, также и товарообменом), но политически они вполне могли быть независимыми друг от друга. Племенные связи между ними, первоначально довольно ограниченные, возникают на следующем этапе - при строительстве огороженных мест с дамбами.

Мы можем представить себе как умерших со всех двадцати, или около того, территорий длинных курганов в районе Хамблдон-Хилл, так живо описанном Мерсером, привозили туда (в лагеря с дамбами) для гниения, а кости некоторых из них брали позднее для захоронения в местных длинных курганах. Поскольку территории длинных курганов составляют по плошали в среднем около 10 кв. км, то, приняв, что каждому человеку в условиях простого земледельческого хозяйства отводилось от 10 до 15 гектаров земли, можно вычислить, что на одной такой территории жило от 20 до 100 человек. Эти небольшие группы можно рассматривать как «сегментные общества», если использовать термин социальной антропологии. Каждый сегмент — это экономически и политически автономная группа людей, самообеспечивающаяся и осуществляющая эффективный контроль над своими производственными ресурсами.

Исходя из этого допущения, мы можем значительно определеннее судить и о гораздо более претенциозных мегалитических камерных гробницах. Они были, конечно, местом захоронений, причем, за вероятным исключением длинных курганов с деревянными камерами, они были местом коллективных захоронений. Но группа из предполагаемого числа людей, даже если это была постоянная группа, занимающая один и тот же участок земли на протяжении столетий, фактически не нужда-

лась в монументальной гробнице для захоронения в ней умерших. Проще было похоронить их побыстрее, без лишних хлопот. Поэтому монументальность камерных гробниц логически не объясняется их погребальным назначением. Это наводит на мысль о другом их назначении. Как считает Эндрю Флеминг из Шеффилдского университета, это были «гробницы для живущих», иначе говоря, их монументальный характер является результатом намеренных действий живых членов общества и должен служить задачам этого общества. Для объяснения роли этих камерных гробниц могут быть выдвинуты три различные, но непротиворечивые гипотезы, которые взаимно дополняют друг друга.

ЧТО КАСАЕТСЯ этих претенциозных памятников, то, как можно предположить, первую из функций, которую они выполняли, можно назвать «социальной связью». В тяжелые времена, особенно в условиях избыточного населения, община могла функционировать более эффективно, если всячески подчеркивалось и всеми ощущалось ее социальное единство. Строительство такого прочного памятника являлось крупным символическим актом, направленным как раз на утверждение этого единства. Следует напомнить, что в ту пору у людей почти не было других долго сохраняющихся творений человеческих рук: даже дома сооружались обычно из дерева и других быстро разрушающихся материалов. Когда же создавался такой памятник, он на данной территории становился наиболее крупным искусственным сооружением. Иногда, по-видимому, даже имело место известное соперничество между соседними территориями за то, чтобы иметь у себя самый крупный и наиболее выдающийся социально значимый объект подобного рода.

Далее можно утверждать, что эти памятники следует рассматривать не просто как гробницы, а как общественные центры. Зачастую они могли служить местом собраний, а может быть, местом отправления всех религиозных обрядов, связывающих общину как целое с ее далекими предками и с умершими недавно. Сооружение такого центрального памятника могло дать видимое выражение общественным стремлениям местной группы, содействуя обеспечению ее постоянной сплоченности и, таким образом, выживанию.

Вторую, тесно связанную с первой, идею выдвинул Артур А. Саксе из Университета шт. Огайо. Он указывал на взаимосвязь такой похоронной деятельности общины с утверждением ее права на земли предков. По его словам, «степень, до которой отдельная корпоративная группа имеет право использовать и/или контролировать жизненно

важные, но ограниченные ресурсы, достигается и/или узаконивается благодаря прямому наследованию от умерших (т.е. прямой связи с предками). Такие группы будут утверждать свой формальный контроль над соответствующими территориями исключительно на основе захоронения там своих умерших». Право собственности на общинную землю утверждается, таким образом, сохранением на ней гробницы предков. Суммируя обе точки зрения, можно сказать, что эти памятники служили территориальными знаками сегментных обществ.

В-третьих, Кристофер Тилли из Университета в Лунде (Швеция) выдвинул еще одно предположение о назначении этих памятников, не противоречащее двум упомянутым гипотезам. Тилли подчеркивает роль погребального ритуала вместе с другими ритуалами жизненного цикла в «узаконивании частных интересов» внутри общества.

Даже в рамках сравнительно однородного, сегментного, организованного на основе родовых связей общества, считает он, существуют классовые противоречия, особенно между старейшинами группы и младшими ее членами. Он доказывает, что контроль над ритуалом, значимость которого подчеркивалась такими памятниками, закреплял постоянное господство старцев. Подобный аргумент вряд ли существенно дополняет уже высказанное мнение о том, что эти памятники символизировали и облегчали социальную связь, но в идее Тилли, безусловно, содержится иной аспект.

Каждое из трех приведенных объяснений является функционалистским. Иначе говоря, ни одно из них эффективно не объясняет происхождение мегалитов, но зато показывает, какую полезную и многозначительную роль играли рассматриваемые памятники в тех обществах, которые их сооружали.

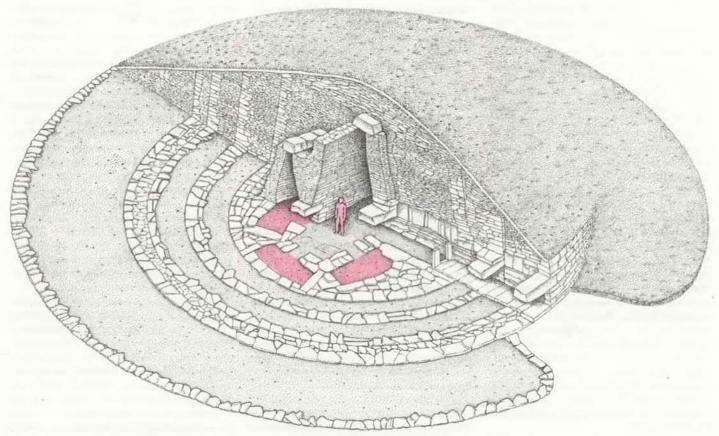
ЧЕТЫРЕ МЕГАЛИТИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКА, два хенджа и две камерные гробницы среди восьми крупнейших древних сооружений, найденных на Оркнейских островах. Группа археологов вместе с автором статьи произвела повторное вскрытие камерной гробницы в Куантернессе, построенной примерно в 3200 г. до н.э. Они также раскопали по периметру ров вокруг Кольца Брогара — памятника типа хенджа, возведенного примерно за 3000 лет до н.э. и за два столетия до того, как была построена камерная гробница Маэс-Хауи. Простота гробницы в Куантернессе по сравнению с другими древними постройками говорит о том, что ее создателями была небольшая группа земледельцев.

Это указание на многозначительность должно быть по меньшей мере одним из компонентов любого удовлетворительного объяснения о назначении данных памятников, и эти объяснения, конечно, должны делаться в терминах «социальной археологии».

Конечно, такие идеи трудно проверить прямым способом, каким проверяются обобщения или гипотезы в точных науках. Тем не менее они могут быть изучены еще раз в свете новых результатов полевых работ. Именно с этой целью и были проведены полевые исследования на Оркнейских островах, у самой северной оконечности Британских островов в 1972-1974 гг. На Оркнейских островах, по сути дела, нет деревьев, и такой ландшафт сохраняется там со времен последней ледниковой эпохи из-за постоянных сильных ветров. Местная горная порода представляет собой хрупкий, слоистый песчаник, который древнее население использсвало в качестве строительного материала вместо дерева. Поэтому все оркнейские здания были построены из песчаника и хорошо сохранялись. Земледельческие работы на островах до недавних пор велись вручную, и поэтому груды камней, которые являются теперь указателями погребенных в земле древних построек, не были разруше-

РЕВНОСТИ Оркнеев известны давно, и особенно два памятника типа хенджей с кольцами из вертикально стоящих камней - поселение Скара-Брей и великолепная коридорная могила Маэс-Хауи. Скара-Брей, раскопанное в 30-е годы Г. Чайлдом, представляет собой прекрасно сохранившееся селение времен первых земледельцев острова (около 3000 г. до н.э.). Сохранились стены домов, поднимающиеся на высоту до двух метров, и некоторые предметы внутреннего убранства кровати и шкафы из камня. Маэс-Хаун имеет внушительную каменную камеру, в которую ведет коридор. Художественная обработка камня здесь отличается высоким качеством, а сами камни подобраны так тщательно, что лишь с большим трудом можно представить, что при сооружении могильника не использовались никакие металлические орудия. Согласно старой диффузионистской теории о происхождении мегалитов, Маэс-Хауи, будучи самым красивым памятником Оркнейских островов, считался также и древнейшим из всех мегалитов; это, как полагали, первое вдохновенное произведение новых пришельцев, когда они высадились здесь и реализовали свои высокие идеи, сохранившиеся непоколебимыми в течение десятилетий жизни на дальнем севере.

Ко времени начала работ на Оркнейских островах еще не было известно ни



ГРОБНИЦА В КУАНТЕРНЕССЕ показана в разрезе. Примерно так выглядела ее северная половина сразу после постройки. Человеческая фигура в центре позволяет судить о размерах этого древнего сооружения. Протяженность внешнего каменного обрамления 45 м, а высота гробницы в центре первоначально была примерно 3,5 м. Три из шести

боковых камер видны в плоскости разреза (бледно-розовый цвет). Экспедиция с участием автора статьи полностью расчистила одну из боковых камер и частично — главное помещение. По расчетам исследователей, число захоронений в гробнице достигало четырехсот.

одной даты, установленной радиоуглеродным методом, и одна из задач археологов состояла в том, чтобы получить датируемые образцы органического вещества, подходящие для установления возраста оркнейских камерных гробниц. Главным объектом, выбранным для раскопок, была гробница в Куантернессе. Из одного отчета, написанного в начале XIX в., было известно, что эта гробница в то время вскрывалась, а затем опять была закрыта. Наша экспедиция надеялась найти данные о времени сооружения гробницы, а после дальнейших исследований внести свой вклад в изучение оркнейских памятников в целом. Примерно в то же время в Скара-Брей начались новые раскопки, возглавляемые Дэвидом Кларком из Национального музея древностей Шотландии, а Грэхэм Ритчи из Королевской комиссии по древним и историческим памятникам Шотландии приступил к работам на одном из оркнейских хенджей - Камней Стеннесса.

Крыша гробницы в Куантернессе рухнула, и входить в камеру пришлось сверху. Как показывает схематический план XIX в., в гробнице имелось шесть боковых камер, ведущих в прямоугольную главную камеру, со входом-коридором с восточной стороны, ныне за-

крытом. Однако этот старый отчет не подготовил нас к восприятию великолепной, регулярной каменной кладки, которая делает эту постройку одним из наиболее впечатляющих сооружений того периода из существующих гделибо. Мы не ожидали такого нагромождения человеческих костей и костей животных, которые обнаружились, когда сверху был удален мусор. Пол главной камеры был покрыт расчлененными человеческими скелетами, разбросанными вокруг в большом беспорядке вместе с обломками керамики и другими предметами. Чтобы извлечь крохотные фрагменты предметов и костей, включая кости рыб и птиц, весь материал из гробницы нужно было промыть водой через грохот-сетку. После расчистки главной камеры удалось войти в боковые комнаты гробницы. Когда соединяющие их коридоры были расчищены, стало очевидно, что эти боковые склепы никогда не были закрытыми: согнувшись, можно было проползти внутрь и, выпрямившись во весь рост, встать в совершенно целой каменной комнате с красивым перекрытием, просуществовавшим более 4000 лет. Позднее с помощью радиоуглеродного анализа удалось установить, что гробница использовалась примерно с 3200 г. до н.э., и поэтому

возраст данного сооружения превышал 5000 лет: оно было на несколько веков древнее самой ранней пирамиды Египта.

В гробнице находилось очень мало вещей — обломки 34 глиняных горшков, три шлифованных каменных ножа и кусок кремня неправильной формы со следами ретуши. Кости животных, очевидно от кусков мяса, которые приносили в гробницу как дары умершему или в качестве пищи для использования во время погребальных ритуалов, были остатками туш 7 овец, 18 ягнят и 5 быков. Были также найдены кости красного оленя и других диких млекопитающих, 35 птиц различных видов и 7 видов рыб.

ПРОВЕДЯ анализ скудных фрагментов человеческих костей, Дж. Честерман из Шеффилдского университета пришел к поразительным выводам. По 12 600 найденным кусочкам он установил, что частично раскопанная главная камера гробницы и один из полностью исследованных боковых склепов содержали останки по меньшей мере 157 трупов. Как и в уэссекских длинных курганах, тела мертвых наверняка помещали в другом месте для естественного разложения перед тем, как их кости собирали для окончательного захо-

ронения в гробнице. Если учесть 20% площади, еще не раскопанной в главной камере, и не вскрытые пять боковых склепов, то гробница в Куантернессе содержала, вероятно, останки не менее четырехсот человек.

Установленное по костям соотношение числа мужских и женских трупов (54: 46) достаточно близко к равенству, чтобы можно было предположить о каких-либо ограничениях на захоронение в гробнице на основе половой принадлежности. За исключением младенцев, в гробнице представлены все возрастные группы. Классификация по возрастному показателю позволяет сделать вывод, что средняя продолжительность жизни не превышала 20-25 лет. И хотя такие пределы для человеческой жизни явно невелики, это не противоречит данным, установленным по находкам при раскопках других неолитических памятников, и можно предполагать, что найденные здесь скелеты принадлежали умершим всей живущей на данной территории общины. Судя по данным радиоуглеродного анализа, указанная гробница использовалась около 550 лет, и, следовательно, численность общины не превышала 13—20 человек.

Пока продолжались раскопки в Куантернессе, мы смогли изучить и другие оркнейские памятники. Подсчеты показали, что затраты труда на сооружение гробницы и окружающих ее камней в Куантернессе составили около 7 тыс. человеко-часов (без учета степени мастерства строителей). Очевидно, что большинство других оркнейских гробниц с камерами, которые распространены особенно широко, требовали примерно таких же трудовых затрат.

При исследовании другого хенджа — Кольца Брогара — было установлено, что ров, окружающий хендж, был не выкопан в земле, а искусно вырезан в скалистом грунте, и на это потребовалось около 80 тыс. человекочасов (без учета сооружения круга из стоящих камней). К сожалению, достоверно датировать этот памятник не удалось. Наилучшая оценка его возраста (около 3000 г. до н.э.) была сделана Ритчи с помощью радиоуглеродного анализа, проведенного на менее крупном, но близком по характеру сооружении - Камнях Стеннесса. Из рва, окружающего большую гробницу Маэс-Хауи, которая, как мы предполагаем, была построена около 2800 г. до н.э., нам удалось взять материалы для радиоуглеродного анализа. Поскольку строительный камень для сооружения Маэс-Хауи нужно было транспортировать на значительное расстояние, трудоемкость создания этого памятника по величине скорее ближе к трудоемкости сооружения Кольца Брогара, чем гробницы в Каунтернессе.

Эти разнообразные данные позволили прийти к заключению относительно социальной структуры на Оркнеях в эпоху их заселения, которую можно сопоставить с более общей социальноархеологической картиной, характерной для Уэссекса. Во-первых, во время своего раннего использования гробница в Куантернессе ничем не отличалась по величине от других подобных памятников острова. Там просто не существовало такой пространственной иерархии. Во-вторых, гробница в Куантернессе была с «равным доступом» и содержала сбалансированное количество представителей обоих полов и всех возрастов, кроме младенцев. Втретьих, погребальный инвентарь был весьма прост, что свидетельствует об отсутствии сколько-нибудь заметных социальных рангов среди людей, захороненных в гробнице. Это открытие наряду с «равным доступом» в гробницу подкрепляет мнение о том, что упомянутые люди в этой области в ту эпоху принадлежали к сравнительно однородному обществу. В-четвертых, погребальные обряды были довольно сложными: захоронение костей внутри гробницы было последней стадией похоронного ритуала, которому предшествовало разложение трупа в другом месте. Наконец, камера гробницы использовалась по меньшей мере в течение пяти столетий.

Рассмотрим другие факты, которые, как удалось установить на основании изучения этого памятника, имеют отношение к характеру и последовательности событий. Во-первых, группа людей, которая использовала гробницу, насчитывала, вероятно, не более 20 человек, включая мужчин, женщин и детей. Во-вторых, трудоемкость строительства данного памятника, составляющая менее 10 тыс. человеко-часов, могла быть без особых усилий затрачена именно такой группой за несколько лет или даже за более короткое время, если строители получали помощь от соседних групп. В-третьих, гробница в Куантернессе является на Оркнейских островах лишь одним из ряда сходных погребальных сооружений равной величины. В-четвертых, каменные гробницы на исследуемой территории довольно широко разбросаны на местности, и это свидетельствует о том, что группа, пользовавшаяся каждой такой гробницей, занимала и обрабатывала всю прилегающую территорию. И наконец, спустя несколько веков после строительства гробницы в Куантернессе ряд памятников гораздо большей величины, в том числе Кольцо Брогара и Маэс-Хауи, был возведен в одной лишь центральной зоне главного острова Оркнеев. Это новое строительство можно считать признаком появления каких-то иных форм социальной организации с большей централизапией.

Таким образом, археологические находки в Куантернессе и в близлежащих памятниках приводят к выводам, хорошо согласующимся с заключениями, сделанными на основании изучения материалов Уэссекса.

Время, прошедшее между эгалитарным и централизованным обществами на Оркнеях, было не столь продолжительно, чтобы убедительно показать последовательность в социальном развитии. Однако представляется очевидным, что сооружение крупных памят-



ГРУДА КОСТЕЙ людей и животных была обнаружена на полу главного помещения гробницы в Куантернессе. Погребальный инвентарь был скудным — несколько обитых кусков кремня, три ножа из полированного камня и осколки 34 глиняных горшков. Трудоемкость сооружения гробницы по расчетам составила около 7 тыс. человеко-часов — примерно столько же, сколько требовалось для возведения одного длинного холма.

ников, указывающих на более высокую степень централизации, оыло здесь сравнительно поздним явлением и большая часть гробниц относится к более раннему этапу, когда общество было относительно однородным.

Многочисленные остатки человеческих скелетов, найденные в гробнице в Куантернессе, подтверждают мнение о том, что эти гробницы строились отнюдь не для того, чтобы поместить в них останки одного-двух бродячих миссионеров. В действительности их сооружали местные жители — территориально разбросанное земледельческое население. Значительное усложнение их архитектуры и высокая строительная техника свидетельствуют о чувстве огромной гордости, которую испытывала община за свое детище.

В данной статье излишне доказывать, что памятники Оркнейских островов имели местное происхождение, не зависящее от обычаев других областей, где тоже практиковались коллективные погребения в монументальных гробницах. Раньше уже говорилось о предположении, что в Западной Европе могли существовать пять-шесть первичных мегалитических центров, включая один в Ирландии и, возможно, еще один в Южной Англии. Появление новых методов земледелия в Шотландии было связано, вероятно, с одним из этих двух центров, и колонисты могли принести с собой обычай возведения ритуальных построек. Первые жители Оркнейских островов в свою очередь должны были попасть туда из Северной Шотландии и были бесспорно знакомы с довольно простыми мегалитическими гробницами, которые строили в то время на севере. Специфической чертой древней культуры на Оркнейских островах является развитие своеобразной архитектуры, основанной на использовании великолепного местного песчаника. В итоге родились такие шедевры, как гробница в Куантернессе и Маэс-Хауи. Особый же интерес для археологов Оркнейские острова представляют потому, что здесь сосредоточено обилие памятников древности, что облегчает попытки социальных реконструкций в данном районе.

АННЫЕ, полученные при исследовании Оркнейских островов служат значительным дополнением к археологической картине, полученной в результате работ, проведенных в Уэссексе. Конечно, можно строить предположения о том, каковы были функции этих памятников, по крайней мере в некоторых из создавшихся обществ, но, если кто-либо возьмется за объяснение происхождения мегалитов, он должен будет ответить, почему они появились именно в ту пору и именно там, где они есть. Ответить на вопрос «когда?» не так уж сложно: эти памятники постро-

ены в различных районах приатлантической Европы первыми земледельцами вскоре после того, как они обосновались и стали вести оседлый образ жизни на землях вдоль побережья Атлантического океана. Более ранние, немногочисленные племена мезолитических охотников, собирателей и рыболовов, которые эксплуатировали некоторые из тех же самых прибрежных районов, до появления земледелия никаких монументальных гробниц здесь не строили. Вопрос «где?» более трудный. Если бы древнейшие земледельцы создавали близкие по характеру памятники по всей Европе, то не было бы и самой проблемы. Почему же эти памятники появились именно в прибрежных землях и их не было ни в Центральной, ни в Восточной Европе? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо выявить какой-либо фактор, характерный только для Атлантических районов, и показать, почему именно этот фактор имеет особое значение.

Одним из таких факторов является наличие не густо расселенного, но постоянного мезолитического населения в областях, прилегающих к побережью Атлантики, особенно в Португалии и Бретани. Известно, что эти люди уже систематически хоронили своих умерших в кучах использованных раковин и мусора. Однако никто не может четко объяснить, почему наличие этого, более раннего населения повышает вероятность того, что первые земледельцы должны были строить мегалитические памятники.

Можно предложить другой фактор — демографический. Существует предположение, что по мере распространения земледелия, занесенного из Греции и Западного Средиземноморья, численность населения быстро росла в каждой области до тех пор, пока плотность не достигла предела. Приближение к этому максимуму должно было сопровождаться сокращением темпов роста населения, и это не могло не вызывать определенных трудностей. В Центральной Европе всегда существовала возможность оттока части избыточного населения за счет миграции людей на запад и на север, и поэтому проблема перенаселенности здесь не стояла остро. В землях же, граничащих с Атлантикой, этот «клапан» отсутствовал, поскольку оттуда просто некуда было уйти, и последствия этого демографического явления должны были проявиться здесь в полную силу.

Именно при таких обстоятельствах, когда плотность населения стала чрезмерно высокой и возникла насущная потребность в ограничении рождаемости, все меры, направленные на упрочение социальных связей внутри небольших земледельческих групп и закрепление их прав на возделываемые земли, стали особенно желательными.

Общины, которые сооружали монументальные памятники, должны были иметь явное преимущество над менее сплоченными и менее сильными соседними группами. Эти идеи начали проявляться в погребальной практике еще в те, более ранние времена, когда люди хоронили своих соплеменников в «раковинных кучах». Во всяком случае, беспрецедентно высокий уровень прироста населения в условиях, когда переселение на другие территории было невозможным, оправдывал любые меры, обеспечивающие стабильность и социальный порядок.

Это объяснение носит схематический карактер. Оно нуждается в дополнительной проверке, для чего необходимо проведение новых раскопок. С этой целью было бы особенно желательно изучить поселения древнейших земледельцев, которые могли вступать в контакты с последними представителями культуры «раковинных куч». Помимо фактических данных необходим и логический анализ, чтобы можно было увериться в том, что поставленная проблема сформулирована правильно или механизм для ее удовлетворительного решения наконец найден.

СЛИ ЭТУ схематически изложенную Сточку зрения можно считать приемлемой, то нуждается ли она в дополнении? Можно ли ее проверить со всей строгостью, требуемой для научной теории? В принципе пространственные показатели, о которых шла речь, вполне могут быть проверены с помощью современных географических методов анализа местности. Однако реальная местность, как правило, не похожа на горизонтальную, «изотропическую» равнину, которую часто представляет себе географ, а разрушительное действие времени приводит к исчезновению многих памятников древности. Кроме того, в большинстве случаев очень трудно доказать, что разные памятники функционировали в одно и то же время, поэтому здесь необходим точный количественный анализ.

Далее совершенно очевидно, что для сооружения мегалитов могло быть несколько причин, и даже в доисторические времена имелось значительное число гробниц, не разбросанных по одной, а сгруппированных в целые могильники. Некоторые из использованных здесь аргументов, касающиеся разбросанного расположения гробниц, неприменимы по отношению к погребальным памятникам, сконцентрированным в группы. Однако, несмотря на эти трудности, археолог не должен терять присутствия духа. В конце концов социальная археология сталкивается с теми же проблемами, что и другие общественные науки. Она посвящена изучению деятельности древнего человека, которая даже при самых благоприятных обстоятельствах нелегко определяется количественно и с трудом поддается реконструкции. Хорошо уже и то, что мы вообще можем заниматься изучением социальных явлений далекого прошлого, датируемого только с помощью углерода-14, когда половина всей имевшейся информации уже навсегда утрачена.

Французский историк Фернанд Браудель выделил три уровня, на которых определяются процессы и явления, «сочленения» истории. Личные драмы, «заголовки летописи прошлого», являются кратковременными критическими ситуациями. Под ними скрываются экономические и социальные движения, развивающиеся не столь быстро. Еще ниже находится извечная тенденция долговременного существования (longue durée), где действуют гораздо более длительные факторы. Среди них - почти постоянная нехватка земли и сущность крестьянской жизни. Любопытно, что археолог, который обычно почти ничего не может сказать об отдельной личности или кратковременном событии, иногда гораздо ближе подходит к познанию долговременных процессов, нежели современный историк, переполненный информацией о недавнем прошлом. Именно поэтому археологи, работающие над проблемами культурного значения, такими, как происхождение земледелия, формирование государства, или (как в данном случае) приемлемого объяснения социальной роли самых ранних монументальных памятников, хорошо понимают, что, несмотря на все практические трудности, у них есть идеи, заслуживающие серьезного внимания.

ИЗдательство МИР предлагает:

Дж. Питерсон ТЕОРИЯ СЕТЕЙ ПЕТРИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ

Перевод с английского

Рассматривается методика построения взаимодействующих параллельных процессов, основанная на применении математического аппарата сетей Петри. Большое внимание уделено применению теории для решения задач синтеза систем обработки на основе микропроцессоров.

1984, 18 л. Цена 1 р. 90 к.

Наука и общество

Возможность термоядерных реакций с участием кварков

ТО ЯВЛЯЕТСЯ источником энергии Солнца? Если на этот вопрос отвечать кратко, то термоядерные реакции в недрах Солнца, в ходе которых происходит синтез гелия из водорода с выделением энергии. Однако подробное изучение этого вопроса позволяет выделить несколько типов солнечных термоядерных реакций. Единственным отличительным признаком реакций разных типов, доступным наблюдению с Земли, может служить поток нейтрино, испускаемых на промежуточных стадиях в этих реакциях. В принципе этот поток может быть с высокой точностью измерен земными детекторами, поскольку нейтрино крайне слабо взаимодействуют с веществом через внешние слои Солнца они проникают практически беспрепятственно. Начиная с 1967 г. Р. Дэвис-младший из Брукхейвенской национальной лаборатории проводил измерения потока солнечных нейтрино с помощью детектора, расположенного в золотоносной шахте Хоумстейк (шт. Южная Дакота). Полученные им результаты озадачили физиков-теоретиков: измеренный поток солнечных нейтрино оказался в четыре раза меньше предсказанного. И лишь недавно четверо физиков из Университета шт. Огайо предложили новую схему реакции синтеза гелия, которая позволяет решить возникшую проблему. Р. Бойд, Р. Тернер, М. Вишер и Л. Рибарчик предположили, что в центральной части Солнца существуют экзотические атомные ядра с дробным электрическим зарядом. Работа физиков из Огайо опубликована в журнале «Physical Review Letters».

Частицы с дробным зарядом, если они вообще существуют, должны встречаться крайне редко. Положение о том, что все электрические заряды кратны заряду электрона, стало общепризнанным как одно из основных свойств материи со времени опытов Р. Малликена в начале нашего столетия. Однако, согласно созданной в последнее десятилетие теории квантовой хромодинамики (КХД), вся ядерная материя состоит из кварков — частиц с зарядом, равным 1/3 или 3/3 заряда электрона. В большинстве вариантов теории КХД отвергается возможность существования кварков в свободном виде — они могут находиться только в связанном состоянии, образуя частицы с целочисленным зарядом. Например, протон состоит из двух и-кварков с зарядом 3/3 каждый и одного d-кварка с зарядом - 1/3; суммарный заряд равен 1. Хотя КХД и не предсказывает существования связанных состояний кварков с дробным результирующим зарядом, имеются экспериментальные данные, указывающие на возможность их обнаружения. В 1981 г. У. Фейрбэнк, Дж. Лару и Дж. Филлипс из Станфордского университета сообщили об обнаружении дробного электрического заряда у крохотного ниобиевого шарика. Хотя результат станфордских физиков не был подтвержден другими экспериментами, высокая точность их опыта не позволяет его не учитывать.

Физики-теоретики из Университета шт. Огайо предполагают в своей работе, что на Солнце ядра с дробным зарядом служат катализатором в ранее неизвестном цикле нуклеосинтеза гелия. До сих пор в качестве источников солнечной энергии рассматривались два основных цикла ядерных реакций. Первый, в ходе которого выделяется основная часть энергии, начинается с объединения двух протонов в ядро дейтерия, поэтому его называют водородным, или протон-протонным (рр), циклом. На этой стадии (ветви) происходит испускание нейтрино, однако средняя энергия этих нейтрино слишком мала, чтобы их можно было обнаружить с помощью детектора Дэвиса. Нейтрино с более высокой энергией, доступные наблюдению, испускаются на последующих стадиях рр-цикла. Согласно стандартной солнечной модели, в реакциях этого цикла синтезируется 98% всего гелия и высвобождается 98% излучаемой Солнцем энергии.

Вторым основным типом термоядерных реакций на Солнце является так называемый углеродно-азотный (CNO) цикл. Впервые его предложили в 1939 г. независимо друг от друга Х. Бете из Корнеллского университета и К. фон Вейцзеккер. В ходе этого цикла ядра углерода-12 захватывают один за другим три протона, в результате чего образуются все более тяжелые ядра. Захват протонов продолжается до образования ядер азота-15, каждое из которых состоит из 7 протонов и 8 нейтронов. После захвата четвертого протона образовавшееся ядро распадается на ядро гелия и ядро углерода-12 и цикл начинается сначала. Согласно стандартной солнечной модели, на долю CNO-цикла приходится 2% излучаемой Солнцем энергии.

При относительно небольших изменениях температуры термоядерных реакций в недрах Солнца регистрируемый земными приборами поток высокоэнергетических нейтрино может изменяться в широких пределах. Это навело исследователей из Огайо на мысль о том, что можно согласовать наблюдаемый поток нейтрино с теоретически предсказанным, если предположить,

что температура в той области Солнца, из которой они излучаются, несколько меньше, чем считалось ранее. Например, если температура меньше на миллион градусов Кельвина (13,4 млн. градусов вместо 14,4 млн. градусов), то поток нейтрино с энергией, достаточной для регистрации, уменьшится в четыре раза. Однако такое снижение температуры должно привести к снижению потока солнечной энергии на 22%, если только не предположить, что существует еще неизвестный тип реакций нуклеосинтеза гелия. Предложенный группой из Огайо новый цикл восполняет недостаток энергии излучения без изменения потока энергетических нейтрино.

В новом цикле ядра с дробным зарядом играют ту же роль, что и ядра углерода-12 в CNO-цикле: они служат катализатором в процессе захвата свободных протонов. Исходным материалом для этого цикла служат так называемые «кварковые» ядра гелия, т.е. ядра, состоящие из двух протонов, двух нейтронов и и-кварка; заряд такого ядра равен 23/3. Сначала к этому ядру поочередно присоединяются три протона, и в результате образуется частица, состоящая из трех протонов, четырех нейтронов и и-кварка; по сути дела, это ядро лития-7, к которому присоединен и-кварк. После присоединения четвертого протона оно распадается на обычное ядро гелия и «кварковое» ядро гелия; затем цикл начинается сначала. Основной результат нового цикла, так же как и двух известных ранее, состоит в том, что четыре протона объединяются в ядро гелия с выделением энергии и нейтрино. Однако, по мнению группы из Огайо, реакция может протекать таким путем, что энергия излучаемых нейтрино будет слишком мала для их регистрации земными прибора-

Новый цикл может возместить недостающие 22% солнечной энергии, если на 1015 обычных ядер гелия в недрах Солнца будет приходиться одно ядро с дробным зарядом. Такое соотношение находится в пределах погрешности эксперимента станфордских физиков. Тем не менее к предложенной модели нужно подходить с осторожностью, поскольку, во-первых, результаты станфордского эксперимента полностью не проверены, и во-вторых, «кварковый нуклеосинтез» может восполнить недостаток нейтрино лишь при очень жестких ограничениях на предполагаемое снижение температуры в недрах Солнца. По мнению У. Фаулера из Калифорнийского технологического института, для подтверждения какойлибо из теорий, объясняющих механизм возникновения солнечной энергии, необходимо сооружение более чувствительного детектора нейтрино. Один из предложенных вариантов подобного детектора представляет собой резервуар, заполненный 50 т галлия. Основное препятствие на пути реализации этого проекта состоит в том, что требуемое количество галлия превышает годовой объем его мирового производства и его стоимость равна 25 млн. долл.

Каталитическая чаша

Форма молекулы белка в большинстве случаев имеет решающее значение для его функционирования. Рассмотрим, например, ферменты: форма центров связывания определяет взаиморасположение фермента и субстрата, оптимальное для протекания химической реакции. При иной ориентации молекул реакция вообще не произойдет. Возникает вопрос: можно ли искусственно «сконструировать» молекулу, так сказать, целесообразной формы, молекулу, которая могла бы катализировать химический процесс, подобно ферментам? В статье, опубликованной в журнале «Accounts of Chemical Research», К.Гутше из Вашингтонского университета в Сент-Луисе описывает свои эксперименты, в которых ему удалось создать молекулы, напоминающие по форме колоколообразную греческую вазу, известную под названием кратер. Он назвал их каликсаринами (от лат. calix — чаша,

По сути реакции, которые осуществил Гутше, сходны с синтезом, разработанным в начале нашего столетия Л. Бекеландом. Бекеланд нагревал формальдегид (НСНО) с фенолом (С6Н5ОН). В результате реакции образовывался твердый смолоподобный материал — первый пластик, который назвали бакелит (он известен также как резол). Гутше и его коллеги за исходное соединение взяли производное фенола, в котором атом водорода, находящийся напротив ОН-группы, замещен на трет-бутильную группу (C, Ho). При обработке этого вещества формальдегидом и образуется смесь каликсаринов.

Молекула каликсарина представляет собой своего рода чашу из четырех, пяти, шести или восьми фенольных колец. «Стенки» чаши образованы плоскостями фенольных колец, бутильные группы выступают наружу, а гидроксильные обращены внутрь чаши у ее основания, как бы закрывая дно. Таким образом в молекуле каликсарина имеется центральная полость. Она действует как ловушка для небольших молекул, поэтому каликсарины легко образуют комплексы с низкомолекулярными соединениями. Что попадет в ловушку, зависит от размера полости. Каликсарин из четырех колец, п-третбутилкаликс[4]арин, «ловит» хлороформ, толуол и пиридин; каликсарин из пяти колец, *n-mpem*-бутилкаликс[5]арин, легко комплексуется с изопропиловым спиртом и ацетоном; каликсарин из шести колец, *n-mpem*бутилкаликс[6]арин, образует комплексы с хлороформом и метиловым спиртом. Рентгеноструктурный анализ подтвердил, что низкомолекулярный лиганд действительно попадает в центральную полость каликсарина. В этом каликсарины сходны с теми ферментами, активный центр которых имеет форму кармана.

Подобны ли каликсарины ферментам функционально? Гутше и его коллеги рассматривают фермент альдолазу. У животных этот белок участвует в гликолизе - последовательности реакций, в которых происходит окисление глюкозы. Фермент катализирует реакцию расщепления шестиуглеродмолекулы — фруктозо-1,6-бисной фосфата — с образованием двух трехуглеродных молекул — диоксиацетонфосфата и глицеральдегид-3-фосфата. В зеленых растениях альдолаза участвует в обратной реакции на одной из последних стадий фотосинтеза. Механизм действия альдолазы подробно изучен. Сначала є-аминогруппа лизинового остатка фермента ковалентно связывается с центральным углеродным атомом диоксиацетонфосфата. Связыванию способствует электростатическое притяжение между отрицательно заряженной фосфатной группой субстрата и положительно заряженной лизиновой группой фермента. Затем диоксиацетонфосфат теряет протон, приобретая соответственно отрицательный заряд, благодаря чему теперь легко соединяется с глицеральдегид-3-фосфатом, также связавшимся с молекулой фермента.

Гутше и его коллеги надеются, что им удастся получить каликсарин, наделенный тремя важными для катализа свойствами альдолазы. Это должна быть молекула из четырех фенольных колец, соединенных так, чтобы получился усеченный конус. На внутренней поверхности «стенок» чаши должна находиться аминогруппа — аналог NH2группы лизина альдолазы, - которая будет связывать центральный углеродный атом диоксиацетонфосфата. На дно чаши нужно поместить ион металла для связывания фосфатной группы субстрата. Основная группа СООдолжна располагаться на краю чаши, чтобы обеспечить отрыв протона. Те простые методы, которыми были синтезированы каликсарины, пока не дают возможности создать молекулу с такими свойствами, поэтому сейчас Гутше и его коллеги разрабатывают новые, более сложные пути синтеза.

Наука вокруп нас

Наблюдения за жизнью водомерок — насекомых, которые ходят (и даже бегают) по воде

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ОДОМЕРКИ принадлежат к числу самых удивительных насекомых. Представители отряда полужесткокрылых, они обитают на поверхности малоподвижных водоемов. На территории Северной Америки можно найти не менее 75-85 видов этого насекомого, а по остальным частям света рассеяны еще сотни известных науке видов, включая и тех, которые обитают исключительно на море. Я занимался исследованием нескольких видов (из семейства Gerridae), представители которых отличались наличием длинных ног, и пришел к выводу, что образ их жизни — настоящее чудо.

Водомерки бегают и прыгают по поверхности воды. Они способны развивать скорость до 1 м/с, но в некоторых случаях они способны двигаться очень медленно. Водомерки не плавают, они скользят по водной глади, отталкиваясь в горизонтальном направлении примерно так же, как бегун-спринтер отталкивается от стартовых колодок. Друг друга водомерки находят с помощью волн, возникающих при их движении. Эти же волны, видимо, помогают им и ориентироваться среди предметов в окружающем их пространстве.

Зиму водомерки проводят, прячась под камнями, в траве или на дне прудов и ручьев. Весной они становятся активны, выходят на поверхность и спариваются. Самки откладывают яйца, прикрепляя их к каким-либо погруженным в воду предметам. Спустя две недели личинки вылупляются из яиц и всплывают на поверхность. Весь путь развития от личинки до взрослого насекомого занимает чуть больше месяца.

Исследованные мной водомерки это очень резвые насекомые с достаточно острым зрением, мое приближение они замечали издалека. Когда я входил в воду, они пугались, поэтому я старался двигаться медленно и замирал в ожидании, пока водомерки, привыкнув к моему присутствию, не перестанут обращать на меня внимание.

С помощью небольшого сачка для ловли бабочек я поймал несколько водомерок. Длинная ручка сачка позволяла мне ловить насекомых, не выдавая собственного присутствия. Гоняться за ними было бессмысленно, так как на воде они двигались гораздо быстрее меня. Поймав водомерку, я опускал ее в небольшой стеклянный кувшин. Эту операцию нужно было проделать очень быстро, так как прыткое насекомое могло подпрыгнуть на несколько сантиметров и выскочить из кувшина, прежде чем я успею закрыть его крышкой.

Полагаю, что все виденные мной водомерки принадлежат к виду Gerris remigis. Подобно всем водомеркам, обитающим в пресных водоемах, они имеют на спине некое подобие крыльев. (Морские водомерки в отличие от пресноводных совершенно бескрылы.) Пойманные мной экземпляры имели длину от пяти до пятнадцати миллиметров. Незрелые особи бывали и мельче.

Мне редко доводилось видеть какихлибо водомерок по берегам прудов, озер, речек, ширина которых превосходила несколько метров. На маленьких водоемах водомерки избегают участков с быстрым турбулентным течением, а также заводей, где поверхность густо покрыта водорослями. Не любят они и места, где растительность вовсе отсутствует. Больше всего насекомых можно найти там, где в медленном потоке есть лишь немного растительности. Они предпочитают глубины не более нескольких сантиметров. Скопления водомерок на мелководье можно, видимо, объяснить тем, что здесь им не угрожают рыбы, способные их проглотить.

Водомерок обнаружить очень легко. Как только я оказывался у подходящего водоема, поверхность воды покрывалась густой рябью волн, поднятых разбегающимися насекомыми. Во время первых экскурсий я обнаружил десятки заводей, усеянных мелкими водомерками. Позже мне удалось найти бухточку, где водились крупные экземпляры.

Часами я просиживал на берегу или прямо в воде, наблюдая за движениями этих насекомых. Потом я поймал несколько штук и выпустил их в пластмассовое корыто с водой. Если двигаться медленно, стараясь не спугнуть насекомых, они будут продолжать бегать по поверхности воды, не пытаясь вскарабкаться на стенки сосуда.

Вооружившись двадцатикратной лупой, я пристроился у своей посудины и пытался понять, как же эти насекомые ухитряются стоять и двигаться по поверхности воды. Для этого требовалось немало терпения. Я дожидался, пока насекомое не попадало в фокус лупы. Затем я несколько секунд наблюдал за ним, а потом оно, наконец, пугалось и убегало прочь.

Чтобы сфотографировать водомерок в естественной среде, я пользовался 32-миллиметровым зеркальным однообъективным фотоаппаратом с телеобъективом. При фотографировании насекомых в корыте я насаживал объектив для макросъемки.

Если вы сами захотите сфотографировать этих насекомых на природе, старайтесь, чтобы световые лучи, отражающиеся от поверхности воды, не попадали в объектив фотоаппарата. В противном случае на фотографии будут изображения отраженных в воде деревьев. Этот эффект можно исключить, если на объективе установить поляризационный фильтр. Ось поляризации фильтра должна быть расположена вертикально.

Все водомерки имеют по три пары ног. Передние ноги обычно короткие — они служат для поддержания тела насекомого на воде. Остальные ноги у пойманных мной водомерок были значительно длиннее их собственного тела. Насекомые передвигаются по воде с помощью средней пары ног. Задние ноги тоже могут участвовать в этом, но чаще они используются в качестве рулей, когда насекомое скользит по водной глади.

Каждая нога состоит из нескольких члеников: тазика, вертлуга, бедра, голени и лапки. Лапка в свою очередь тоже членистая. Для водомерок характерен шип на последнем членике лапки чуть выше ее кончика. Возможно, этот шип помогает насекомому стоять на воде, используя поверхностное натяжение.

В неподвижном состоянии водомерки опираются на все шесть ног. Передняя и средняя пары ног соприкасаются с водой только своими лапками, в то время как задние ноги лежат на воде и лапкой, и голенью; они не погружаются в воду, а располагаются в мелких углублениях на поверхности воды. Углубления под передними ногами водомерки совсем невелики. Остальные ноги, опираясь на воду, создают в ее поверхности удлиненные желобки, так как в контакте с водой оказывается большая часть ноги. Когда солнечный свет падает под прямым углом к наблюдателю, эти углубления хорошо видны. В других случаях их можно заметить на тени насекомого на дне ручья или сосуда. Они имеют вид темных овалов на концах тончайших теней от каждой ноги. Овальные тени образуются в результате преломления солнечного света на искривленной поверхности воды в зоне углублений.

Если водная поверхность совершенно плоская, все лучи, падающие на какой-либо участок, будут преломляться в воде совершенно одинаково и создадут однородную освещенность на дне водоема или сосуда. Если же лучи проходят через углубление у ножки насекомого, они преломляются под разными углами и тень на дне оказывается намного больше, чем сама лапка водомерки. Эти тени сослужили мне хорошую службу: когда насекомое шевелит ногой, следить за ее движением по тени легче, чем за движением самой ноги.

Чаще всего водомерки движутся не спеша, видимо таким образом они отыскивают пищу. Однако в других случаях они способны стремительно нестись над водой. Движутся они всегда по прямой линии. В конце движения насекомое останавливается, переставляет одну или обе средние ноги, меняет направление тела и отталкивается для следующего движения.

Хотя медленные движения насекомого наблюдать несложно, проследить детали его быстрых движений мне не удалось. В неспешном движении насекомое отталкивается от воды, сдвигая средние ноги по направлению к задним, которые сохраняют почти полную неподвижность, но могут тоже слегка двинуться назад. Передние ноги служат, видимо, только для опоры.

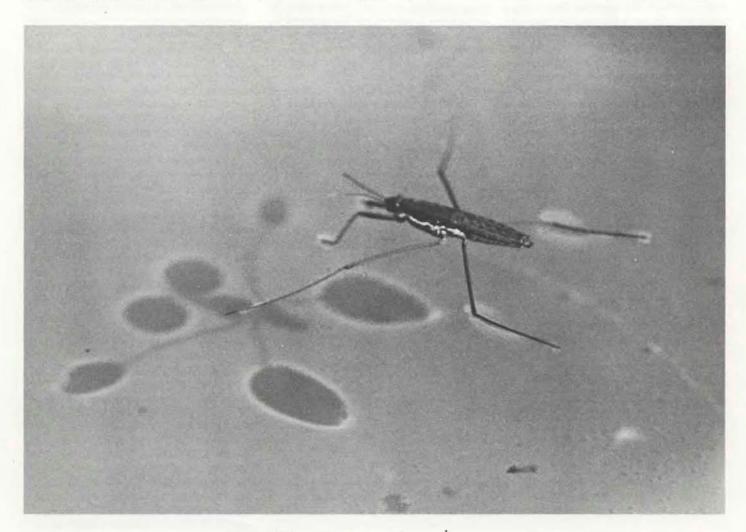
Быстрые движения насекомого удалось зафиксировать с помощью высокоскоростной киносъемки, которая позволила обнаружить, что в этом случае ноги выполняют те же функции, но толчок средними ногами происходит всего лишь за 20 мс. Ускорение при этом оказывается очень велико - примерно в 10 раз больше ускорения свободного падения. Передние ноги, а также верхняя часть голени у задних ног на мгновение отрываются от поверхности воды, а затем возвращаются на поверхность, и насекомое скользит по воде. Задние ноги служат в качестве стабилизаторов, поддерживающих прямолинейность движения. В конце концов кинетическая энергия движения полностью расходуется и насекомое останавливается. Начальный запас кинетической энергии уходит на создание волн и на трение о водную поверх-

Движения средней пары ног включают в себя несколько поворотов. Лапка и голень поворачиваются вокруг сустава, связывающего голень с бедром, быстрее, чем бедро поворачивается вокруг точки присоединения к вертлугу. В результате этих двух вращательных

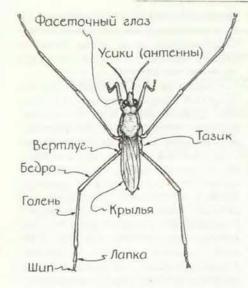
движений лапка давит на заднюю стенку углубления в водной поверхности. Сопротивление воды этому толчку и создает ту силу, которая вызывает движение насекомого.

Анализируя это движение, можно убедиться в двух преимуществах длинной средней пары ног. Во-первых, большая длина конечностей обеспечивает хороший рычаг для отталкивания от водной поверхности. Тот, кто занимался греблей, знает, что подобными преимуществами обладают длинные весла по сравнению с короткими. Вовторых, длинная лапка обеспечивает большую силу трения о воду, что увеличивает эффективность толчка. Лапки передних ног короче - это позволяет свести к минимуму трение и увеличить длину свободного скольжения. Некоторые виды водомерок на лапках средней пары ног имеют подобие лопастей, способствующих более эффективному отталкиванию от воды. У других видов на ногах есть выступы, цепляющиеся за поверхность воды точно так же, как металлические шипы на шинах для зимних мотогонок впиваются в снежную или ледяную поверхность.

Бо́льшая часть силы, поддерживающей насекомое над водой как в движении, так и в покое, создается поверх-



Водомерка и ее тень на дне водоема



Водомерка Gerris remigis, взрослая особь

ностным натяжением воды, которое обусловлено силами сцепления между частицами воды на ее поверхности. В учебниках это явление объясняют наличием сил электрического взаимодействия между молекулами. Рассмотрим одну молекулу на поверхности чистой воды. Она испытывает действие электрических сил в горизонтальных направлениях со стороны ближайших молекул, однако в результате симметрии эти силы уравновешивают друг друга. Одновременно на молекулу воздействуют и силы, направленные вниз (они вызваны притяжением молекул из нижележащих слоев). Углубиться в массу воды рассматриваемая молекула все же не может, так как соседние молекулы, находящиеся в непрестанном движении, все время сталкиваются с ней и удерживают ее на поверхности. Таким образом доказывается, что поверхность жидкости находится под натяжением, ибо на каждую молекулу на поверхности жидкости воздействует направленная вниз суммарная сила электрического притяжения.

Поверхностные явления можно рас-

смотреть и с энергетической точки зрения. Предположим, что поверхность требуется растянуть. Если площадь поверхности увеличится, на поверхность должны перейти новые молекулы из нижележащих слоев. В первоначальном состоянии эти молекулы не испытывают действия какой-либо силы, поскольку воздействия на каждую из них всех соседних молекул уравновешены. Однако, оказавшись на поверхности, молекула начинает испытывать действие сил, направленных вниз. Таким образом, переход молекулы из толщи воды на поверхность связан с затратой энергии со стороны тех механизмов, которые вызывают растяжение поверхности. В результате мы приходим к выводу, что поверхность воды находится под натяжением, так как рассматриваемый объем воды стремится уменьшить свою энергию, стягивая собственную поверхность.

Поверхностное натяжение воды может быть необычайно большим. Если на спокойную поверхность воды аккуратно положить плашмя швейную иголку, поверхностное натяжение не даст ей утонуть. Поддерживающая сила создается тем изгибом, который образуется на поверхности воды под тяжестью лежащей на ней иглы. Сначала игла начинает погружаться и прогибает водную поверхность. По мере увеличения прогиба за счет искривления поверхности возникает направленная вверх сила. Она дополняется другой силой, связанной с плавучестью, так как игла вытеснила некоторое количество воды. Если опыт поставлен правильно, то действующая на иглу вертикальная сила будет достаточно большой, чтобы удержать иглу на плаву.

Аналогичная поддерживающая сила воздействует и на насекомое, когда его вес распределен между лапками. Кроме того, насекомое выработало и другие поддерживающие механизмы. Густые тонкие волоски на ногах и теле многих видов водомерок задерживают пузырьки воздуха. Кроме того, воло-

ски, ноги и тело насекомого могут быть покрыты воскоподобным веществом, препятствующим смачиванию.

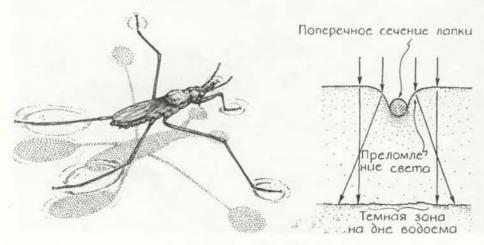
Воздух, удерживаемый волосками, создает дополнительную плавучесть. В существовании воздушной оболочки можно убедиться, слегка притопив водомерку. Под водой воздух, окутывающий тело насекомого, серебрится в солнечных лучах. Когда водомерку отпускаешь, она быстро выныривает и как ни в чем не бывало стремительно несется по поверхности.

У океанических водомерок недавно была обнаружена еще одна особенность, защищающая их от намокания. Для них эта добавочная защита просто необходима, так как они чаще попадают под дождь или брызги и редко могут найти поблизости плавающий предмет, чтобы вскарабкаться на него и обсущиться. От своих пресноводных собратьев они отличаются строением микротрихий - крошечных волосков, жестко закрепленных на поверхности тела. У пресноводных видов микротрихии имеют форму колышков, торчащих на поверхности тела, а у океанических видов они подобны крошечным грибам. По-видимому, такая форма микротрихий способствует более надежному удерживанию воздушных пузырьков у поверхности тела для сохранения дополнительной плавучести.

И все-таки иной раз водомерки намокают — видно, не всегда надежно срабатывает механизм из волосков и воскоподобного покрытия. Я не однажды наблюдал, как некоторые водомерки погружались в воду. Тонущее насекомое выбиралось на камень или на стебель лилии, чтобы обсущиться.

Когда я пытался сфотографировать одну водомерку, ей пришлось очень долго побегать в моем пластиковом бассейне. Уже начав тонуть, она подплыла к его стенке, зацепилась одной ногой и некоторое время повисела в этой позе. Если же водомерке не удавалось найти край бассейна, она счищала с себя воду, обтирая одной передней ногой смежную с ней среднюю ногу, причем обе ноги поднимались при этом из воды. Особые волоски на голени передней ноги водомерки служат специально для того, чтобы стирать воду с остальных конечностей.

Когда ноги у водомерки сухие, плавучесть, поверхностное натяжение и средства, препятствующие намоканию, обеспечивают насекомое значительной поддерживающей силой. Водомерка может стоять на воде, опираясь на все шесть ног, но в некоторых случаях она устойчиво стоит и на четырех ногах. Нередко я видел, как водомерки подпрыгивают над водой на несколько сантиметров. Хотя необходимый для такого маневра толчок вызывал на поверхности заметные волны,



Так создается рисунок тени водомерки

ноги насекомого не прорывали поверхностную пленку. Иногда я наблюдал, как между двумя водомерками завязывалось нечто, похожее на борьбу. Подобные схватки всегда кончались тем, что одно или оба насекомых подпрыгивали высоко в воздух и разбегались в разные стороны, но и при этом пленка на поверхности воды оставалась ненарушенной.

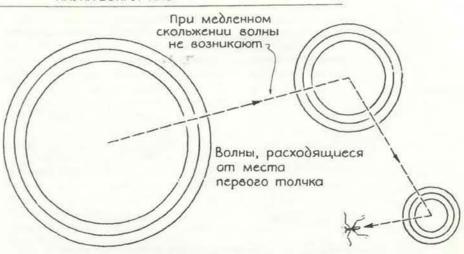
Поверхностное натяжение имеет некоторые особенности, о которых я пока не говорил. Абсолютно чистая вода в природе никогда не встречается. Даже если воду тшательно очистить в лабораторных условиях, ее поверхность уже через несколько минут пребывания на открытом воздухе покроется монослоем молекул других веществ. Встречающаяся в природе вода неизбежно оказывается покрыта таким слоем, уменьшающим ее поверхностное натяжение.

В передвижении водомерки, как я полагаю, существенную роль играет и другой фактор — вязкость. Когда средние ноги быстро смещаются назад, они давят на заднюю стенку углубления в поверхностной пленке. Благодаря вязкости нога насекомого во время движения не выскальзывает из углубления и совершает толчок. Вязкость объясняется наличием на поверхности слоя молекул других веществ, который препятствует скольжению по расположенному чуть ниже слою чистой воды.

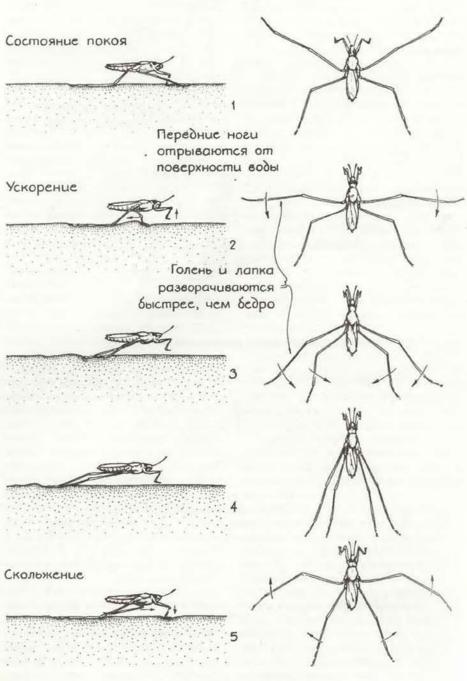
Однажды я наблюдал, как водомерка с трудом плыла от одного берега к другому. Водоем был почти стоячим, и в одном месте на его поверхности плавал слой пены, имеющей высокую вязкость. Когда я загнал воломерку в эту пену, она уже не смогла совершать привычные движения и скользить по поверхности. Ее маневры больше походили на скачки: она отталкивалась средними ногами, пролетала в воздухе несколько сантиметров и, опустившись, замирала в неподвижности. Только когда насекомое выбралось на чистую воду, оно вновь смогло скользить по поверхности.

Во время скольжения водомерки поверхность жидкости под лапками насекомого должна быстро выгибаться, повторяя форму образовавшегося углубления. На загрязненном участке повышенная вязкость препятствовала этому, но зато обеспечивала твердую опору для прыжков.

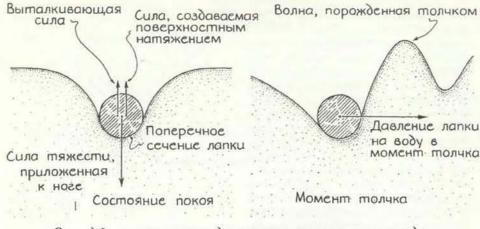
Водомерки настолько подвижны, что самка продолжает плавать даже во время спаривания. Как-то я почти целый час следил за парой спаривающихся насекомых. Они прервали свое занятие лишь тогда, когда я их поймал. Самец расположился сзади самки, обхватив передними ногами ее тело перед средней парой ног, а свои средние ноги поднял кверху, так что движения самки



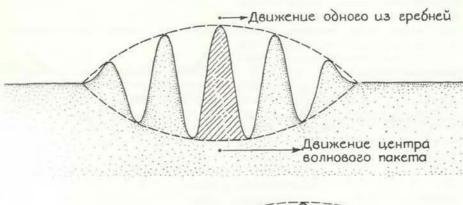
След бегущего по воде насекомого

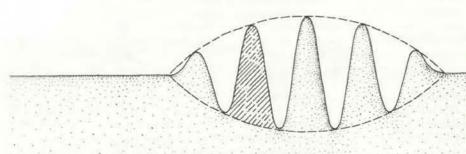


Этапы движения водомерки

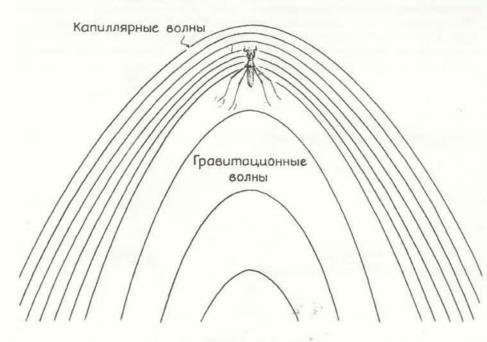


Силы, действующие на ногу водомерки при опоре на поверхность воды





Распространение группы (пакета) капиллярных волн



Волновая картина вокруг быстро движущегося насекомого

ничем не были стеснены. В процессе спаривания самец был неподвижен, но зато самка продолжала двигаться по поверхности. Быстрый бег был ей, видимо, уже не под силу, и тем не менее она легко могла совершать скользящие движения длиной около 1 см.

Я сделал предположение, что способность водомерки стоять или скользить на поверхности воды принципиально зависит от того, насколько широко разнесены точки, в которых ноги касаются жидкости. В каждой точке касания поверхность воды вокруг лапки искривляется, и создается сила реакции, удерживающая насекомое. А что произойдет, если эти точки опоры сблизить? Поверхность между соседними лапками окажется менее искривленной и будет создавать меньшую поддерживающую силу. Исходя из этих соображений, я предположил, что водомерки вряд ли склонны сводить все ноги вместе.

Однако мое предположение оказалось ошибочным. Разумеется, способ движения, присущий этому насекомому, требует, чтобы средние ноги близко подходили к задним. В то мгновение, когда водомерка совершает толчок, передние лапки даже приподнимаются из воды, так что средние и задние ноги полностью берут на себя вес насекомого. А ведь в этот момент средние и задние лапки оказываются совсем близко друг к другу, и тем не менее насекомое не прорывает водной поверхности.

У спаривающихся насекомых, которых я наблюдал, большая часть их общего веса приходилась на задние ноги самки. Они, возможно, погружались в воду достаточно глубоко, однако это ничуть не угрожало прорывом поверхностной пленки даже в те моменты, когда во время толчка самка подводила к ним свои средние ноги. Более того, у водомерок семейства Velidae ноги короткие, так что точки опоры у них расположены ближе друг к другу, чем у водомерок других семейств. Тем не менее насекомые этого семейства столь же подвижны, как и длинноногие водомерки.

Удивительно зрелище волновых картин, которые водомерки создают во время движения. Простой толчок и скольжение порождают группу круговых волн, расходящихся от места толчка. Волны возникают на этапе ускорения, когда насекомое отталкивается средними ногами от задних стенок углублений.

Полное движение каждой ноги назад порождает расходящиеся полукругом вперед и назад волны. Поскольку насекомое совершает толчок обеими ногами одновременно, то волны, порождаемые ими, сливаются впереди и позади водомерки. Совпадение этих двух волновых картин оказывается почти иде-

альным. При более пристальном рассмотрении можно, впрочем, заметить еще два всплеска в группе волн, распространяющихся назад. Эти всплески, по-видимому, вызваны движением задних ног.

Проанализировать возникновение и распространение волн достаточно трудно. Они возникают от возмущения гладкой поверхности воды в результате толчка ногами водомерки. Распространение волн в стороны от места возмущения объясняется действием двух сил, стремящихся восстановить первоначально гладкую поверхность.

Когда длина волны достаточно мала (т.е. поверхность сильно искривлена), важную роль в ее распространении играет поверхностное натяжение. Волны в этом случае называются капиллярными. В распространении длинных волн более важную роль играют силы тяжести, поэтому такие волны называются гравитационными. При наличии волны промежуточной длины ее распространение определяется действием обеих сил. Ни одна волна, бегущая по поверхности воды, не может иметь простую синусоидальную форму, что бы там ни говорили во многих учебниках. Любое возмущение, распространяющееся по поверхности воды, математически представляется как наложение, или суперпозиция, множества синусоидальных волн различной длины. В математической модели их называют фазовыми волнами. Поскольку скорость распространения каждой волны зависит от ее длины, никакая волна не сохраняет свою структуру в процессе распространения - рано или поздно ее составные части начинают взаимодействовать друг с другом. В результате зачастую получается впечатляющая картина. Возмущение, в данном случае толчок ноги насекомого, порождает короткую серию фазовых волн. Совместно они образуют так называемый волновой пакет, расходящийся в стороны от насекомого. По обе стороны от волнового пакета поверхность воды пребывает в покое, а внутри пакета можно заметить около пяти гребней. Расстояние между гребнями примерно равно средней длине составляющих фазовых волн.

Скорость движения этих гребней по поверхности воды называется фазовой скоростью. Она отличается от скорости движения всего волнового пакета. Если распространение волны подчиняется в основном силе тяжести, фазовая скорость превосходит групповую. В этом случае гребни возникают у задней границы волнового пакета, проходят через его середину и исчезают у передней кромки. Поскольку амплитуда волны бывает наибольшей в середине, можно проследить, как высота гребня, проходящего через волновой пакет, нарастает, а потом уменьшается.

Водомерки при движении порождают капиллярные волны - их длина достаточно мала, и поэтому в качестве восстанавливающей силы доминирующую роль играет поверхностное натяжение. Для капиллярных волн фазовая скорость оказывается меньше групповой. Следовательно, гребни в волновом пакете, расходящемся от движущейся водомерки, зарождаются на переднем фронте пакета, растут, пока их догоняет центр пакета, затем убывают по мере приближения к ним задней границы пакета и наконец исчезают. В любой момент волновой пакет содержит примерно пять гребней, отстоящих друг от друга примерно на 1 мм.

Такой волновой пакет, распространяясь, образует некоторое подобие окружности, пока не достигнет какоголибо препятствия или не потеряет всю свою энергию. В конце скольжения насекомое может породить еще одну подобную картину капиллярных волн. Если скорость насекомого относительно воды не превышает 0,23 см/с, оно в своем движении не порождает никаких волн. Эта величина представляет собой минимальную скорость, с которой волны могут распространяться на поверхности воды. При движении насекомого со скоростью ниже указанной возмущения не порождают никаких волн, если не считать возникновения группы волн, порождаемой толчками. Если же насекомое скользит быстрее, чем движется самая медленная капиллярная волна, оно непрерывно создает волны в процессе скольжения. Возникающая при этом волновая картина обладает двумя любопытными особенностями. Одна из них состоит в том, что волны перед насекомым расположены более тесно, чем волны, идушие позади него. Кроме того, волновая картина приобретает V-образную форму с изломом у головы насекомого.

В 1883 г. Рэлей математически доказал, что небольшой предмет, движущийся в воде с относительной скоростью, превышающей 0,23 см/с, порождает на поверхности волны, причем волны, распространяющиеся вперед, имеют меньшую длину, чем волны. движущиеся назад. Он наблюдал волновые картины, создаваемые не насекомыми, а рыболовной леской, натянутой в движущемся потоке. Леска служила препятствием на пути текущей воды. (В опытах Рэлея леска была неподвижной, а в наших наблюдениях насекомые движутся, но это различие не имеет значения, поскольку нас интересует относительное движение воды и находящегося в ней предмета.) Вверх по течению от препятствия распространяются волны с тесно расположенными гребнями — это фрагменты капиллярных волн. Вниз по течению возмущение воды, создаваемое препятствием формируется в виде широко расставленных волновых гребней — элементов гравитационных волн.

В V-образной волновой картине, образующейся вокруг водомерки, капиллярные волны оказываются снаружи, а гравитационные — внутри. Угол у основания пропорционален отношению удвоенной минимальной волновой скорости (т.е. 2·0,23 см/с) к скорости предмета относительно воды. Чем быстрее водомерка скользит по воде, тем более острый угол получается у основания волновой картины.

В 1972 г. Р. Стимсон Уилкокс из Национального университета Австралии доказал, что создаваемые водомерками волны играют существенную роль при спаривании. Он исследовал водомерок рода Rhagadotarsus Breddin, поймав несколько экземпляров и поместив их в кювету с водой. Самец призывал к спариванию, посылая сигналы в виде поверхностных волн. Он удерживался на воде с помощью передних ног, в то время как средними (а возможно, и задними) генерировал волновые сигналы.

Стимсон обнаружил три основных типа сигналов, предшествующих спариванию. Частота всех сигналов лежала в диапазоне от 17 до 29 колебаний в секунду. Самец мог призывать самку, посылая волновые пакеты, в которых было от 7 до 15 волн большой амплитуды. Кроме того, самец мог посылать группу волн всего лишь из двух или трех волн. Стимсон интерпретировал их как сигнал ухаживания. Если самка приближалась, сигналы переключались на режим ухаживания и представляли собой группу из 30 волн малой амплитуды. Когда между сампом и самкой оставалось всего несколько сантиметров, самка тоже начинала посылать подобные сигналы. После этого начиналось спаривание.

Иногда самец посылает другие сигналы более высокой частоты. Они, повидимому, служат предупреждением для других самцов покинуть зону спаривания. Если в подобной ситуации два самца окажутся рядом, они начнут драку, которая может продолжаться несколько минут. Я не однажды наблюдал такие схватки — самцы описывали круги на воде, а затем кидались друг на друга. После боя один самец преследовал другого.

В тихих ручьях я всегда замечал, что водомерки находят друг друга с помощью волн. Когда волновой пакет доходит до водомерки, насекомое замирает, а потом разворачивается перпендикулярно гребням по направлению к источнику. Затем оно пробегает некоторое расстояние в направлении источника. Дождавшись прихода новой серии волн, оно снова кидается к источнику. Трудно допустить, что насекомое обнаруживает источник только с помощью зрения — если бы это было так, оно не нуждалось бы в постоян-

ных остановках.

Водомерки используют поверхностные волны и для отыскания пищи. Когда муха падает в воду и бьется крыльями о ее поверхность, водомерка находит ее, ориентируясь только по возникшим от этого волнам. Зрение помогает только тогда, когда водомерка подплывает достаточно близко, но никак не раньше.

Хотя мне казалось очевидным, что водомерки пользуются волнами как средством передачи информации, я хотел получить более точное подтверждение. Я попытался трясти в воде веточкой, но к ней приблизилась лишь одна водомерка. Впрочем, и она могла оказаться в этом месте совершенно случайно. Тогда я решил использовать вибратор, предназначенный для массажа. Его осциллирующая часть, полностью заключенная в резиновую оболочку, питалась от двух маленьких батареек. С помощью переключателя, расположенного на корпусе, можно было изменять частоту вибраций. Я зашел на середину заводи шириной около шести метров. Почувствовав мое появление, несколько водомерок попрятались гдето у берегов. Я погрузил часть вибратора в воду и включил его на частоту около 20 Гц. Водомерки сразу же замерли, повернулись ко мне головами, и уже через три секунды все они были на расстоянии нескольких сантиметров от вибратора. Ни я, ни вибратор ничуть не походили на водомерку, так что можно быть полностью уверенным, что насекомые отреагировали исключительно на волны.

На поверхности ручьев или поблизости от них обитает множество других насекомых. Небезынтересен, например, жук-кружалка. Порождаемые этим насекомым капиллярные волны были исследованы Вэнсом А. Тьюкером из Университета Дьюка. Именно его работа легла в основу рассмотрения исследуемых мною волн, порождаемых водомерками. Другое интересное водное существо — гладыш. Это насекомое плавает под самой поверхностью воды, притом вверх ногами.

Книги

Лик Земли; в поисках прошлого; все о снеге; хлеб и другие продукты брожения

ФИЛИП МОРРИСОН

Ч. Шеффилд. ЧЕЛОВЕК НА ЗЕМЛЕ: КАК ЧЕЛОВЕЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ИЗМЕНЯЕТ ЛИК ЗЕМЛИ — ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА MAN ON EARTH: HOW CIVILIZATION AND TECHNOLOGY CHANGED THE FACE OF THE WORLD — A SURVEY FROM SPACE, by Charles Sheffield. Macmillan Publishing Co., Inc. (\$29.95)

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК РАЙ-ДЕРА: АТЛАС ФОТОГРАФИЙ ТЕРРИТО-РИИ США, СДЕЛАННЫХ СО СПУТНИКА RYDER'S STANDARD GEOGRAPHIC REFE-RENCE: SATELLITE PHOTO-ATLAS, UNI-TED STATES OF AMERICA, compiled by Nicholas G. Ryder and Martin Ellison. Ryder Geosystems: Satellite Mapping Division, Suite 304, 445 Union, Lakewood, Colo. 80228 (\$75)

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ альбом Чарлза Шеффилда, который в течение 15 лет занимается вопросами обработки и коммерческого использования изображений, переданных спутниками, представляет собой тематическую подборку великолепно воспроизведенных цветных изображений, переданных тремя первыми спутниками серии «Ландсат». Возможно, в подзаголовке обещано слишком много для столь малого объема (64 фотографии и краткие комментарии к ним), тем не менее эта скромная книга интересна и оставляет приятное впечатление.

Привлекают внимание фотографии двух городов-гигантов, окруженных ореолами предместий. На одной из них - Большой Нью-Йорк от Сэнди-Хука к Пикскиллу на севере и от водохранилища Ванак (шт. Нью-Джерси) к Риверхеду на востоке, на другой -Шанхай, раскинувшийся в лёссовой дельте Янцзы. Оба снимка охватывают примерно одинаковую площадь, однако на втором видны также пригороды Шанхая. Нью-Йорк в основном окрашен в характерные синие с серым тона с подчеркнутой грубовато-рельефной текстурой. Лишь у самого края изображения лесистые участки Уэстчестера и Рамапоса придают снимку красноватый тон, которым передана растительность городских парков и «зеленого пояса». В отличие от Нью-Йорка Шанхай (с примерно такой же численностью населения) выглядит как грязноватое пятно на малиновом фоне

с явными признаками интенсивного земледелия: рис, хлопок, вишневые сады. Густая сеть ирригационных каналов на этой фотографии чем-то напоминает сеть шоссейных дорог на еще не полностью заселенных территориях вокруг Нью-Йорка. Лишь вытянутые прямоугольники двух новых аэропортов нарушают сельскохозяйственный колорит вокруг Шанхая.

Сканирующее устройство «Ландсата» показывает титанический труд голландцев, отвоевывающих сушу у моря; польдеры, вплотную подходящие к протяженным дамбам, превратившим Зюйдер-Зи в медленно уменьшающееся озеро. Колоссальный размах этих работ хорошо передают снимки, выполненные из космоса. Почти все они приводятся в одном и том же масштабе — около 8 км на сантиметр. Интересны снимки, на которых запечатлен ряд знаменитых плотин, например Асуанская на Ниле или недавно сооруженный Большой гидроэнергетический комплекс близ залива Джеймса в канадской провинции Квебек. Само тело плотины невелико, поэтому его с трудом удается рассмотреть на космическом снимке. Однако это сравнительно скромное бетонное сооружение служит причиной появления огромных водохранилищ.

На одной из фотографий отчетливо видны очертания Чикаго, в тридцати милях от города можно различить полуторакилометровое кольцо ускорителя заряженных частиц, принадлежащего Лаборатории имени Ферми. Снимки Парижа и Каира сделаны весной. Пирамиды на последнем снимке неразличимы, так как площадь эффективного разрешения - около половины гектара. Площадку немногим более гектара можно разглядеть лишь в том случае, если она контрастирует с окружающим фоном. Вот снимок, запечатлевший часть пустыни на Аравийском полуострове, лишенную всяких признаков жизни, не считая «джинна» (гигантского газового факела среди дюн), выпустившего столб дыма длиной 15-20 км.

Особый смысл имеют снимки окрестностей Лос-Аламоса, пустынной зоны первого испытания атомной бомбы; эти снимки еще раз напоминают, чем может обернуться для человека война. КНИГИ 99

«Человек на Земле» — это собрание снимков городов и дикой природы, мест возделывания и освоения земли, следов прошлого, — так, как все это воспринимается с высоты 800 км. Текст с комментариями (примерно по странице на каждый снимок) легко читается и помогает в расшифровке условных обозначений на снимках и картах

«Атлас фотографий территории США, сделанных со спутника» представляет собой более полное издание по сравнению со своими предшественниками. В 1974 г. по заказу Управления консервации земель была смонтирована мозаика черно-белых изображений, полученных с помощью спутника «Ландсат-1», охватывающих всю территорию США. Результат этого героического предприятия включает в себя более 600 снимков. Репродукция размером в обычную страницу, конечно, намного дешевле, но содержит гораздо меньше тонких деталей. Несколько лет назад «Scientific American» опубликовал рецензию на книгу репродукций этой фотокарты, собранных в недорогой фотоатлас.

Сейчас речь идет о второй компиляции на базе того же источника. Она не дешева, но прекрасно издана и рассчитана в основном на специалистов, например на пилотов или планировщиков-землеустроителей.

Атлас снабжен весьма ценными дополнениями. Так, красными контурами отмечены границы штатов, шоссейные дороги и города. Нанесены местоположения навигационных радиомаяков, сетка широт и долгот, приложен полный географический словарь. Все 48 штатов представлены восемьюдесятью фотографиями с необходимым перекрытием в масштабе одной миллионной. Гавайские острова показаны в том же масштабе. Протяженная Аляска дается в значительно меньшем масштабе. Издание, несомненно, является еще одним шагом к созданию надежного атласа в масштабе одной миллионной — давней, но пока еще не осуществленной мечте картографов.

Льюис Р. Бинфорд. В ПОИСКАХ ПРО-ШЛОГО. РАСШИФРОВКА АРХЕОЛОГИЧЕ-СКИХ ДАННЫХ

IN PURSUIT OF THE PAST: DECODING THE ARCHAEOLOGICAL RECORD, by Lewis R. Binford, with the editorial collaboration of John F. Cherry and Robin Torrence. Thames and Hudson Inc. (\$18.50)

Я САМЫЙ старый новый археолог в этом городе», — шутливо замечает автор. Эта фраза неплохо передает общий тон его книги, которая покажется читателю одновременно и серьезной и развлекательной. Книга составлена на основе цикла лекций, которые Бин-

форд, профессор Университета в Албукерки, читал два года назад в Англии. Основной смысл книги — борьба традиционными, устоявшимися представлениями. Ниспровергая авторитеты, подчас весьма бесцеремонно, ученый добивается своей цели - многие из святынь, на которые он посягнул, уже утратили окружавший их магический ореол. Автор не циник, напротив, он человек, преисполненный надежды на то, что в будущем развитие новых прогрессивных методов позволит нам увеличить наши познания, а не просто даст возможность довольствоваться преходящими интеллектуальными опытами в виде ответов на неразрешимые «вечные» вопросы вроде «Почему?» и «Зачем?».

Мы никогда не сможем увидеть прошлое в его динамике. Сохранившиеся свидетельства ушедших эпох создают лишь статическую картину. Однако в наших силах научиться читать и расшифровывать ее. Сделать это не просто - тут не помогут скоропостижные выводы, порожденные лишь эмоциями и интуицией. В качестве примера автор не без удовольствия рассматривает гипотезу о том, как древний человек стал кровожадным убийцей. Эта гипотеза должна была объяснить данные Реймонда Дарта о составе скоплений отдельных костей в южноафриканских пещерах: они противоречили общеизвестным фактам из области анатомии. Дарт считал, что безжалостные австралопитеки выбирали определенные кости и приносили их к себе домой. Однако К. Брейн своими блистательными исследованиями убедительно доказал, что «коллекция» отдельных костей гоминид образовалась благодаря хищникам из семейства кошачьих. Австралопитеки никогда не жили в пещерах - их поедали там дикие звери!

В свете последних данных из Олдувая и других местонахождений ископаемых остатков гоминид в рифтовой зоне наш древний предок вновь предстал в виде могучего охотника, хотя и без наклонностей к людоедству. Там, где он убивал свою добычу, вместе с многочисленными костями животных найдены и древние орудия. Ортодоксальные умы поспешили сделать вывод, что именно в этих местах находились обиталища древнейших людей. В действительности груды костей обнаруживаются преимущественно у источников воды - здесь животные становились добычей хищников, здесь, независимо от гоминид, скапливались их останки. В древнейших слоях отложений рифтовой зоны найдены ударные орудия, отщепы с режущим краем появляются позже - в вышерасположенных горизонтах постепенно формирующихся пластов. Возможно такое объяснение: на первых порах гомини-

ды разбивали кости уже убитых животных и извлекали из них мозг, который употребляли в пищу. Лишь много позже, научившись изготовлять отщепы, не уступающие по остроте зубам гиены, они начинают успешно конкурировать с хищными животными за мясную пищу. Значит, на протяжении длительного времени наши предки вовсе не были могущественными охотниками, а довольствовались жалкими остатками, подбирая то, что не съели дикие кошки. Автор приводит этот пример не для того, чтобы показать, как научные объяснения со временем корректируются. Он хочет подчеркнуть необходимость тщательных повторных исследований ранее открытых местонахождений ископаемых остаткое гоминид, призывает по крайней мере искать аналогии, где только возможно, с тем чтобы подвергать многосторонней проверке какие бы то ни было выводы.

Самая большая по объему часть книги посвящена полевым наблюдениям Бинфорда за современными племенами охотников в тундре и пустынях. Острый глаз ученого подмечает именно те детали, которые играют существенную роль в их традиционном образе жизни. Так, нунамиуты знают много способов охоты и всеми ими так или иначе пользуются. Они сооружают для своих жилищ круги из камней, строят очаги на охотничьих стоянках. Вокруг центрального очага обычно выкладывается кольцо из костей животных и других отбросов для того, чтобы охотники могли удобно устроиться поблизости от огня. Очаг для одного человека попроще и характер расположения костей вокруг него иной. На открытых стоянках и в местах сооружения жилищ размещение отбросов также различно.

В настоящее время большинство ученых признают правоту Бинфорда, который в противовес своему покойному другу Франсуа Борду утверждал, что четыре различных набора каменных орудий, найденных на мустьерских (неандертальских) стоянках, не могут служить основанием для выделения локальных субкультур. Их следует рассматривать как свидетельство того, что одна и та же группа древних охотников сталкивалась с различными функциональными задачами и умела их решать. История обитания стоянок очень продолжительна, и люди в пределах отпущенного им срока поразному организовывали свою жизнь. Этноархеология, экспериментальное моделирование стоянок, количественный способ изучения документальных материалов (в особенности фотографий), относящихся к XIX в., когда охотничьи племена были все еще широко распространены, — эти три метода лишь теперь начинают привлекать к себе внимание специалистов, которые

не могут игнорировать их, если хотят извлечь более убедительные выводы из результатов археологических раскопок.

Появление сельского хозяйства и возникновение сложной социальной организации - это две величайшие вехи в том долгом и сложном развитии, который проделали вставшие на путь очеловечивания приматы с тех пор, как отделились от остальных своих сородичей. Однако здесь автор предпочитает критиковать, а не обсуждать. Он резко нападает на не подкрепленную доказательствами концепцию обусловленности перехода к оседлому образу жизни. Уж если мы, найдя груду костей, так и не можем решить, были ли наши предки охотниками или жертвами чьей-то охоты, то едва ли можно надеяться на успех, когда речь идет о более высоких материях! Нельзя без конца эксплуатировать любознательность и предаваться умозрительным рассуждениям. И, конечно, глупо возвращаться к маскараду псевдотворческой мысли, которая в последнее время щеголяла под вывеской социобнологии.

Дочитав книгу до последних строк, проникнутых, как и вся она, острым полемическим духом, читатель может сожалеть только об одном: при всей широте археологических исследований они все еще лишены должного величия. Если мы хотим докопаться до истинной сути вещей, нужны новые находки, модели, методы, свежий взгляд на вещи, не отягощенные предвзятостью исследователи. Сумеем ли мы ответить на вопрос, как и почему появилось земледелие, с такой же ясностью, с какой рассуждаем, скажем, о причинах Французской революции?

Итак, подводя итоги, можно сказать: эта емкая и живо написанная книга наверняка придется по вкусу любому читателю, она обогатит его новыми знаниями и даст пищу воображению.

ВСЕ О СНЕГЕ: ЕГО СТРУКТУРА, ПРОТЕКА-ЮЩИЕ В НЕМ ПРОЦЕССЫ, БОРЬБА СО СНЕЖНЫМИ ЗАНОСАМИ, ИСПОЛЬЗОВА-НИЕ СНЕГА

HANDBOOK OF SNOW: PRINCIPLES, PRO-CESSES, MANAGEMENT AND USE, edited by D. M. Gray and D. H. Male. Pergamon Press, Inc. (\$60; softcover, \$20)

В ЭТОМ году «снежный сезон» наступит в Канаде, скорее всего, в конце ноября, а в остальных районах Северной Америки, не считая штата Калифорния (США), — на месяц позже. Снег — явление, характерное для северного полушария; правда, почти вся Антарктика находится под его покровом, однако на трех остальных континентах в южном полушарии снег встречается лишь высоко в горах. В написа-

нии книги приняли участие многие канадские ученые и житель более южных широт - американец из штата Нью-Хэмпшир. В их совместной работе рассказывается о снеге не только как о явлении природы, но и как об одном из видов важнейших природных ресурсов. Двадцать глав книги составляют четыре ее раздела: снег и живые существа (главным образом человек и домашние животные); образование снега и его физическая природа; как передвигаться по снегу и как строить в широтах, где его много выпадает; наконец в двух последних главах говорится о различных типах лыж и об искусстве ходьбы на них.

Многие реки берут свое начало с горных ледников. Так, четыре великие реки - Хуанхэ, Ганг, Инд и Рио-Гранде — «питаются» талыми снегами. Их вод вместе с выпадающими в этих районах дождями достаточно для выращивания урожая зерновых, которого хватает, чтобы прокормить каждого пятого или шестого жителя планеты. Таким образом, наблюдения за снежным покровом и таянием снегов можно считать важнейшим (правда, не всегда строго соблюдаемым) условием для выращивания хороших урожаев. Размеры площадей, покрытых снегом и льдами, можно довольно точно определить с помощью радиолокаторов и съемок со спутников. Гораздо труднее оценить, сколько воды образуется в результате его таяния. Несколько раз каждую зиму на территории США и Канады вдоль 3000 выбранных профилей (в 5-10 их точках) делаются замеры глубины снега ручным буром с целью оценки стока. Недавно был испытан метод оценки стока с помощью регистрации с борта самолета потока естественного гамма-излучения радиоактивных калия и урана, содержащихся в почве, с последующей калибровкой поглощения этих лучей слоем воды вдоль каждого профиля.

Следует отметить, что описанные выше измерения очень сложны и не всегда точны. Даже для исследований в лабораторных условиях, не говоря уже о ледяной тундре и крутых горных склонах, пока «не существует надежных средств, помогающих разгадать все тайны снега». Каждая снежинка зарождается в результате кристаллизации переохлажденной водяной капли на силикатной аэрозольной частице. Вначале снежинка имеет простую форму: как правило, это крошечный ледяной шестиугольник размером менее одной десятой миллиметра. Медленно падая вниз, она постепенно растет за счет конденсации водяного пара, окружающего соседние капли воды (давление насыщенного пара вокруг капли воды больше, чем вокруг снежинки). Скорость роста снежинки зависит от окружающих условий, в частности от тем-

пературы, что приводит к разнообразию форм снежных кристаллов - от игл и полых трубок до напоминающих цветы великолепных шестигранников, которыми так восхищался когда-то Кеплер. Чем больше снежинка, тем быстрее она падает на землю. По пути снежинки сталкиваются и склеиваются друг с другом, чему в немалой степени способствует то, что спутный след летящей снежинки притягивает остальных ее собратьев, следующих за ней на расстоянии до 40 ее диаметров. При изучении такого феномена, как снежинка, вполне уместно применение представления о фракталях; эмпирические зависимости для массы снежинок, которая может возрастать с увеличением диаметра только по линейному закону, весьма сложны.

Перейдем теперь к техническим вопросам. Уже достигнуты определенные успехи в искусственном стимулировании снегопада. 10 лет назад исследовательской группе из Вашингтонского университета удалось искусственно вызвать снегопад в заранее намеченном районе Каскадных гор. Снежный покров неоднороден по своей плотности, твердости, теплопроводности, поверхностному трению и альбедо. (Интересно, что снег хорошо поглощает ультрафиолетовые лучи с длиной волны около 1500 Å.) Выпавший снег имеет температуру, зачастую незначительно отличающуюся от температуры таяния, поэтому он не слишком устойчив. Снег теряет свободную энергию в результате слипания и сублимации, причем его внутренняя поверхность уменьшается по мере того, как мелкие снежинки объединяются в более крупные, а также в результате усадки под действием собственного веса. Снег, испытывающий боковое давление (например, на склоне горы), генерирует низкочастотный звук, не воспринимаемый человеческим VXOM. Природа этих звуков, по-видимому, связана с непрерывным образованием трещин в зернистом слое снега, испытывающем напряжение. Когда в результате этого процесса появляется сплошная трещина, слой снега начинает скользить под действием силы тяжести. Лавина! Недавно появились данные, свидетельствующие в пользу этой теории: непосредственно перед снежным обвалом приборы регистрирова-

Необычайное разнообразие архитектуры сооружений в Лос-Анджелесе в значительной степени объясняется отсутствием в этом районе снега. Ни одному канадцу не придет в голову построить помещение для мойки автомащин в готическом стиле. Канадские архитекторы вынуждены ограничивать свою фантазию, поскольку приходится учитывать снеговые нагрузки на открытых участках, которые в снежном

КНИГИ 10

Квебеке достигают величины почти в половину атмосферы. Толщина снежного покрова может регулироваться искусственно. Снег переносится ветром, причем, подобно пескам пустынь, его движение происходит в поверхностном слое толщиной около 3 см. Перенос снега можно замедлить, соорудив на его пути решетчатые заграждения, около которых сугробы образуются как с наветренной, так и с подветренной стороны. Существуют также способы, позволяющие ускорить перенос снега, например с помощью специального заграждения, напоминающего столы с наклонными крышками. Такое заграждение, нижняя кромка которого располагается с подветренной стороны, увеличивает скорость ветра и отбрасывает снег почти на 6 м от препятствия, на котором это заграждение установлено.

Торонто имеет хорошо налаженную снегоочистительную службу. Постоянно ведущаяся механизированная уборка снега с применением в случае необходимости соли и песка предотвращает даже в самые сильные бураны появление на автострадах слоя снега толщиной более 2 см. Разумеется, содержание большого количества снегоочистительных машин обходится городу недешево. Этой зимой исполняется 100 лет со дня появления на свет первого большого роторного снегоочистителя, работающего на шоссейных и железных дорогах, так часто мелькавшего в кадрах старых кинохроник. В книге излагается теория работы снегоочистителя, хотя даже сам его создатель -Ориндж Джалл из Оринджвилла (Онтарио) вряд ли в ней нуждался.

Два миллиона мотосаней Северной Америки, с шумом и на больших скоростях мчащие своих седоков, главным образом спортсменов, в некогда безмолвные снежные пустыни, берут свое начало от машины марки «Ski-Doos», созданной Армандом Бомбардьером из Валькура (Квебек). Он начал работать над своей моделью в 1922 г. в возрасте 15 лет, используя детали от обычных саней. Как правило, мотосани имеют сзади одну широкую гусеницу и пару управляемых полозьев спереди. Они способны развивать скорость до ста километров в час и подниматься по склону в 45°. Охотники-эскимосы пользуются мотосанями, однако эта машина, пожирающая большое количество горючего, не может соперничать с эскимосскими упряжными собаками, верно служащими своим хозяевам в их путешествии по ледяным просторам Арктики. Для транспортировки грузов по снегу существуют разнообразные машины; самые крупные из них поставлены на огромные колеса с резиновыми пневматическими шинами с очень низким давлением, что значительно увеличивает их проходимость.

Опорное давление человека при ходьбе равно приблизительно 1/3 атмосферы. Грузовик с мягкими шинами и грузом в 30 т может легко следовать за ним, преодолевая 1,5-метровые сугробы. Для уменьшения опорного давления человек может воспользоваться специальной обувью или лыжами.

Рецензируемая книга богата интереснейшими фактами. Это настоящий подарок читателям, интересующимся техникой и желающим «лучше приспособиться к снежным климатическим условиям». Авторы смело берутся за самые сложные проблемы, начиная от рассмотрения слоя разупорядоченных протонов на границе снега, где происходит трение, и кончая размерами налогов в деловом заснеженном Онтарио.

Справочник пищевых продуктов врожения. Под редакцией К.Г. Стайнкрауса, Р.И. Каллена, К.С. Педерсона, Л.Ф. Неллиса, Б.К. Гевитта

HANDBOOK OF INDIGENOUS FERMENTED FOODS, edited by Keith H.Steinkraus, editor in chief; Roger E.Cullen, Carl S.Pederson, and Lois F.Nellis, associate editors, and Ben K.Gavitt, assistant editor. Marcel Dekker, Inc. (\$79.50)

АК ПРИДАТЬ излишне сладкой жиз-П ни приятную остроту? Съешьте такой бутерброд: кусочек чеддера на ломтике популярного в Сан-Франциско хлеба особой закваски. Этот удивительный хлеб ценится за особую влажность мякиша и эластичность клейковины, а также за тонкий острый аромат и нежный кисловатый привкус, которые дает молочная кислота, образующаяся в результате брожения при закваске теста. Тесто готовят так. Муку с водой и закваской выдерживают в тепле, пока не начнется брожение. Вместо обычных пекарских дрожжей берут особые дрожжи, и, кроме того, в закваску входит несколько видов бактерий, сбраживающих лактозу. Устанавливается выгодное как для бактерий, так и для дрожжей равновесие: бактерии утилизуют мальтозу и превращают ее в глюкозу, которая нужна дрожжам, а они в свою очередь вырабатывают амилазы - ферменты, превращающие пшеничный крахмал в мальтозу. Для того чтобы поддерживать такой симбиоз, надо часто пересевать культуру. Хотя Сан-Франциско и прекрасный город для роста этой замечательной флоры, он не единственный. Точно такое же «содружество» микроорганизмов обнаружили в хлебной закваске в Глазго и в Польше. Очевидно, в умеренных широтах микроорганизмы, которые хорошо уживаются друг с другом, легко переносятся по воздуху.

Перед нами очень полный и весьма авторитетный сборник, в котором опи-

сание феномена хлебной закваски занимает лишь скромное место в систематическом изложении рецептов и методик приготовления блюд, в основе которых лежит процесс брожения. Обсуждается около 250 самых разнообразных продуктов: от миндаля до трепангов и от дуриана до крылатой фасоли. Упоминается даже использованная бумага — она может служить пишей для съедобного гриба вешенки обыкновенной. Большинство описаний блюд снабжены справками об их вкусовых достоинствах, применении и распространении в кухнях разных стран. Рецепты приготовления блюд приводятся в виде схем, вкратце рассматриваются биохимия и микробиология происходящих процессов, а также питательная ценность продуктов. Книга составлена по материалам докладов, представленных в 1977 г. на конференции в Бангкоке. Здесь собрались тогда около 200 специалистов со всего мира для того, чтобы рассказать об известных им блюдах, получаемых путем брожения. Этот огромный материал был тщательно отобран, должным образом сокращен и с известной гордостью представлен на суд читателей группой специалистов, которые работают над научными аспектами приготовления пищи в Корнеллском университете.

Читателя, пожалуй, удивит особое внимание, которое уделено в книге таким экзотическим яствам, как амбали и бонкрек, имбирное пиво и вино из плодов хлебного дерева, мункойо и рагитапаи, траханас и урвага. Мир велик и разнообразен, и даже для самых искушенных людей в нем есть чему удивляться. В некоторых странах эти блюда и напитки широко распространены: бедняки их ценят за дешевизну, а гурманам они доставляют удовольствие разнообразием и особым вкусом. Следует отметить, что в книге не систематизированы рецепты приготовления большинства видов сыров из молока, а также различных сортов солодового ячменного пива с добавлением хмеля, которые из Европы распространились по всему миру.

Все разнообразие блюд разделено на 4 класса, которым и посвящены основные части книги. Здесь вряд ли хватит места для того, чтобы с толком рассмотреть хотя бы по одному примеру из каждого класса, — так щедра кухня разных народов. К первому классу относятся блюда, для приготовления которых необходимо кислотное брожение - оно призвано сохранить или усилить натуральные качества продуктов. В этой части справочника есть раздел, посвященный кислому тесту для хлеба и оладьев. Раздел занимает 60 страниц и включает рецепты из 12 стран. Хлеб, сделанный на закваске, один из самых прозаических примеров.

К наиболее изысканным кушаньям относятся, пожалуй, идли и родственные ему продукты. В южной Индии и Шри-Ланке их готовят из предварительно замоченного риса грубого помола и шелушеного маи тонкого помола (маи, или урт, — это особый вид фасоли, наиболее распространенный в тех краях). Рис и фасоль смешивают, разводят водой так, чтобы получилось густое тесто, слегка солят и выдерживают в теплом месте в течение ночи. Добавлять микробную культуру не нужно: необходимые микроорганизмы — два вида бактерий — уже присутствуют в тесте, они быстро подавляют рост конкурирующих форм и энергично продуцируют двуокись углерода, благодаря чему тесто подходит, а также придают тесту приятный кисловатый привкус. Из идли делают маленькие лепешки, которые варят на пару в специальных кастрюлях. Из этого же теста, но более тонко раскатанного жарят большие хрустящие олальи на завтрак или на обед. Есть и другие блюда из идли, разнообразие им придают горячие подливки и приправы. Раньше считали, что недостаток некоторых аминокислот в фасоли при приготовлении идли восполняется, так что блюдо полноценно по своим питательным качествам. В дальнейшем, однако, это не подтвердилось. Очевидно лишь, что содержание витаминов в идли выше, чем в исходных продуктах. Как свежее пиво, идли хорош всегда и для всех.

Другой класс продуктов — богатые белком заменители мясной пищи с характерной для мяса волокнистой структурой. В этой части сборника рассматривается большая группа индонезийских блюд, известных под общим названием темпе. Приготовление темпе связано с брожением двух типов. Первая стадия — бактериальное закисление. Оно начинается, если очищенные от кожуры соевые бобы замочить в воде. Процесс еще до конца не ясен. В лабораторных условиях такого же результата можно достичь, добавляя в среду для замачивания бобов немного кислоты. Брожение на второй стадии происходит благодаря особому виду плесневых грибов - их выращивают на слегка проваренных, предварительно вымоченных бобах; гриб в среду надо добавлять. В Индонезии плесневый гриб специально выращивают, высушивают на воздухе и продают завернутым в листья гибискуса; а в США в штате Теннесси растущие потребности вегетарианцев - любителей темпе удовлетворяет специальная отрасль пищевой промышленности: оборудованные по последнему слову техники небольшие фабрики производят споры плесневого гриба и соевые бобы; правда, продают их в менее экзотической упаковке. Для приготовления темпе годится любой из видов

двух родов плесневых грибов. Споры гриба смешивают с подсушенными бобами и инкубируют около суток при 37 °С. Процесс хорошо изучен, и известны возможности варьировать условия. Гриб сильно разрастается на бобах, полностью покрывает их и как бы сшивает нежными тонкими нитями мицелия. Испечь лепешку из таких бобов - минутное дело, а для того чтобы приготовить необработанные соевые бобы, нужно несколько часов, к тому же обычные бобы не имеют характерного для темпе орехового запаха, острого вкуса и волокнистой структуры, напоминающей мясо. Особенно ценно то, что таким способом можно обрабатывать не только соевые, но и другие бобы, а также жмых земляного ореха, мякоть кокосового ореха, горох, даже пшеницу и ячмень. Уже проектируются промышленные установки для брожения с прокачиванием воздуха и контролирующими устройствами. Авторы считают, что это реальный путь создания заменителей животного белка - дешевых, легко усваиваемых и вкусных. (Последнее утверждение нуждается в экспериментальной проверке: автору рецензии пока что не довелось отведать сандвича с темпе.) С экономической точки зрения целесообразнее есть соевые бобы и плесневые грибы, чем питаться цыплятами, которых откармливают той же соей и которые обременены перьями, костями, клювом и тому подобными «лишними» несъедобными частями.

В книге дается описание приготовления рисовой водки и соевого соуса, кислой капусты и особой пасты из соевых бобов, называющейся мизо, различных национальных алкогольных напитков из меда, сорго, сахарного тростника, сока пальмового дерева, стеблей кукурузы, агавы, ананасов, а также сложных паст и соусов из соленой рыбы и креветок (в том числе и таких замысловатых блюд, которые бросают вызов привычным представлениям о пище).

«На закуску» читателю предлагаются интересные сведения о том, как национальные блюда готовят в тех районах земного шара, где они не являются традиционными. Широкое распространение экзотических национальных блюд вызвало к жизни ряд проблем: кислая капуста иногда бывает необыкновенного розового цвета; некоторые закваски, основанные на «фальшивых» бананах, могут вызвать аборт; в грибах бывают смертельные токсины, которых надо остерегаться.

Книга представляет собой далеко не компиляцию, она исполнена творческого подхода к предметам повседневной жизни и способна заставить даже погруженного в себя созерцателя с интересом взглянуть на окружающий мир.

ИЗдательство МИР предлагает:

А. Козаннэ, Ж. Флёре, Г. Мэтр, Н. Руссо ОПТИКА И СВЯЗЬ

Перевод с французского Книга представляет собой первое в мировой литературе учебное пособие по оптической волоконной связи и оптическим методам обработки информации. Впервые в одной книге с единых позиций рассмотрен весь комплекс вопросов, связанных с этой областью знания: распространение света в направляющих системах, теория голографического метода регистрации и восстановления волновых полей, оптические методы обработки информации, измерение характеристик оптических волокон и методы их изготовления. Рассматривается также элементная база оптических систем передачи и обработки информа-

Для студентов, аспирантов и преподавателей, а также для инженеров и научных работников в области оптической волоконной связи и оптической обработки информации.

1984, 31 л. Цена 2 р. 50 к.

К. Хандрих, С. Кобе АМОРФНЫЕ ФЕРРО- И ФЕРРИМАГНЕТИКИ

Перевод с немецкого
Авторы обобщили результаты исследований аморфных ферро- и
ферримагнетиков, начиная от
технологических методов получения металлических сплавов в
аморфном состоянии до квантовостатистических моделей такого состояния. Показано, как
аморфные ферримагнетики могут быть использованы для создания запоминающих устройств
на цилиндрических магнитных
доменах, для магнитной записи и
магнитной контактной печати.

Книга предназначена для физиков, материаловедов и инженеров, работающих в области создания и применения магнитных материалов.

1983 г., 13 л. Цена 2 р.



Занимательный компьютер

Превращение художественной литературы в чепуху

БРАЙАН ХЭЙЕС

РАКТИЧЕСКИ любая программа на выходе ЭВМ может дать бесрезультат, если смысленный ввести в нее бессодержательные данные («что посеешь, то и пожнешь» гласит широко известная пословица). Такая деятельность сейчас настолько распространена, что эксперимент другого рода вряд ли может привлечь внимание. Между тем не требуется особых усилий для того, чтобы создать программу, в которую вводится литературный шедевр, а она выдает полнейшую чепуху: в машину вводится последний акт «Макбета», а на выходе получается неистовый бред идиота, лишенный всякого смысла. Тем не менее и это считается машинной обработкой данных (увы, произвести обратное преобразование почему-то гораздо слож-

Превращение литературы в тарабарщину происходит в два этапа. На первом этапе текст «прочитывается» программой и записываются полученные статистические характеристики. Эти характеристики определяют вероятность последовательностей букв или групп букв алфавита в исходном тексте. На втором этапе в соответствии с записанными вероятностями производится случайный выбор букв и создается новый текст, набор букв которого отражает статистические характеристики исходного текста, но лишен всякого смысла (появление в таком тексте смысла — чистая случайность).

Я не могу представить себе более непродуманного способа имитации. В программе нигде не отражена концепция слова и нет намека на представление о его семантической структуре. Не отражены также лингвистические структуры, более сложные, чем последовательность букв. Созданный текст представляет собой грубейшую имитацию авторского стиля, которая сохраняет только самые поверхностные чер-

ты исходного текста. Поражает при этом, что текст, полученный в результате такого примитивного упражнения, обладает иногда навязчивым сходством с оригиналом. Это тарабарщина, но тарабарщина чосеровского, или шекспировского, или джеймсовского толка. Иначе и быть не может. Если из текста изгнано семантическое содержание, гораздо заметнее становятся стилистические манеризмы. Возникает вопрос: насколько глубинными являются стилистические характеристики авторского текста и в чем состоит сложность их выявления?

РОЦЕСС порождения случайного прозаического текста был подробно исследован Уильямом Ральфом Беннетом-младшим из Йельского университета. Одной из основных тем в его курсе лекций о применениях компьютеров была лингвистическая статистика. Также подробно эта тема разработана в его учебнике по программированию «Scientific and Engineering Problem-solving with the Computег» («Научное и инженерное решение задач с помощью компьютеров»). (Книга гораздо увлекательней, чем может показаться по названию. В ней, например, рассматриваются аэродинамические процессы, имевшие место при происходившем во время урагана футбольном матче Принстон — Дартмут в 1950 г.; спектральный анализ звуков, издаваемых фаготом, гобоем или садовым шлангом.)

Беннет сообщает, что самое раннее до сих пор известное упоминание о случайном порождении текста можно найти в опубликованном в 1690 г. сочинении «Махіт» and Discourses» Джона Тиллотсона, архиепископа Кентерберийского. Приводя примеры божественного творения, Тиллотсон пишет: «Сколько раз пришлось бы Человеку наполнять мешок буквами и высыпать

их обратно на землю, прежде чем из этих букв случайно сложилась бы прекрасная Поэма или прозаический Трактат? И разве не может маленькая Книга быть создана игрою Случая, так же как и вся необъятная Вселенная?»

В современных рассуждениях о порождении случайного текста в качестве отправной точки можно использовать высказывание сэра Артура Эддингтона, сделанное в 1927 г.: «Если бы целое стадо обезьян стало барабанить на пишущих машинках, то в принципе они могли бы написать все книги, хранящиеся в Британском музее». Эддингтон подчеркивал неосуществимость такого события. Это рассуждение он привел как пример теоретически возможного явления, которое, однако, никогда не произойдет в реальной жизни. Тем не менее со времени Эддингтона мысль о гении, который скрывается среди обезьян, бессмысленно барабанящих на машинке, зажила самостоятельной литературной жизнью. В связи с этим Беннет упоминает произведения Рассела Мэлони, Курта Воннегута-младшего и сценку в ночном клубе у Боба Ньюарта.

Процесс, о котором говорил Эддингтон, можно смоделировать с помощью программы. Я назову эту программу генератором текста нулевого порядка. Выбирается алфавит, или множество знаков, и в соответствии с ним на «обезьяньей» пишущей машинке устанавливается клавиатура. В некоторых моделях высшего порядка целесообразно сводить количество символов к минимуму: по-видимому, из соображений непротиворечивости имеет смысл остановиться на таком же количестве знаков и для генератора текста нулевого порядка. Я последовал рекомендациям Беннета и остановился на 28 знаках: 26 букв английского алфавита, интервал между словами (компьютер рассматривает его как любой другой знак) и апостроф, который встречается в письменном английском языке чаще, чем три-четыре наиболее редко употребляемые буквы.

Воображаемая идеальная обезьяна с одинаковой вероятностью может в любой момент напечатать любой знак. Такое поведение обезьяны моделируется с помощью очень простой стратегии. В множестве 28 знаков каждому символу приписывается определенное число от 0 до 27. В этом пределе для каждого порождаемого знака выбирается случайное число и печатается соответствующая ему буква. Образец небольшого текста, полученного с помощью такой процедуры, изображен на рисунке на этой странице. Текст этот не имеет сходства ни с письменным английским, ни с любым другим человеческим языком. «Слова» в нем непомерно длинны (в среднем по 27 знаков), и в них преобладают соглас-

PWGMMLTHIDVGRHPEDFCXFEKFNOPYPOSXZRUXG YS AEEU PEDEGLQYFUWPO IKI QTONIXJKZEUKDXWKKJREHYHPKWUJHLEJNBPLQ AIEOQXUBJYYVIFFDPQGIGZNTI RQXPDJ NQESPQMCRSNGMKQEZICZV GSWALK ZZEYIBBOTDCRSMK VI MRCZXUBI SNEQ VQQHFQUCBJXZRVVNIBHFJEFTCFJPWFOIYHOMPNFSFWKNCMVLOJJBX QV KIZTLNRWGGTZFPZPQQCGVJCPAYRDQJRMYSWCGABRXLERCYYRHQCHTOQ UT FMRITFTIZUIWTSTXWQGOCAFXJOZYKSTV BYOBEUFIRQWQ VOUVQJPRKJWBKPLQZCB

Случайный текст нулевого порядка, основанный на алфавите из 28 знаков

ные. Причина этого — в неравномерности частот букв в английских текстах. На интервал между словами приходится примерно 1/5 всех знаков, а буквы J, Q, X и Z составляют меньше 1% текста. В тексте же нулевого порядка все буквы имеют одинаковую частотность, а именно 1/28.

У Боба Ньюарта комический эффект возникает, когда инспекторы, которым поручено разобраться в белиберде, напечатанной обезьянами на машинке, промучившись нал нею не один час, вдруг натыкаются на фразу: «То be or not to be, that is the gesorenplatz...» («Быть или не быть — вот в чем гесоренплатц...») В действительности это событие не осуществимо, так как порождение первых девяти слов из монолога Гамлета может произойти в тексте, состоящем из 2·1046 букв. В тексте же из 50 000 букв я нашел на большом расстоянии друг от друга один раз «ТО» и один раз «NOТ». (Чтобы не читать все 50 000 знаков подряд, я воспользовался подходящей программой.)

ОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ «литератури ной деятельности» обезьян надо начать с приведения вероятности выбора обезьяной того или иного знака в соответствие с действительной частотой употребления букв в письменном английском языке. Можно, например, изготовить пишущую машинку, в которой имеется на клавиатуре 2500 интервалов, 850 Е, 700 Т и т.д. Частоту употребления букв можно вычислить с помощью большой выборки из английской прозы, но мне кажется, что удобней и гораздо интересней обработать какой-нибудь литературный текст. Программа, которая выбирает знаки в соответствии с описанным выше распределением частот, является генератором текста первого порядка.

Частоту букв в тексте можно представить одномерным массивом, состоящим из 28 элементов и хранящимся в блоке памяти компьютера. Любой элемент массива между 0 и 27 может быть определен при помощи индекса. Для заполнения массива достаточно посчитать, сколько раз появляется каждая буква в тексте. Можно заполнить массив ручным способом, но гораздо удобней воспользоваться компьютером, хотя в этом случае придется сначала подготовить текст для машинной обработки. Считающая программа приравнивает все элементы массива к нулю. Затем производится посимвольный просмотр текста, и при каждом появлении знака к соответствующему элементу массива прибавляет-

Случайный текст первого порядка порождается таким образом, что вероятность выбора буквы пропорциональна номеру элемента в массиве. Приведем один из вариантов порождения текста. В интервале между нулем и суммой элементов массива (равной общему количеству знаков в исходном тексте) порождается случайное число. Затем первый элемент массива, например частота буквы A, вычитается из случайного числа. Если результат не-

положителен, А печатается; в противном случае из величины, оставшейся после первого шага, вычитается следующий элемент (частота буквы В). Последовательные вычитания продолжаются до получения неположительного ответа и выбора соответствующего

ПЕРВЫЙ ПОРЯДОК

HUD T ALONIT NTA SN TVIOET ELERFOAD PE TRLTWTL N CABEG TYLUEMU TIGT BH OFDRRIC O STU HOOOTO YATNDL UYA HWAE SS NLSDB OTRORT DEERARFT D LBFF HHARE MW OSPE OFOIT SEOUN GTUMG H N GHKOY T EAOS A SD E TNNE PEHAGIADIHNATO AATSAGI ED INNE ABRA TAAM GT E TWNO HEWIIGUTNCM GA SFHHY HREBH RARE OOSY LFE OC EGGTA WIFRTYE EUS DA ETO WF EIT ERNETEBTSTTELO NTAAN O YEETWNSONRNHN TYHVN NLUESETTHLGEAKPNNMTIA TSM REEANTVONC POE RUTP EOIT L IEETGTWHSW H KHHER W OLIOEWOEPT D AEYBSTNHGDNPT C TNLINHH KHHE E RTVIOB EI K EOAFPUTSTTAS NA LAN SRDF D NMTHESKO UGEEDICRAWDT OBD TUIML WSORGNETE

второй порядок

BEGASPOINT IGHIANS JO HYOUD WOUMINN BONUTHENIG SPPRING SBER W IDESE WHE D OOFOMOUT O CHEDA AFOOIAUDO IS WNY UT DRSASER LD OT POINE ETHAT FOEVEL BE ORRI IVER BY HE T AS I HET W BE T WAU GIM UTHENTOTETHAVE THIKEWOITOCOUTORE TATHASTHEE AT D Y WAN TOND SE TEDING US AKIN WING W TE T BO TOTSTHINGATONO EN T LLY WID OUCOUSIND HEF THIMES AG T BENG LORYE ALLATHOMOFTHER TOUDIMS YS S ORYRY THERNG S HE M G M ANG S CITOOFO HEN G BEST ONDLOL ANE DO HE ICISEKERIT ME NKITHADIMUPL WHES HT BATHE T LOR WITULOWAYE WATHEG M LEROMAUN OUGS POUPO O HASING LIN ON ASHAN AWFAS HET ND MEDE

ТРЕТИЙ ПОРЯДОК

MAY THOT TO THER YOURS CHIM JOSE EY EILLY JUSED AND HID YEL THE MARK WASK TROOFTEN HEREY LING SH THAVERED HER INCED I MEA BUT DAY WOM THE EAKIN WIPS AS SUGH THE WAY LIARADE TH MY HE ALMASEETIR ANICIOUT JOSIDNTO GRATEVE NO VER BIGH WER ACCOW WAS I GEORE HENDSO EGGET PUT TO SQUAD TRADE OFF GIN GO ME HER SPING HE CONE WELL FEWHEY THEYES AND AND QUICE YOULDN'T HER ORL SO MAKING RINGS SOMET DREAVE HISETTO COMAD THAT ME WE MIG TOLD THE THERFUMBECK OT OFF FEELP HE WAST ITS LETHOTTEN ITHEE ROWN YOURS FEL FOR SOME IF WIS HE STAKED UPPOIS SHENS NO TILL HIM I WAY SO WHATEALWAS WER TWE NER DING O THIS IT IN ANIGH ACK REAN THAT DO GETHE BITER

Случайные тексты первого, второго и третьего порядков, созданные на основе монолога Молли Блюм

AD CON LUM VIN INUS EDIRA INUNUBICIRCUM OMPRO VERIAE TE IUNTINTEMENEIS
MENSAE ALTORUM PRONS FATQUE ANUM ROPET PARED LA TUSAQUE CEA ERDITEREM IN
GLOCEREC IOVELLUM ET VEC IRA AE DOMNIENTERSUO QUE DA VIT INC PARBEM ETUS
TU MEDE DERIQUORUMIMO PEREPORIDEN HICESSE COSTRATQUIN FATU DORAEQUI POS
PRIENS NOCTA CIENT HUCCEDITAM PET AUDIISEDENDITA QUE GERBILIBATIA VOLAEQUE
ORECURICIT FES ADSUE ARCUMQUE LULIGITO PIMOES PERUM NOSUS HERENS EA
CREPERESEM ETURIBUS AVIS POS AT IS NOMINE FATULCHENTURASPARIS AUDEDET PARES
EXAMENDENT DUM REMPET HA REC ALEVIREM ORBO PIERIS ATAE PARE OCERE RAS

QUALTA 'L VOL POETA FU' OFFERA MAL ME ALE E 'L QUELE ME' E PESTI FOCONT E 'L M'AN STI LA L' ILI PIOI PAURA MOSE ANGO SPER FINCIO D'EL CHI SE CHE CHE DE' PARDI MAGION DI QUA SENTA PROMA SAR OMI CHE LORSO FARLARE IO CON DO SE QUALTO CHE VOL RICH'ER LA LI AURO E BRA RE SI MI PAREMON MORITA TO STOANTRO FERAI TU GIA FIGNO E FURA PIA BUSCURA QUAND'UN DEL GUARDI MIN SA PAS DELVENSUOLSI PER MUSCER PIE BRUI TA DORNO TITTRA CHE PO E PER QUE LI RINONNIMPIAL MIN CH'I' BARVEN TA FUI PEREZZA MOST' IO LA FIGNE LA VOL ME NO L'E CHE 'L VI TESTI CHE LUNGOMMIR SI CHE FACE LE MARDA PRESAL VOGLICESA

PONT JOURE DIGNIENC DESTION MIS TROID PUYAIT LAILLE DOUS FEMPRIS ETIN COMBRUIT MAIT LE SERRES AVAI AULE VOIR ILLA PARD OUR SOUSES LES NIRAPPENT LA LA S'ATTAIS COMBER DANT IT EXISA VOIR SENT REVAIT AFFRUT RESILLESTRAIS TES FLE LA FRESSE LES A POURMIT LE ELLES PLOIN DAN TE FOLUS BAIER LA COUSSEMBREVRE DE FOISSOUR SOUVREPIACCULE LE SACTUDE DE POU TOUT HEVEMMAIT M'ELQU'ILES SAIT CHILLES SANTAIT JOU CON NOSED DE RE COMMEME AVAIL ELLE JE TER LEON DET IL CED VENT J'ARLAMIL SOUT BLA PHYSIS LUS LE SE US VEC DES PEUSES PAU HAS BEAU TE EMANT ELLE PLANQ HEUR COIRACOUVRE BIENE ET LUI

Латинский (Вергилий), итальянский (Данте) и французский (Флобер) тексты третьего порядка знака. Заметим, что процедура непременно приводит к выбору знака, так как случайное число не может превышать сумму элементов массива.

На с. 104 на верхнем рисунке приведен образец случайного текста первого порядка. Он основан на массиве частот, составленном по тексту последней главы романа Дж. Джойса «Улисс», известной под названием «Итака» (или монолог Молли Блюм). У меня были основания для выбора именно этого отрывка: в случайном тексте отсутствует пунктуация, но это не имеет значения, так как ее нет и в исходном тексте.

Информация о частоте букв, отраженная в случайном тексте первого порядка, заметно улучшает его, хотя и этот текст трудно признать «читабельным». Средняя длина слов (4,7 буквы) близка к ожидаемому значению (4,5 буквы), но отклонения отдельных слов от обычной для английского языка длины слишком велики и не отражают характерные для английского языка небольшие различия в длине слов. Внутренняя структура слов в тексте также не является «английской». Хотя частотность букв выдерживается, их последовательности совершенно случайны, поэтому «слова» не только не являются английскими, но и не могут ими быть. Такие последовательности букв, как WSTLNTTWNO или HIUOIMYTG, не только бессмысленны, но и невозможны. В случайном тексте, состоящем из 2000 букв, самым длинным узнаваемым словом оказалось слово RARE.

ЛЕДУЮЩИЙ шаг по усовершенст-Свованию генератора текста представляется нам решающим, так как его, по крайней мере теоретически, можно распространить до достаточно высокого уровня. В основе идеи лежит зависимость появления букв в английском слове от предшествующих букв. Так, после V наиболее вероятно появление E; после Q может появиться только U. Для каждого символа из общего множества знаков создается отдельная таблица частот. Частоты записываются в виде двумерного массива из 28 строк и 28 столбцов, составляющих в сумме 784 элемента. Образен такой таблицы изображен на этой странице. (Таблица «нормируется» по строкам, следовательно, сравнение возможно только в пределах строки.)

Когда текст порождается при помощи двумерного массива, самый послед-

ний отобранный знак определяет, какую строку надо исследовать для выбора следующего знака. Например, если этим знаком является В, исследоваться будут только элементы второй строки. В этой строке наиболее часто встречается буква Е, поэтому наиболее велика вероятность, что выбор падет именно на Е. Могут быть отобраны также буквы А, I, L, O, R, S и U. Невозможные комбинации букв, такие, например, как ВF и BQ, имеют нулевую частотность, поэтому они никогда не будут на выходе.

В случайном тексте второго порядка начинают появляться первые намеки на реально существующие в языке структуры. Диапазон распределения длин слов только немного больше, чем ему следовало бы быть. Встречаются настоящие английские и «почти настоящие» слова (например, SPPRING или THIMES). Часто появляются диграфы, такие, как ТН, и чередования гласных и согласных.

Следующий шаг совершенно очевиден. Алгоритм третьего порядка выбирает буквы в соответствии с вероятностями, определяемыми двумя предшествующими буквами. Это требует трехмерного массива, состоящего из 28 двумерных, каждый из которых в свою очередь состоит из 28 строк и 28 столбцов. Предположим, что при порождении текста была получена последовательность букв ТН. После этого программа должна обратиться к 20-й плоскости (соответствующей Т) и к 8-й строке этой плоскости (соответствующей Н). Наиболее вероятно, что в этой строке будет выбран знак Е, хотя А, І, О и знак интервала тоже имеют ненулевые вероятности. Если будет выбран Е, то дальнейший поиск надо вести в 5-й строке 8-й плоскости (позиция последовательности НЕ). Здесь наиболее вероятными знаками окажутся R и интервал между знаками.

В порожденном тексте третьего порядка последовательности из трех букв появляются только, если они имеются в исходном тексте. Включение интервалов между словами в расчет вероятностей гарантирует, что все однобуквенные слова действительно существуют в языке (на самом деле изолированно могут появиться только буквы I и А). Практически же все двухбуквенные слова и большинство трехбуквенных являются настоящими английскими словами, и, таким образом, работа программы значительно перекрывает «гарантии». Сплошь и рядом возникают длинные цепочки слов: PUT TO SQUAD TRADE OFF GIN GO ME HER. Даже совсем длинные «не слова» имеют некоторое фонетическое правдоподобие. В конце концов то, что в английском языке сочетание букв ANYHORDANG HOUP TREAFTEN

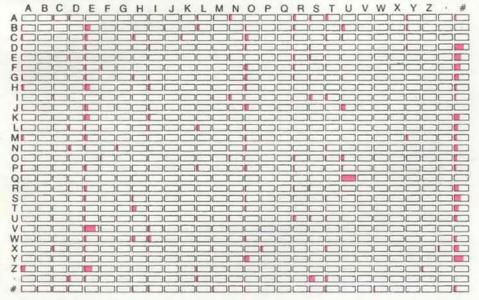


Таблица частот второго порядка для создания случайного текста на основе III акта «Гамлета»

SO THE I WIT TO ME LING THE NOT AND THE THE OF HE LIKE OF MAND TO OFF WITHE HER SOME I WIT THE THE I HE WAS TO POING ANDEAT THE GET THE ON THING ING THE THE THE BEAKE CULD THE SAING A COUR I SOME ME WHAT THE THE HER HE TH US A LOO ME WIT SAID THE LOO MY THE BECAND THE ME THER THE THE THE A THE WAY OF I WO I HE PUT THE WHE HATS THE TO THE AND THE IT IT ING HE OF THE THENT OF CAUST THE ME THE ING TO PING AND HAT POSE SOME COU FOREAR THE THE THE TO THER A SURST WHE WAS A THER AND THE NOT TO THE THE I COULD LIKE THIM BE LIKE THAT I SHE TH HE I WO ST A WITHER WHOW BE WOME HING THE ONG SING ORE A ITHE SOMEN THE ING HE AND WAS I AND HIM ON THE WAY AND ME SHE KE IT SOME A THAT WAS OF TO GET

Случайный текст, созданный на основе монолога Молли Блюм с помощью таблицы частот, каждый элемент которой возведен в квадрат бессмысленно, представляется чистой случайностью.

Читая образец случайного текста третьего порядка, я вспомнил о различных случаях смешения действительно существующих в языке слов с бессмысленными слогами, например о возникновении глоссолалии в молитвах пятидесятников. Можно предположить, что сходство между случайными текстами третьего порядка и этими явлениями имеет какой-то смысл. И может быть, люди, которые обладают навыками такого смешения, подсознательно проделывают статистический анализ, сходный с работой программы. Другое объяснение представляется мне более правдоподобным: для явления смешения слов и слогов и для глоссолалии характерно появление в речи множества фонем - основных единиц устной речи. Возможно, что трехбуквенные сочетания наиболее удачно представляют фонему в письменной речи.

В текстах третьего порядка явственно проступают стилистические черты исходных текстов. Чем больше различается стиль исходных текстов, тем заметнее различия случайных текстов, хотя точно определить, в чем именно состоят эти различия, невозможно. Я думаю, что в основе лежат свойства внутренней структуры текста, хотя и не имею точного представления о том, что представляет собой внутренняя структура прозаического произведения. Может быть, это то, что остается от текста, когда из него удален весь смысл?

Даже если в случайном тексте третьего порядка не удается определить особенности стиля автора, язык исходного текста определяется безошибочно по характеру распределения гласных и согласных и по типичным для данного языка окончаниям слов. На нижнем рисунке на с. 104 даны образцы латинского (Вергилий), итальянского (Данте) и французского (Флобер) текстов. Тем, кто представляет себе только «внешний вид» языка, не так просто отличить «эрзац-текст» от подлинного текста.

Прежде чем перейти к следующему этапу работы со случайным текстом третьего порядка, я хотел бы рассказать о некоторых возможностях использования таблиц частот букв. В одной из дискуссий об энтропии языка Беннет говорит, что с помощью этих таблиц можно оценивать количество информации, приходящейся в тексте на один знак. Количество информации приблизительно отражает трудность предсказания следующего знака в тексте. Она является наибольшей в тексте нулевого порядка, в котором любой знак имеет одинаковую вероятность; иными словами, количество информации оказывается наибольшим, когда текст абсолютно нечитабелен. Идею о

предсказуемости знаков можно использовать при решении задач об исправлении ошибок в системах дальней связи для создания алгоритмов расшифровки шифров и криптограмм.

ЗМЕНЕНИЯ массива частот с помощью различных действий являются еще одной областью, интересной для исследования. Например, какие изменения произойдут в случайном тексте, если каждый элемент массива возвести в квадрат? На нижнем рисунке на с. 105 изображен обработанный таким способом монолог Молли Блюм. Такая процедура подчеркивает различия

между элементами массива; соответственно изменяется распределение частот, и простые слова становятся еще проще. Возможен и ряд других преобразований. Увеличение всех элементов массива на одно и то же число действует разрушительно, даже если это число очень мало: все невозможные комбинации букв, для изгнания которых была проделана такая сложная работа, снова могут появиться в порожденном тексте.

Увлекательной представляется идея умножить весь массив на —1 для того, чтобы породить текст, например, Александра анти-Попа: после любой

ЧЕТВЕРТЫЙ ПОРЯДОК

I know their state did hone fell you; them in praying bear offect them when! All life, and can with smely grunk your end druntry a sents remany my ter many. Did he told admit down her thy to,- 'lise you we will nor whose unwatch devouth it not to that reved wisdom where you honour for we effere all begin, if your whose more own ambition branks, not of such spakes neglected would sould of Hamlet thance. To abountry word. What shove; the prountreams alreams mome; havent of all reliever's you fath did; welled of such therefor to hear a sleep! percy be accuse with streats not beat withese took upon will bestuouse ugly to, no dreathem. 'Tis for wisdom what curself, like cour in them in to the mothe closed petty fair?

пятый порядок

I, his soul, that are. To a nunnery. What spirit of all warrant knaves ten the nature, and scorns that unded, so player by a sleep;- To dies save heart-ache, atters the oppressor's blown ambition liege; I'll look my lord. O heart, and I'll give that he spokes thy origin and love. Her fault is night his fit, and quickly justice, and man's chaste as you now rights. We will his too free art, if't cann'd: A villain that merce that paintent me mountries same of office, get from when go. Oh, 'tis somethings and drift of him in. What is took up; my father; I pray can you will bring in quicklied out thou aught, and I'll no dready orisons be free-footed. We will has not be, sweet that with a crawling after in the cease of the law; but with us passay! Bow, stubborne me my mother aloof, what reply.

ШЕСТОЙ ПОРЯДОК

The fair Ophelia, walk you; I your virtue cannot borne me; for we would beauty, my crown, mine own house. Farewell. Oh, my lord. Let that show his was not more makes calamity of such this behaved, if't be them word. Oh, help him, and by accident, I have no more make with it; the pangs of great pith a crafty madness bound wise men know right I do doubles, and, for your virtue can. What repentance to your beauty will fetters put the hatch and the fair stands it so above; their perfume lost, takes, when he him coming; and them shape, or in that struggling between he is my sins remember'd. Good gentleman. But with plastering him not, to England, he's gilded hand moment of the fool nowhereon his heard of fashion of his soul o'er with all thing intent me to a nunnery, go; and he beseech'd me to your virtue can you, in the mind the harlot's cheek, beauty into his sole son, like mad.

СЕДЬМОЙ ПОРЯДОК

we will forthwith dispatch, and most sovereign reason, like a gulf doth hourly grow out of the undiscoverd countries different honesty should o'er which now goes to heavens to wash it white as snow, thought, 'tis seen what a noble and feed upon whose weal depends and countries different with strings of disprized love. How now, Ophelia? Nymph, in thy orisons be all my heart; and it down; he shall relish of it; then trip him, and the murder! Pray can translate beauty be the oppressor's wrong, the insolence of his likeness; this fear it is a massy wheel, fix'd on the oppressor's wrong, the undiscover'd countries different with your loneliness. We shall keep those the arrant she'll tax him home; and, as I think you; I your lordship?

восьмой порядок

Did he receive them. No, not I; I never gave you well, well, well. Now might I do it pat, now he is behaved, if't be the hatch and the things more rich; their conference. If she find him not, nor stands it safe with us to let his madness, keeps aloof, when he is drunk asleep, or in that should not have better commerce than with him; and am I then revenged, to take arms against a sea of troubles, and both neglected love, the glass of fashion of himself might I do it pat, now he is praying; and now I'll do it, and enterprises of great pith and most sovereign reason, like a man to double business bound, I stand in pause where you well, well, well, well, well. Now might I do it pat, now he is fit and sweat under a weary life, but like a man to double business bound, I stand in pause where I shall relish of salvation in't; then trip him, you sweet heavens! If thou dost marry, marry a fool; for which I did the murder?"

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

ЧЕТВЕРТЫЙ ПОРЯДОК

I was wasn't not it as I never know cotton his again the rushind. "Now to get me, and when we was jestill be Memphis. But first found I reach had at like, and him. We sides in a soldier. I cars give you in as there dog if hearl Harbor. It will no cab. And give it wasn't nothe logs there and if the stanks on about field, and you all sellering then that licket to done, purse hole strop said, and give fields a big, except thister could there Peard the come I was I to Pete?"

пятый порядок

Come in. Tell me all the back and I told him no mind. Then the other bus stopped backing good, I really don't before. We set the bus fellered. And I et them. When he was and jump backing and I hear him. "If I do," there, and it, with the said, "Here we was wropped. A man don't he got on are back. He soldier with them. Then then he county. Then into the bus feller. "I just soldier with strop said. "What?" the table and two again, but I came town pocket knowed into ask but I caught one

шестой порядок

"The train and I would pass a patch on his arm. He hadn't never paid that," I said. "I'm going the knife up to see Pete Grier. Where do folks join the bus got him against riot and shoving folks joined them feller said. "Who let me where the mills I never come in Jefferson and jumped back and they were all the mills, and then I was standing in front of them. Where's Pete was gone. Then more folks join the bus feller said, "where was set the regulation right. I never come on.

СЕДЬМОЙ ПОРЯДОК

"What?" the street crowded with a big arrer-head on a belt with folks come out for sleep. But I couldn't ketch on how to do so much traveling. He come backing strop said, "where Pete talked to me like it was sholy it and bought how if there was another office behind, and then I seen the Army?" "What the soldier said, "Where's Pete?" Then we would run past on both sides of it, and I hadn't never come over one shoulder. "What the room. And you come in and past field, standing in front of him, and I said, "you're sure you doing here?" he said. "I ain't yet convinced why not,"

восьмой порядок

"Who let you in here?" he said. "Go on, beat it." "Durn that," I said, "They got to have wood and water. I can chop it and tote it. Come on," I said, "Where's Pete?" And he looked jest like Pete first soldier hollered. When he got on the table, he come in. He never come out of my own pocket as a measure of protecting the company against riot and bloodshed. And when he said. "You tell me a bus ticket, let alone write out no case histories. Then the law come back with a knife!"

Случайные тексты четвертого — восьмого порядков, созданные на основе отрывков из рассказа У. Фолкнера «Два солдата»

четвертый порядок

"Why, so much histated away of Bosty foreignaturest into a greached its means we her last wait it was aspen its cons we had never eyes. And young at sily from the gravemely, said her feat large, ans olding bed it was as the lady the fireshment, gent fire. Ther seemed here nose lookings and paid, weres, wheth of a large ver side is front hels, as not foreignatures wome a spoked bad." "Wait of press of hernall in frizzled, or a man spire. An at firmed." "My deal man.

пятый порядок

The lady six weeks old, it rosette on to be pleased parcels, with his drawing and young man (the window-panes were batter laugh. "I this drawing and she fire?" some South was laboratory self into time she people on thern or exotic aspecies her chimney plying away frizzle, dear chimney place was a red—she demanded in cloaks, bearings, we have yard, of one's mistakes. She helmsman immed some on to the most interior. The windows of proclaimed.

ШЕСТОЙ ПОРЯДОК

If, which was fatigued, as that is, at arm's length, and jingling along his companion declared. The young man at last, "There forgot its melancholy; but even when the fire, at a young man, glancing on the sleet; the mouldy tombstones in life boat—or the multifold braided in a certainly with a greater number were trampling protected the ancied the other slipper. She spoke English with human inventions, had a number of small horses. When it began to recognize one of crisp dark hair,

СЕДЬМОЙ ПОРЯДОК

But these eyes upon it in a manner that you are irritated." "Ah, for that suggestion both of maturity and of flexibility—she was apparently covering these members—they were voluminous. She had stood there, that met her slipper. He began to proclaim that you are irritated." "Ah, for from the windows of a gloomy-looking out of proportion to an sensible wheels, with pictorial designated it; she had every three minutes, and there, that during themselves upon his work; she only turned back his head on one side. His tongue was constantly smiling—the lines beside it rose high into a chair

восьмой порядок

"Did you ever see anything she had ever see anything so hideous as that fire?" she despised it; she demanded. "Did you ever see anything so—so affreux as—as everything?" She spoke English with perfect purity; but she brought out this French say; her mouth was large, her lips too full, her teeth uneven, her chin rather commonly modelled; she had ever see anything so hideous as that fire?" she despised it; it threw back his head on one side. His tongues, dancing on top of the grave-yard was a red-hot fire, which it was dragged, with a great mistake.

Случайные тексты четвертого — восьмого порядков, созданные на основе начала «Европейцев» Г. Джеймса последовательности букв в тексте «анти-Попа» появится буква, появление которой в тексте Попа наименее вероятно. Литературные достоинства этого текста можно оценить по заслугам, если в нем будет улавливаться сходство с сочинениями Кали Сибера. На самом деле получается беспорядочный набор знаков.

Не такой обескураживающий (хотя и очень далекий от вдохновляющего) результат получается, если сложить или перемножить два массива. Таким способом можно создать совместные работы писателей, сотрудничество которых в жизни немыслимо. Например, можно объединить Джейн Остин и Марка Твена или поэтов эпохи Китса (Байрон плюс Шелли). Но на самом деле мне хотелось бы получить нечто вроде «Байрон минус Шелли», «выжимку» различий между особенностями стиля обоих авторов. К сожалению, мне не удалось получить такие результаты. Большая часть информации в таблицах третьего порядка отражает лингвистические структуры, общие для всех писателей, пишуших на одном языке. После извлечения из таблиц этих общих элементов в них не остается почти ничего, кроме помех.

Есть и более серьезное соображение, объясняющее, почему вычитание из массива обречено на неудачу. Примерно 90% элементов в неизмененной таблице третьего порядка являются нулевыми и соответствуют большей части буквенных комбинаций, которые никогда не наблюдались в английском языке, например RJT или UUU. Обычно программа «не добирается» до этих элементов. Но после вычитания массив изменяется и попадание в строку, все элементы которой являются нулевыми, неизбежно. Я не вижу элегантного выхода из этого тупика.

ОЗДАНИЕ массива частот и порождение случайного текста не представляют особых трудностей. Настоящие трудности начинаются тогда, когда возникает потребность в большом объеме памяти, необходимом для хранения трехмерного массива модели третьего порядка. Мы ограничились набором из 28 знаков именно для того, чтобы свести размеры массива к минимуму. Даже при этом ограничении массив состоит почти из 22 000 элементов и каждому элементу требуются по крайней мере два бита. Одной из самых сложных задач является помещение массива и необходимых программ в память небольшого компьютера.

На следующем этапе приближения каждая буква выбирается в соответствии с вероятностями, определяемыми тремя предшествующими буквами. Для этого нужен четырехмерный массив, включающий более 600 000 элементов. В 1977 г. Беннет опубликовал в

журнале «Аmerican Scientist» статью, в которой привел образцы текста четвертого порядка, порожденного с помощью такого гигантского массива. Кроме того, в своем учебнике он писал по поводу моделирования текстов четвертого порядка, что «оно достигло предела реальных возможностей даже при условии доступности самых больших компьютеров». Что же касается исследователей, в распоряжении которых имеются только небольшие компьютеры, то они вообще не имеют возможности работать с текстами четвертого порядка.

Однако возникновение «практических ограничений» вызывает естественную реакцию - стремление их преодолеть. Если рассматривать эту проблему с другой точки зрения, то перспективы окажутся не такими безнадежными. Мы уже говорили, что в массиве третьего порядка большинство чисел являются нулями. Можно ожидать, что доля нулевых элементов в массиве четвертого порядка будет значительно больше. Мое предложение сводится к следующему: вместо того чтобы хранить в памяти компьютера огромный четырехмерный массив, я предлагаю заменить его маленькими одномерными массивами. Каждый такой массив эквивалентен одной строке четырехмерного массива. Строка состоит только из ненулевых элементов, и этим определяются ее размеры. Строки, состоящие только из нулевых элементов, вообще исключаются.

Я думаю, что этот план вполне осушествим, несмотря на его кажущуюся хаотичность. Размещение в памяти более 10000 массивов, размер которых колеблется от 1 до 28 элементов, - занятие достаточно неприятное. Поэтому я постарался найти более простой путь. Оказывается, можно породить случайный текст достаточно высокого порядка с помощью множества знаков. включающего весь алфавит, а также любые другие знаки, которые способен воспроизводить компьютер. Плата за «удобство» этого метода заключается в том, что программа работает примерно в десять раз медленнее.

Все описанные выше примеры привели меня к размышлениям об альтернативах и предельных ограничениях при создании массивов. Предположим, что исходный текст, использующий алфавит из 28 букв, состоит из 10 001 знака. Тогда порядок наибольшей возможной таблицы, описывающей структуру этого текста, будет 10000. Таблица имеет размерность 10 000 и состоит из 2810000 элементов, последнее число настолько огромное, что воображение отказывается его воспринимать. Кроме того, только один элемент из всего этого немыслимого массива является ненулевым. Его позицию в массиве уточняют первые 10 000 знаков исходного текста, а значение — значение последнего знака в тексте. Даже если бы кто-нибудь мог создать такой массив (на самом деле Вселенная не настолько велика, чтобы вместить его), сама идея затратить так много усилий, для того чтобы иметь возможность опознать один-единственный знак, может вызвать только возмущение и раздражение.

РИ СОЗДАНИИ массивов более низких порядков ощущение диспропорции не вызывает таких бурных эмоций, хотя и не исчезает полностью. Дело в том, что вся информация, которая могла бы быть заложена в массив любых размеров, присутствует в исходном тексте в наиболее компактном виде. (Аргументировать это утверждение очень трудно, так как в нем имеются элементы тавтологии. То, что отражено в массиве частот, является частотой последовательностей знаков в тексте: эти и только эти последовательности имеются в исходном тексте, и именно они отражены в массиве частот.)

При порождении случайного текста методом, подсказанным этими рассуждениями, происходит следующее. Создается отдельная таблица частот. Это небольшой одномерный массив, содержащий столько элементов, сколько их включено в текстовую выборку. Я остановился на 90 знаках. Весь исходный текст вносится в память компьютера и накапливается (в простейшем случае) в виде непрерывной «цепочки» знаков. После этого отбирается последовательность знаков, с которой начнется случайный текст. Назовем ее пробной строкой.

Ячейки в массиве частот заполняются путем поиска пробных строк по всему исходному тексту. Причем если пробной строкой является, например, «gain», то в процессе поиска будут идентифицированы не только собственно «gain», но и «gain», «again»,

70 LOCATE 3,10: PRINT "About" "to " TASK\$;

1220 IF FILEQUERY THEN ASCII=32: INS=" "

«адаіпst», «bargain» и т.д. В некоторых языках программирования имеется специальная команда для такого поиска: в Бейсике она называется «INSTR» (от англ. in string — в цепочке), а в языке С — «stcpm» (от англ. string pattern match — соответствующее цепочечной модели). Как только найдена пробная строка, из текста извлекается следующий знак, и массив частот увеличивается на 1. По окончании поиска по всему тексту массив оказывается заполненным.

Следующий шаг заключается в выборе случайного знака из массива частот. Процедура точно соответствует моделированию текста первого порядка; производится последовательное вычитание из случайного множества знаков, и печатается знак, соответствующий выбранному элементу массива. После этого вся процедура повторяется. Создается новая пробная строка, из которой удалена первая буква, а к концу добавлен только что порожденный знак. После того как весь исходный текст исследован таким образом, мы получаем новый массив частот.

Анализ исходного текста и создание массива частот требуют повторения процедуры для каждого порождаемого знака, поэтому программа работает очень медленно. Компенсацией является возможность писать прозаические тексты любого теоретически допустимого максимального порядка, т.е. тексты, которые будут короче длины исходного текста. Примеры текстов от четвертого до восьмого порядков приведены на с. 106, 107. Тексты четвертого и пятого порядков представляются мне наиболее интересными. С одной стороны, большая часть последовательностей букв в этих текстах является реально существующими в языке словами и слияниями двух-трех слов, с другой - они несут отпечаток явной бессмыслицы.

Проза четвертого порядка, создан-

```
140 N=2: P$="Change the printed?";
360 IF ANS="N" OR ANS="n" THEN GOSUB 880
500 GOSUB 960
520 PRINT CHR$(140): RETURN
630
     FOR I=0 TO 90
690
     NEXT J
       N=N+1: GOSUB 980: GOTO 650
730
750
     NEXT J
760
     IF CODE=0 THEN SPACEPOS=58: GOSUB 880
     IF GEN > = RANO THEN PRINT ""ABOUT TO BE PRINTED PRINT":
790
820 CHRPT$, WDRPT$=S$+"Words generated: "+STR$(WORDCOUNT+2: RETURN
920 AN$=INKEY$: IF QUIT$="q" THEN PRINT "Is the output line
1040 'Y or N
1050 PRINT WDRPT$=$$+"Words generated?"
1060 AN$=INKEY$: IF LEN(TEXT$): WORDCOUNT+2: RETURN
1120 GOSUB 1300 IF PRINT CHR$(27)"E" GOSUB 900: IF NOT OK THEN 810
1160 'get ran
1200 IF SPACEPOS=0
```

ная «обезьяной Эддингтона», ярко индивидуальна. В текстах легко выделяются поверхностные признаки стилевых черт авторов - шекспировские архаизмы или фолкнеровские южные диалектизмы с Миссисипи. Но и тексты без такой ярко выраженной стилевой индивидуальности легко идентифицируются. Не очень понятно, почему и каким образом это достигается. Порядок слов не сохраняется, а слова (кроме одно- и двухбуквенных слов) легко подвергаются изменениям. Тем не менее в текстах «прорывается» голос автора. Я не мог предположить, что стиль Генри Джеймса выдержит многократный перебор четырехбуквенных последовательностей.

В текстах пятого порядка явственно проступают особенности как лексики, так и содержания исходного текста, и возможность установления авторства больше не вызывает сомнений. Я думаю, что те, кто может узнать хорошо знакомого писателя по небольшому отрывку, без труда узнают его и в тексте пятого порядка, основанном на его произведениях.

Имеется еще один интересный аспект приближения текстов четвертого и пятого порядков к настоящей английской прозе. Он демонстрирует интересную особенность человека - его стремление находить смысл и сходство даже там, где их нет. Сходство внутренних структур подлинных произведений литературы и их рандомизированных версий сплошь и рядом зависит от стремления читателя интерпретировать то, что он видит, и не является признаком действительной корреляции между текстами. Напрашивается способ проверки этого наблюдения. Естественно, что компьютер не умеет читать между строк. Имея это в виду, я подверг обработке алгоритмами высшего порядка текст, написанный на Бейсике, — программу, которая сама уточняет алгоритмы. Результаты этой обработки, больше всего напоминающие испорченные программы (такие программы я когда-то писал сам), были подвергнуты беспристрастной проверке. Их запустили в программу, обрабатывающую команды на Бейсике (забавно, что программа называется ИНТЕРПРЕТЕР), чтобы посмотреть, как они будут работать. Проверка эта не так однозначна, как хотелось бы. Команды программы, приемлемые для обработки обычных текстов, могут оказаться невыполнимыми, так как в программе нет необходимых данных. Как бы то ни было, достаточное количество команд было осуществлено без сообщений ИНТЕРПРЕТЕРА об ошибках, только когда мы дошли до седьмого порядка.

менее интересным прежде всего потому, что он становится менее случайным. Выше я показал, что при моделировании самого высшего возможного порядка будет порожден ровно один знак, и в его тождестве нет ничего неожиданного. На самом деле предсказуемость появляется на гораздо более низком уровне аппроксимации. В исходном тексте из 30000 знаков любая последовательность приблизительно из дюжины знаков с большой вероятностью будет единственной. И конечно, она не будет встречаться настолько часто, чтобы стать надежной основой для измерения статистических свойств текста. Мы получаем на выходе не случайный текст, а «обломки» исходного текста

Я вижу единственную возможность избежать катастрофы: увеличить дли-

ну исходного текста. Длина текста изменяется экспоненциально при изменении порядка моделирования. Уже для пятого порядка необходимая длина составляет около 100000 знаков, т.е. значительно больше, чем число знаков в любом из образцов, приведенных выше, которые были мне доступны. При моделировании десятого порядка необходимо иметь исходный текст из десяти миллиардов знаков. На этом уровне вновь возникает проблема памяти и времени, необходимого, чтобы произвести полный поиск по всему тексту для каждой пробной строки. На самом деле имеется еще одно фундаментальное ограничение: продолжительность человеческой жизни. Даже самые плодовитые авторы не могут написать так много.

ИЗдательство МИР предлагает:

К. Бургер

СОЛЬВАТАЦИЯ, ИОННЫЕ РЕАКЦИИ И КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ В НЕВОДНЫХ СРЕДАХ.

Перевод с английского

Книга известного венгерского ученого К. Бургера, неоднократно издававшегося в нашей стране, позволяет читателю ориентироваться в обширной литературе по катализу органических реакций, протекающих под влиянием металлов в неводных средах.

Содержание: Введение. Обшая характеристика растворите-Взаимодействие ритель — растворенное ство. Донорно-акцепторное взаимодействие. Донорная и акцепторная способности растворителя. Экспериментальные методы, используемые при изучении неводных растворов сложных систем. Влияние растворителя на структуру и устойчивость металлокомплексов в растворах. Влияние растворителя на кинетику и механизм реакции координации. Взаимодействия в смесях растворителей и их исследование. Общие положения при описании неводных систем. Перспективы области.

Для научных работников специалистов в области катализа, аналитической химии, неорганической химии.

1984, 22 л. Цена 3 р. 60 к.

Л. Герфорт, Х. Кох ПРАКТИКУМ ПО РАДИОХИМИИ И РАДИОАКТИВНОСТИ

Перевод с немецкого

Лабораторное руководство, написанное известными специалистами в области радиоактивности, ведущими также большую преподавательскую работу. В книге не только ставятся и решаются задачи обучения, но и на многочисленных примерах демонстрируются возможности и преимущества использования радиоизотопных методов в различных областях знания.

Книга представляет собой совершенно новое и оригинальное издание, сохранившее от «Практикума по радиохимии» тех же авторов (М.: ИЛ, 1963) его достоинства — погичность построения и изложения, типичность материала. В книге отражены успехи мировой, в том чиси е и советской науки в развитии научных основ радиоактивности, измерительной техники и радиохимии.

Для преподавателей, аспирантов и студентов химических вузов. Ряд разделов, связанных с новыми методиками и аппаратурой, будет полезен для специалистов, работающих в области атомной энергетики, охраны окружающей среды и других отраслях народного хозяйства.

1984, 36 л. Цена 2 р. 20 к.



ОСЛЕ щестого и седьмого порядков случайный текст опять становится

Наука и общество

Положение негритянского населения в США

ОТЯ американское общество и принято считать эгалитарным, хорошо известно, что в нем одни социальные группы пользуются меньшими общественно-экономическими благами, чем другие. В наибольшей степени это относится к черным гражданам США. В стране неоднократно принимались меры, направленные на устранение этого неравенства. Но можно ли сказать, что меры были успешными? Как следует из последних данных Бюро переписей, ответ на этот вопрос отрицательный. В докладе Бюро говорится, что по ряду показателей, отражающих социальное благосостояние, включая средний доход и стабильность семьи, за период с 1970 по 1982 г. положение черных по сравнению с белыми ухудшилось.

Приведенные в докладе данные взяты из нескольких источников, в том числе из результатов переписей 1970 и 1980 гг., ежемесячных выборочных демографических обследований, проводимых между переписями, а также из отчетов Бюро трудовой статистики, Национального центра статистики по здравоохранению и министерства обороны. Данные показывают, что за последнее десятилетие разница в материальном положении между негритянскими и белыми семьями полного состава несколько сократилась, тогда как в семьях без супруга эта разница увеличилась. Кроме того, число негритянских семей, возглавляемых женщинами, растет, и поэтому с 1970 г. уровень жизни черных в целом по сравнению с уровнем жизни белых снизился.

В 1980 г. черные в США составляли 12% всего населения. За десятилетие с 1971 по 1980 г. включительно средний доход всех негритянских семей (с учетом поправки на инфляцию) упал на 8,3%. За тот же период средний доход семей белых тоже стал ниже, но лишь на 2,7%. Таким образом, традиционно существующее в США экономическое неравенство между черными и белыми усугубилось. В 1971 г. средний доход всех негритянских семей составлял 60% от среднего дохода семей белых, а в 1981 г. этот показатель снизился до 56%.

Ухудшение экономического положения негров не было одинаковым для всех. Доходы негритянских семей, в которых были и муж, и жена, за последние 10 лет возросли на 7% в реальном выражении. Средний доход этой группы семей в 1981 г. составлял около 20 тыс. долл. Средний же доход семей, возглавляемых женщинами, снизился на 8% и составлял в указанном году 7,5 тыс. долл.

Снижение материального уровня жизни черного населения в целом в 70-е годы объяснялось в основном тем, что выросло относительное число неполных семей (женщин с детьми и без мужей). В 1972 г. в 32% негритянских семей не было мужей. К 1982 г. доля таких семей увеличилась до 41%, в то время как среди белого населения в том же году их было лишь 12%.

Рост относительного числа семей без мужей среди негритянского населения объясняется несколькими факторами. Гораздо меньшее число черных женщин, самостоятельно воспитывающих детей, состояло в официальном браке по сравнению с белыми женщинами с детьми. В 1982 г. 32% всех черных женщин, содержавших семью, никогда не были замужем, в то время как среди белого населения таких женщин было только 11%. Кроме того, среди негров разводы чаще, хотя десятилетие назад относительное число разводов резко возросло в обеих группах населения. Этот показатель, выражающийся числом разведенных на 1000 человек, состоящих в браке, для черного населения был равен 265 в 1982 г., т.е. значительно выше по сравнению с 1970 г., когда он был равен 104. Среди белых женщин относительное число разводов за тот же период выросло с 56 до 128. В результате столь значительного числа разводов, а также нежелания женщин выходить замуж даже после того, как они стали матерями, 34% всех детей, проживающих с одним родителем, в 1982 г. приходилось на долю негритянского населения, хотя всего черных детей в том же году от их общего числа в США было только 15%

Экономические трудности, с которыми приходится сталкиваться представителям негритянского населения США, и неполнота семейного состава взаимно влияют друг на друга, и в результате сейчас в стране значительно больше черных, живущих в бедности, чем десятилетие назад. Доход 8 млн. негров в 1970 г. был ниже уровня бедности, официально определенного федеральным правительством. В 1981 г. уже 9 млн. черных жили в бедности. В том и другом году это составляло 34% всего негритянского населения. Что же касается белых, то в 1981 г. лишь 11% из них жило ниже официального уров-

В чем же причина такого неравенства? Дело в том, что устранение правовых барьеров для негров не исключило экономических преград, которые удерживают их в ограниченном секторе экономики, и поэтому в периоды экономических спадов они первыми подлежат увольнению с работы. Когда в 1982 г. в США наблюдался самый вы-

сокий уровень безработицы со времен второй мировой войны, среди негров безработных было 19%, т.е. более чем в два раза больше по сравнению с белыми, среди которых безработными были 9%. Это соотношение (2:1) относительного числа безработных среди черных и белых было примерно таким же и в 1972 г., когда общий уровень безработицы в стране был значительно ниже. Таким образом, в условиях всеобщего ухудшения экономического положения исторически сложившееся отставание в уровне жизни черных продолжает сохраняться.

В конце 70-х годов негры, имевшие работу, по-прежнему занимали нижние «ступени» профессиональной занятости. По данным переписи 1980 г., черные в сфере квалифицированного гражданского труда в основном выполняли работу трех видов: 1) станочники, механики, производственные рабочие и чернорабочие; 2) техники, младший административно-управленческий персонал, работники по сбыту продукции и 3) работники сферы обслуживания. Во всех трех группах было занято 74% работающих черных.

При переписи используется более детальная классификация занятости, и среди представленных в ней видов работ имеются такие, на которых преимущественно заняты черные. Например, хотя черные составляют только около 10% всей рабочей силы, более половины всей домашней прислуги черные. Они же составляют одну треть всех сборщиков мусора и четверть работников почты, сиделок, санитарок и прочего обслуживающего персонала в больницах. И наоборот, из всех квалифицированных юристов, врачей и инженеров черных только 3%, а среди управляющих и руководящих административных работников их не более

Сотрудник Центра по исследованию демографических проблем при Мичиуниверситете Рейнольдз ганском У. Фарли и сотрудница Бюро переписей Сьюзен М. Бьянчи на основании данных, приведенных в упомянутом докладе, и результатов других исследований пришли к выводу, что негритянское население США делится на две группы: одна — это те, кто в своем стремлении занять положение «среднего американца» продвигаются вверх по лестнице социальной иерархии, другая - «прикованные» к низшему классу бедняки, обреченные влачить жалкое существование. Фарли и Бьянчи доказывают, что разрыв в уровнях социального и материального положения между самыми преуспевающими черными и теми, кто едва сводит концы с концами, за последние 10 лет стал значительно больше. Они пишут: «В сороковые годы почти все работающие черные были заняты в сельском хозяйстве,

чернорабочими на промышленных предприятиях или прислуживали в домах. По мере того как черные становились более образованными и вторгались в престижные профессиональные области, разрыв в социальном положении между «верхами» и «низами» увеличился».

Фарли и Бьянчи отмечают, что участь тех черных, кому живется хуже всех, на самом деле ужаснее, чем можно предположить, основываясь только на данных о занятости. Из числа самых обездоленных определенная категория черных вообще не учитывается в статистических данных по безработице. Речь идет о тех, кто, потеряв всякую надежду на получение работы, перестал ее искать. По словам Фарли и Бьянчи, относительное число безработных, отказавшихся от поиска работы, «...выросло с 3 до 5% среди белых, а среди черных этот показатель более чем удвоился, увеличившись с 5 до 12% за период с 1970 по 1980 г.».

В заключение авторы исследования пишут: «... два обстоятельства указывают на то, что положение черных американцев в будущем и всего американского общества в целом не улучшится. Одно из них — постоянно растущее число людей трудоспособного возраста, не имеющих или отказавшихся от поиска постоянной работы; другое все возрастающий разрыв в уровнях материального положения семей полного и неполного состава. В 1960 г. четверть всех неимущих черных жила в тех семьях, где средства на жизнь зарабатывали женщины; сегодня таких черных бедняков в США 60%. Дети, растущие в семьях без отцов, первыми пополняют следующее поколение неимущих и хронических безработных, а это свидетельствует о том, что в будущем социальное расслоение черных американцев будет еще более заметным».

Библиография

— — А ЧАВТНАН БЛИЖАЙИАЖИЛА АКТИВНАЯ ГАЛАКТИКА

ACTIVE GALACTIC NUCLEI, Edited by C. Hazard and S. Mitton. Cambridge University Press, 1979.

THE X-RAY STRUCTURE OF CENTAU-RUS A. E.D. Feigelson, E.J. Schreier, J. P. Delvaille, R. Giacconi, J. E. Grindlay and A. P. Lightman in *The Astrophysical Journal*, Vol. 251, No. 1, Part 1, pages 31—51; December 1, 1981.

EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES, Edited by David S. Heeschen and Campbell M. Wade. D. Reidel Publishing Co., 1982.

THE X-RAY JETS OF CENTAURUS A AND M87. Eric D. Feigelson and Ethan J. Schreier in *Sky and Telescope*, Vol. 65, No. 1, pages 6—12; January, 1983.

Шкловский И. С. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕ-МЕННОЙ АСТРОФИЗИКИ. — М.: Наука, 1982.

ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТА ГИДРОСМЕСЕЙ

The LAMINAR-TURBULENT TRANSITION FOR FLOW IN PIPES, CONCENTRIC ANNULI. AND PARALLEL PLATES. Richard W. Hanks in A.I.Ch.E.Journal, Vol. 9, No. 1, pages 45—48; January, 1963.

CROSS COUNTRY COAL PIPE LINE HYDRAULICS. E.J. Wasp, T.J. Regan, J. Withers, P.A. C. Cook and J. T. Clancey in *Pipe Line News*, Vol. 35, No. 7, pages 20—28; July, 1963.

SLURRY PIPING SYSTEMS: TRENDS, DE-SIGN METHODS, GUIDELINES. Thomas C. Aude, Norman T. Cowper, Terry C. Thompson and Edward J. Wasp in Chemical Engineering, Vol. 78, No. 15, pages 74—90; June 28, 1971.

Движение гидро- и аэросмесей горных пород в трубах/Под ред. А.О. Спиваковского, А.Е. Смолдырева. — М.:Недра, 1966.

Климентов А. Н. О потерях напора в трубах при движении гидромассы. Изв. АН СССР, 1939. № 8, с. 19—38.

Офенгенден Н. Е., Джваршеишвили А. Г. Технология гидродобычи и гидротранспортирования угля. — М.: Недра, 1980.

Слезкин Н. А. Дифференциальные уравнения движения пульпы. — дан СССР, 1951, Т. 79, № 5, с. 755; 1952, Т. 86, № 2, с. 235—237.

Смолдырев А.Е. ТРУБОПРОВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ. — М.: Недра, 1980.

Юфин А. Н. Напорный гидротранспорт. — М.: Госэнергоиздат, 1950.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОСНОВЫ РАКА

PASSAGE OF PHENOTYPES OF CHEMI-CALLY TRANSFORMED CELLS VIA TRANS- FECTION OF DNA AND CHROMATIN. Chiaho Shih, Ben-Zion Shilo, Mitchell P. Goldfarb, Ann Dannenberg and Robert A. Weinberg in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 76, No. 11, pages 5714—5718; November, 1979.

ONCOGENES OF SPONTANEOUS AND CHEMICALLY INDUCED TUMORS. R. A. Weinberg in *Advances in Cancer Research*, Vol. 36, pages 149—163; 1982.

ONCOGENES. J. Michael Bishop in Scientific American, Vol. 246, No. 3, pages 80—92; March, 1982. (Имеется перевод: Бишоп Дж. Онкогены, «В мире науки», январь 1983, с. 65.)

АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАСКОПКИ ВЕЛИКОГО НОВГОРОДА

НОВГОРОДСКИЙ СБОРНИК, 50 ЛЕТ РАС-КОПОК НОВГОРОДА/ПОД РЕД. Б. А. КОЛчина и В. Л. Янина, — М.: Наука, 1982.

АРХЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ НОВ-ГОРОДА/ПОД ред. Б. А. КОЛЧИНА И В. Л. Янина. — М.: Наука, 1978.

НОВГОРОДСКИЕ ГРАМОТЫ НА БЕРЕСТЕ. Т. 1—7. — М.: Наука, 1953—1978.

Колчин Б. А., Хорошев А. С., Янин В. Л. Усадьба новгородского художника XII в. — М.: Наука, 1981.

Янин В. Л. Я ПОСЛАЛ ТЕБЕ БЕРЕСТУ... — М.: Издательство МГУ, 1975.

Янин В. Л. НОВГОРОДСКАЯ ФЕОДАЛЬ-НАЯ ВОТЧИНА. — М.: Наука, 1981.

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ СВЕРХСТРУКТУРЫ

SUPERLATTICE AND NEGATIVE DIFFER-ENTIAL CONDUCTIVITY IN SEMICONDUC-TORS. L. Esaki and R. Tsu in *IBM Journal* of *Research and Development*, Vol. 14, No. 1, pages 61—65; January, 1970.

ELECTRON STATES IN CRYSTALS WITH "NIPI-SUPERSTRUCTURE". G. H. Döhler in *Physica Status Solidi* (b), Vol. 52, No. 1, pages 79—92; July 1, 1972.

ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF CRYSTALS WITH "NIPI-SUPERSTRUCTURE". G. H. Döhler in *Physica Status Solidi* (b), Vol. 52, No. 2, pages 533—545; August 1, 1972.

CONFINED CARRIER QUANTUM STATES IN ULTRATHIN SEMICONDUCTOR HETERO-STRUCTURES. Raymond Dingle in Festkörperprobleme/ Advances in Solid State Physics, Vol. 15, pages 21—48, 1975.

ELECTRONIC PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL SYSTEMS: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE ELECTRONIC PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL SYSTEMS. In Surface Science, Vol. 73; May, 1978.

INAS-GASB SUPERLATTICES — SYN-THESIZED SEMICONDUCTORS AND SEMIME-

ИЗдательство МИР предлагает:

Л. Маргелис РОЛЬ СИМБИОЗА В ЭВОЛЮЦИИ КЛЕТКИ

Перевод с английского

Монография известного американского специалиста по происхождению жизни посвящена интересной проблеме — происхождению клеток зукариот в результате симбиоза. В монографии детально излагаются суть теории симбиоза и те фактические данные, на которых она основана, геологические и физические предпосылки возникновения жизни, ранние этапы формирования обмена веществ, история возникновения различных клеточных органелл.

Предназначена для эволюционистов, цитологов, молекулярных биологов, зоологов, ботани-

ков, палеонтологов.

1983, 40 л. Цена 4р. 30к.

Дж. Симпсон ВЕЛИКОЛЕПНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ История млекопитающих Южной Америки

Перевод с английского

Книга известного американского ученого посвящена эволюции млекопитающих Южной Америки, развивавшихся в условиях изоляции на протяжении большей части кайнозойской эры. Рассмотрены общеэволюционные аспекты — влияние изоляции, факторы биоценотических сукцессий, влияние животныхиммигрантов на перестройку флоры и фауны континента, явления параллельного и конвергентного развития.

Предназначена для зоологов, палеонтологов, биогеографов, а также биологов других специальностей.

1983, 16 л. Цена 1р. 50к.



TALS. L. Esaki in Journal of Crystal Growth, Vol. 52, Part 1, pages 227—240; April, 1981.

ELECTRONIC PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL SYSTEMS: PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFEREN-CE ON ELECTRONIC PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL SYSTEMS. In Surface Science, Vol. 113, Nos. 1—3; January, 1982.

Костенко А. А., Кузнецов О. А., Толомасов В. А., Филатов О. Н., Хлопов Г. И., Шестопалов В. П. НЕЛИНЕЙНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОБЪЕМНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ СО СВЕРХРЕШЕТКОЙ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН. — ДАН СССР, 1983, Т. 271, № 6, с. 1360—1362.

Голубев Л. В., Леонов Е. И., Сверх-РЕШЕТКИ. — М.: Наука, 1977.

АДАПТАЦИЯ ЖУКОВ-ЗЕРНОВОК К ЯДОВИТЫМ СЕМЕНАМ

CHEMICAL ECOLOGY. Ernest Sondheimer and John B. Simeone. Academic Press, 1970.

INTRODUCTION TO ECOLOGICAL BIO-CHEMISTRY, J. B. Harborne. Academic Press, 1982.

THE NON-PROTEIN AMINO AND IMINO ACIDS: BIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND TOXOLOGICAL PROPERTIES. Gerald A. Rosenthal. Academic Press, 1982.

ИЗВЕРЖЕНИЕ КРАКАТАУ

THE KRAKATOA ERUPTION. R. D. M. Verbeek in *Nature*, Vol. 30, No. 757, pages 10—15; May 1, 1884.

THE ERUPTION OF KRAKATOA AND SUB-SEQUENT PHENOMENA. Edited by G.J. Symons. Trübner and Co., 1888.

THE KRAKATOA AIR-SEA WAVES: AN EXAMPLE OF PULSE PROPAGATION IN COUPLED SYSTEMS. David Harkrider and Frank Press in *The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 13, Nos. 1—3, pages 149—159; July, 1967.

TSUNAMIS OF VOLCANIC ORIGIN: SUM-MARY OF CAUSES, WITH PARTICULAR REFERENCE TO KRAKATOA, 1883, J.H. Latter in *Bulletin Volcanologique*, Vol. 44, No. 3, pages 467—490; 1981.

THE 1883 ERUPTION OF KRAKATAU. Stephen Self and Michael R. Rampino in *Nature*, Vol. 294, No. 5843, pages 699—704; December 24/31, 1981.

Апродов В. А. ВУЛКАНЫ. — М.: Мысль, 1982.

Раст X. Вулканы и вулканизм. — М.: Мир, 1982.

СОЦИАЛЬНАЯ АРХЕОЛОГИЯ МЕГАЛИТИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ

BEFORE CIVILISATION: THE RADIOCAR-BON REVOLUTION AND PREHISTORIC EUROPE, Colin Renfrew, Cambridge University Press, 1979.

INVESTIGATIONS IN ORKNEY. Colin Renfrew. Society of Antiquaries, distributed by Thames and Hudson, 1979.

MEGALITHIC MONUMENTS. Glyn Daniel in Scientific American, Vol. 243, No. 1, pages 78—90; July, 1980.

НАУКА ВОКРУГ НАС

WAVE-MAKING BY WHIRLIGIG BEETLES (GYRINIDAE). Vance A. Tucker in *Science*, Vol. 166, No. 3907, pages 897—899; November 14, 1969.

COMMUNICATION BY SURFACE WAVES: MATING BEHAVIOR OF A WATER STRIDER (GERRIDAE). R.Stimson Wilcox in Journal of Comparative Physiology, Vol. 80, pages 255—266; 1972.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

SCIENTIFIC AND ENGINEERING PROB-LEMSOLVING WITH THE COMPUTER. William Ralph Bennett, Jr., Prentice-Hall, Inc., 1976.

How ARTIFICIAL IS INTELLIGENCE? W. R. Bennett, Jr., in *American Scientist*, Vol. 65, No. 6, pages 694—702; November — December, 1977.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 30.12.83. По оригинал-макету. Формат 60 × 90 /л. Гарнитуры таймс, гелиос Офсетная печать, Объем 7,00 бум. л. Усл.-печ. л. 14,00, Уч.-изд. л. 18,23 Усл. кр.-отт. 50,36 Изд. № 36/3471. Заказ 697-83 Тираж 20000 экз. Цена 2 р. Издательство «Мир» Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик» Типография В/О «Внешторгиздат» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.



127576, Москва, Илимская, 7

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

У13дательство **МИР** предлагает:

Л. Ярас, Л. Хоффман, А. Ярас, Г. Обермайер

ЭНЕРГИЯ ВЕТРА

Перевод с английского



Ветер — один из наиболее распространенных потенциальных источников энергии. Использование его весьма перспективно. В последнее время появились новые технические возможности, и интерес к использованию энергии ветра значительно возрос.

Предлагаемая вниманию читателя монография группы специалистов из ФРГ посвящена вопросам использования энергии ветра для выработки электрической энергии с помощью ветроэлектрических станций (ВЭС) большой мощности, включенных в объединенные системы электроснабжения. В книге на основе системного анализа проблемы дана оценка технического и экономического потенциала энергии ветра в ФРГ, показаны возможности ее использования для производства электрической энергии и экономии традиционных видов жидкого и твердого топлива.

Наибольший интерес представляют разделы книги, в которых рассмотрены экономика ветроэнергетики и эффективность использования ВЭС, имитационная модель использования энергии ветра в единой энергосистеме и способы улучшения качества энергии, вырабатываемой ВЭС.

Методические положения, оценки, результаты и рекомендации даются применительно к условиям и особенностям ФРГ, но имеют общий характер. Материалы, которые приводятся в книге, существенно дополняют то, что опубликовано по данной проблеме в отечественной литературе и за рубежом.

Книга предназначена в первую очередь для научных работников и инженеров, работающих в области использования энергии ветра, специалистов-энергетиков, лиц, занимающихся планированием развития топливноэнергетического комплекса страны, экономистов, разрабатывающих проблемы повышения эффективности электроснабже-

1982, 256 стр. Цена 2 р. 50 к.



В следующем номере:



АЭРОДИНАМИКА АППАРАТОВ, ДВИЖИМЫХ МУСКУЛЬНОЙ СИЛОЙ ЧЕЛОВЕКА

СОВРЕМЕННЫЕ ЛЕДОКОЛЫ

ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ НА ИО — ОДНОМ ИЗ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА

> РАННИЕ СЕЛЬСКИЕ ОБЩИНЫ НА ЕВРОПЕЙСКОМ КОНТИНЕНТЕ

СТРУКТУРА ДВОЙНОЙ СПИРАЛИ ДНК

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ

СМЕНА ЖЕРТВЫ В ПРОСТОЙ ЭКОСИСТЕМЕ ОСТРОВА НЬЮФАУНДЛЕНД

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ИЛЛЮЗИЙ

КОНЕЧНЫЕ АВТОМАТЫ: ИХ РОЛЬ В ТЕОРИИ И ПРАКТИКЕ ПОСТРОЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЖИДКОСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА