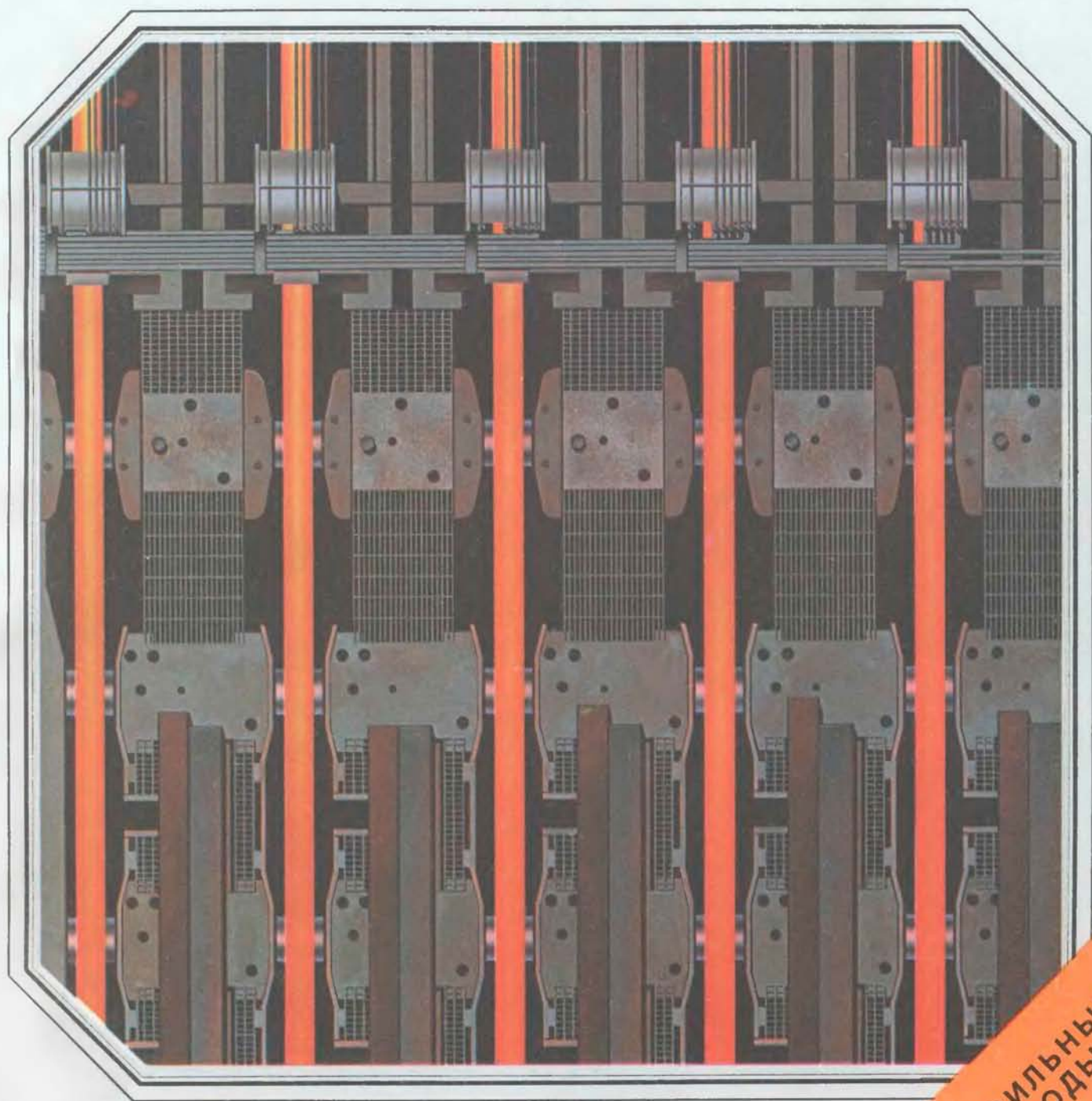


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Июль **7** 1984

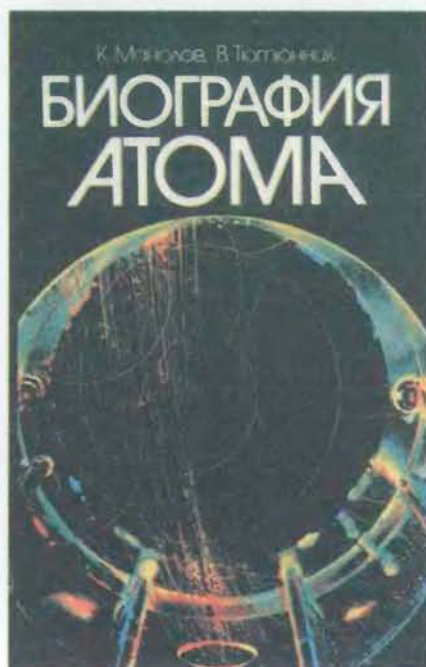
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ
МИНИ-ЗАВОДЫ

Издательство **МИР** предлагает:

Манолов К., Тютюнник В.

БИОГРАФИЯ АТОМА

Перевод с болгарского



В книге в «романизованной» форме рассказана история открытия строения атома, первых опытов по овладению атомной энергией. Большое внимание уделено биографиям ученых, работавших в этой области. Чита-

тель как бы побывает в лабораториях выдающихся ученых-атомщиков и сможет проследить за их творческим процессом, ведущим к открытиям.

Для широкого круга читателей.

1984, 15 л. Цена 1 р. 10 коп.



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

№ 7 · ИЮЛЬ 1984

В номере:

- СТАТЬИ**
- 4 **Сталеплавильные мини-заводы** *Джек Роберт Миллер*
Сектор сталеплавильной промышленности США, представляемый мини-заводами, в настоящее время расширяется и преуспевает. Эти предприятия, использующие стальной лом в качестве сырья, выпускают продукцию ограниченного сортамента для местного рынка. Вместе с тем в стране закрываются некоторые крупные заводы с полным металлургическим циклом
(Scientific American, May 1984, Vol. 250, No. 5)
- 14 **Океанические зоны разломов** *Энрико Бонатти, Кэтлин Крэйн*
Разломы рассекают края плит, из которых состоит океанское дно. Некоторые из них пересекают весь океан
(Scientific American, May 1984, Vol. 250, No. 5)
- 28 **Как рецепторы затягивают белки и частицы внутрь клеток** *Алиса Дотри-Варса, Харвей Ф. Лодии*
Клетки захватывают специфические крупные молекулы путем эндоцитоза, в котором принимают участие клеточные рецепторы. В большинстве случаев рецепторы, доставив лиганд внутрь клетки, возвращаются в плазматическую мембрану для связывания новых молекул лиганда
(Scientific American, May 1984, Vol. 250, No. 5)
- 36 **Машины Тьюринга** *Джон Хопкрофт*
По своему логическому устройству каждый цифровой компьютер не что иное, как одна из умозрительных машин, изобретенных английским математиком А. М. Тьюрингом. Эти машины определяют пределы вычислимости
(Scientific American, May 1984, Vol. 250, No. 5)
- 48 **Паразиты, которые изменяют поведение своего хозяина** *Дженис Мур*
Изменяя поведение своего хозяина, паразиты делают его более уязвимым для нападения со стороны хищника, являющегося их следующим хозяином. Колючеголовые черви представляют собой таких паразитов: они заражают мокриц, а тех поедает певчие птицы
(Scientific American, May 1984, Vol. 250, No. 5)
- 56 **Раздувающаяся Вселенная** *Алан Г. Гут, Пол Дж. Стейнхардт*
Согласно новой космологической теории, наблюдаемая Вселенная вкраплена в гораздо более протяженную область пространства. Эта область за доли секунды после начала расширения из сингулярного состояния претерпела грандиозное увеличение размеров
(Scientific American, May 1984, Vol. 250, No. 5)
- 72 **Стоянка индейских охотников с 20-тысячелетней историей заселения**
Дж. М. Адовейзио, Р. К. Карлайл
Скальное убежище в западной Пенсильвании периодически заселялось людьми приблизительно с 19-го тысячелетия до н.э. и до 1-го тысячелетия н.э. Результаты раскопок этой стоянки вносят дополнительный аспект в историю появления человека в Западном полушарии
(Scientific American, May 1984, Vol. 250, No. 5)
- 80 **Эпидемии кори в Исландии** *Эндрю Клифф, Питер Хаггет*
Изучение эпидемий в небольших изолированных популяциях позволяет лучше понять закономерности распространения инфекционных заболеваний. Примером может служить анализ регистрируемых на протяжении 100 лет эпидемических вспышек кори в Исландии
(Scientific American, May 1984, Vol. 250, No. 5)
- РУБРИКИ**
- 3 Об авторах
- 13 50 и 100 лет назад
- 27, 69, 77 Наука и общество
- 90 Наука вокруг нас
- 96 Занимательный компьютер
- 103 Книги
- 107 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

BOARD OF EDITORS

Gerard Piel
PUBLISHER

Dennis Flanagan
EDITOR

Brian P. Hayes
ASSOCIATE EDITOR

Philip Morrison
BOOK EDITOR

John M. Benditt
Peter G. Brown
Michael Feirtag
Robert Kunzig
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

© 1984 by Scientific American, Inc.
Товарный знак *Scientific American*,
его текст и шрифтовое оформление
являются исключительной собственностью
Scientific American, Inc.
и использованы здесь в соответствии
с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
Л. И. Леонова
М. М. Попова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
И. В. Лунёва

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Т. К. Такташова

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

На обложке



СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ МИНИ-ЗАВОДЫ

На обложке показана часть пятиручьевого машины для непрерывной разливки стали, установленной на мини-заводе компании Raritan River Steel в Перт-Амбое, шт. Нью-Джерси. Жидкая сталь выливается из разливочного ковша в промежуточный ковш, выполненный в виде воронки. Отсюда металл поступает в вертикальный кристаллизатор, охлаждаемый струями воды. В верхней части рисунка металл в ручьях, застывший только снаружи, перемещается по криволинейному участку непрерывно-литейной машины с помощью приводных вытяжных роликов, которые одновременно выпрямляют заготовку. Далее полосы движутся горизонтально, и охлаждение металла продолжается. На участке между верхом и низом рисунка температура стали падает примерно на 80°C, что показано постепенным потемнением полос. Полосы разрезаются газовыми резаками и поступают в прокатный стан. Мини-заводы отличаются от традиционных заводов с полным металлургическим циклом тем, что используют в качестве сырья стальной лом вместо железной руды и выпускают продукцию ограниченного сортамента (см. статью Дж. Р. Миллера «Сталеплавильные мини-заводы», с. 4). В настоящее время компании, владеющие мини-заводами, преуспевают, тогда как крупные предприятия «Большой стали» испытывают экономические трудности.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ted Lodigensky

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
4	Barrie Rokeach		Agricultural Research Council		University of Pittsburgh
6-11	Jerome Kuhl		Poultry Research Centre, Edinburgh	74-75	Ilil Arbel
14, 15	Kathleen Crane, Lamont-Doherty Geological Observatory		(<i>вверху</i>); Hans J. Geuze, State University of Utrecht (<i>внизу</i>)	76	J. M. Adovasio, University of Pittsburgh
16	Andrew Tomko			80-87	Jerome Kuhl
17	William F. Haxby, Lamont-Doherty Geological Observatory (<i>вверху</i>); Andrew Tomko (<i>внизу</i>)	30-32	Bunji Tagawa	90-94	Michael Goodman
		33	Frederick R. Maxfield, New York University Medical Center	97-100	Ilil Arbel
		34	Bunji Tagawa		
18-21	Andrew Tomko	37-45	Edward Bell		
22	Enrico Bonatti, Lamont-Doherty Geological Observatory (<i>вверху</i>); Dee Breger, Lamont-Doherty Geological Observatory (<i>внизу</i>)	49, 50	Tom Prentiss		
		51	Janice Moore, с любезного разрешения <i>The Journal of Parasitology</i>		
		52, 53	Ilil Arbel		
		57-66	Ian Worpole		
23-25	Andrew Tomko	70	Ilil Arbel		
29	M. M. Perry and A. B. Gilbert,	73	William C. Johnson,		

Об авторах

Jack Robert Miller (ДЖЕК РОБЕРТ МИЛЛЕР «Сталеплавильные мини-заводы») инженер-консультант и экономист, работает в черной металлургии более 40 лет. Получил образование инженера-электрика в Техническом институте «Купер Юнион» и экономиста в Нью-Йоркском университете. В разное время работал в нескольких крупных сталеплавильных компаниях США, а также занимал различные должности в Центре промышленного развития Организации Объединенных Наций, Международном банке реконструкции и развития, Межамериканском банке развития и Институте Баттелла.

Enrico Bonatti, Kathleen Crane (ЭНРИКО БОНАТТИ, КЭТЛИН КРЭЙН «Океанические зоны разломов») — сотрудники Геологической обсерватории Ламонт-Доэрти Колумбийского университета. Бонатти, итальянец по национальности, старший научный сотрудник обсерватории, пишет: «Я получил ученые степени по геологии в Пизанском университете и в Высшей школе в Пизе. В 1960 г., как стипендиат фонда Фулбрайта, приехал в США. Год я пробыл в Йельском университете и четыре года в Скриппсовском океанографическом институте. За несколько лет до переезда в Ламонт в 1976 г. я был профессором морской геологии в Университете в Майами». Крэйн получила степень бакалавра в Орегонском университете и степень доктора в Скриппсовском океанографическом институте.

Alice Dautry-Varsat, Harvey F. Lodish (АЛИСА ДОТРИ-ВАРСА, ХАРВЕЙ Ф.ЛОДИШ «Как рецепторы затягивают белки и частицы внутрь клеток») — молекулярные биологи, вели совместную работу в Массачусетском технологическом институте, исследуя эндоцитоз. А. Дотри-Варса родилась и училась во Франции, получила степень магистра в области физики твердого тела в Парижском университете. Заинтересовавшись молекулярной биологией, переехала в США и получила вторую магистерскую степень — в области молекулярной биологии — в Университете шт. Нью-Йорк в Стони-Брук. Вернулась в Париж и в Пастеровском институте защитила докторскую диссертацию. Затем работала в Лаборатории молекулярной биологии Совета медицинских исследований в Великобритании и в МТИ, после чего стала сотрудником Пастеровского института. Х. Лодиш окончил Кенyon-колледж, продолжил образование в Рокфеллеровском университете, где получил степень доктора философии. С 1968 г. работает в МТИ. В настоящее время он профессор

биологии; с этого года его лаборатория перешла в ведомство Института медико-биологических исследований в Уайтхеле, который входит в систему учреждений МТИ.

John E. Hopcroft (ДЖОН ХОПКРОФТ «Машины Тьюринга») — профессор вычислительной математики и кибернетики Корнеллского университета. Степень бакалавра в области электротехники получил в 1961 г. в Университете в г. Сизтл, а магистра и доктора философии в той же области — в Станфордском университете соответственно в 1962 и 1964 гг. После получения докторской степени три года преподавал в Принстонском университете, а затем перешел в Корнеллский университет.

Janice Moore (ДЖЕНИС МУР «Паразиты, которые изменяют поведение своего хозяина») работает в Университете шт. Колорадо. Она пишет о себе: «Будучи студенткой Университета Райса, я, сама не знаю почему, записалась на курс лекций по энтомологии. По окончании его я преисполнилась непреходящим чувством удивления и восхищения разнообразием и совершенством приспособлений в мире насекомых. В Техасском университете в Остине я получила степень магистра в области поведения насекомых и решила изучать насекомых-паразитов. В то время их экология была, по существу, «ничейной землей», не принадлежала определенно ни к одной из дисциплин. Поэтому мне пришлось выбрать более традиционную тему. Я дважды меняла направление исследований, работала в разных учреждениях и в разных должностях. В конце концов мне посчастливилось познакомиться с сотрудниками биологического факультета Университета Нью-Мексико и благодаря их дружескому содействию я наконец проникла в чудесный мир, где я с восторгом и осталась».

Alan H. Guth, Paul J. Steinhardt (АЛАН Г. ГУТ, ПОЛ ДЖ. СТЕЙНХАРДТ «Раздувающаяся Вселенная») — физики, которых объединяет интерес к изучению ранних стадий эволюции Вселенной. Гут был дипломником, а затем аспирантом Массачусетского технологического института. Его работа на степень доктора философии в области физики была удостоена награды Массачусетского технологического института в 1972 г. Он пишет: «Я работал в Принстонском, Колумбийском и Корнеллском университетах, а также в Ускорительном центре Станфордского университета (SLAC) и в основном занимался вопросами теории физики элементарных частиц. Однако мой коллега

из Корнеллского университета Г. Тай предложил мне проводить вместе с ним изучение образования магнитных монополей в ранней Вселенной, что коренным образом изменило направление моих исследований. В следующем году я продолжил работу в SLAC, а затем вернулся в Массачусетский технологический институт в качестве доцента физики, где и работаю в настоящее время». Стейнхардт — выпускник Калифорнийского технологического института, который он окончил в 1974 г. со степенью бакалавра. Степени магистра (1975 г.) и доктора философии в области физики (1978 г.) получил в Гарвардском университете. С 1981 г. — доцент Пенсильванского университета.

J.M. Adovasio, R.C. Carlisle (ДЖ.М. АДОВЕЙЗИО, Р.К. КАРЛАЙЛ «Стоянка индейских охотников с 20-тысячелетней историей заселения») — сотрудники кафедры антропологии Питтсбургского университета. Адовейзио — профессор антропологии и заведующий кафедрой, окончил Аризонский университет со степенью бакалавра. В 1970 г. перешел в Университет шт. Юта, где получил степень доктора философии. В круг его научных интересов входят проведение раскопок закрытых древних стоянок, таких, как пещеры и скальные убежища, а также изучение техники плетения корзин в древние времена. В свободное время Адовейзио занимается мотоциклетным спортом и тяжелой атлетикой. Карлайл — помощник Адовейзио — выполняет обязанности ассистента-инструктора по антропологии и редактора университетской «Программы сохранения культурных ресурсов»; в настоящее время готовится к защите докторской диссертации.

Andrew Cliff, Peter Haggatt (ЭНДРЮ КЛИФФ, ПИТЕР ХАГГЕТ «Эпидемии кори в Исландии») — географы, с 1968 г. совместно работающие над проблемами количественной оценки в географии, и в частности над вопросом: как в человеческом обществе распространяются культурные и научно-технические новшества. Клифф получил образование в Королевском колледже Лондонского университета, Северо-Западном и Бристольском университетах. В последнем из них в 1969 г. ему была присвоена степень доктора философии в области географии. В 1972 г. он начал преподавать в Кембриджском университете. Хaggatt — профессор кафедры городской и региональной географии в Бристольском университете. Образование получил в Кембридже и до того, как в 1966 г. перешел на преподавательскую работу в Бристольский университет, преподавал там же и в колледже Лондонского университета.



МИНИ-ЗАВОД компании Florida Steel в Тампе один из типичных. Сырьем служит местный стальной лом, который плавится в электропечах, установленных во втором здании слева. В том же здании расположена машина для непрерывной разливки. Прокатка стальных заготовок в арматурные стержни осуществляется в прокатном стане, находящемся в

длинном здании слева. Вода для охлаждения литейной машины поступает из прямоугольного резервуара (вверху в центре) и возвращается туда же. В пристройке, перпендикулярной к зданию печей, размещены пылеуловители для очистки дымовых газов. Годовая производительность завода около 254 тыс. т проката.

Сталеплавильные мини-заводы

Сектор сталеплавильной промышленности США, представляемый мини-заводами, в настоящее время расширяется и преуспевает. Эти предприятия, использующие стальной лом в качестве сырья, выпускают продукцию ограниченного сортамента для местного рынка. Вместе с тем в стране закрываются некоторые крупные заводы с полным металлургическим циклом

ДЖЕК РОБЕРТ МИЛЛЕР

С 1977 г. десятью американскими компаниями, составляющими так называемую группу «Большая сталь», было полностью или частично закрыто, законсервировано или продано около 20 заводов, вследствие чего производство стали в этой десятке сократилось со 123 до 113 млн. т в год, т.е. на 8%. Это привело также к снижению числа рабочих в сталеплавильной промышленности с 453 тыс. в 1979 г. до 247 тыс. к концу 1982 г., или на 45% за три года. В 1982 г. сокращение производства в целом по сталеплавильной промышленности составило 3,2 млрд. долл., значительно больше, чем в предыдущие годы. В группе «Большая сталь» делается упор на «перестройку», которую Дэвид Родерик, председатель корпорации United States Steel, охарактеризовал как «процесс ускоренной самоликвидации». Точнее, перестройка включает закрытие предприятий, отсрочку или даже аннулирование проектов, а также прекращение выпуска некоторой продукции или замену ее другой.

В противоположность этому сектор сталеплавильной промышленности, представляемый так называемыми мини-заводами, расширяется и преуспевает начиная с 60-х годов. В 1960 г. в стране насчитывалось 10—12 мини-заводов, которые покрывали всего лишь 2% потребности американского стального рынка; в начале текущего года было уже 50 мини-заводов, покрывающих 15—18% потребности рынка. Их общая производительность (учитывая заводы, производящие до 800 тыс. т стали в год) приближается к 14 млн. т/г. Владельцы мини-заводов делают ставку на расширение производства, рынков сбыта и номенклатуры выпускаемой продукции.

Компании группы «Большая сталь» склонны во многом объяснять свои неудачи увеличением импорта дешевой

стали из других стран. Некоторые наблюдатели, однако, считают, что «Большая сталь» усугубила свои проблемы инертностью в освоении новой технологии и самодовольством в отношении рынков сбыта. В недавнем интервью газете "Financial Times" президент одной из компаний, владеющих мини-заводами, высказал следующее мнение: «Крупные компании поддерживали цены на высоком уровне и уступали часть рынков, когда торговля оживлялась. Теперь они зашли в тупик: их заводы и оборудование устарели. Единственный для них выход — коренная перестройка».

ПРЕДПРИНИМАТЕЛИ «Большой стали», разумеется, могли бы игнорировать этот разумный совет, поскольку он исходит от «мини-заводчика». Несмотря на то что с конца 70-х годов мини-заводы приобретают все более важное значение в сталеплавильной промышленности, они все еще остаются «на задворках» отрасли. Мини-заводы выпускают преимущественно вспомогательную продукцию (мелкосортный прокат) для нужд местной строительной промышленности и конкурируют на местном рынке главным образом с импортируемой сталью. Основным их сырьем является местный стальной лом, который переплавляется в электрических печах. Хотя мини-заводы и уделяют большое внимание внедрению новой технологии, они не могут представлять полную модель национальной сталеплавильной промышленности.

Сталеплавильное производство полного цикла, начиная с железной руды и кончая широким сортаментом стальных профилей, требует значительно больших капиталовложений на тонну готовой продукции, чем мини-заводы. Сравнительные данные по капиталовложениям были получены в 1980 г.

Управлением конгресса США по оценке техники. В ценах 1978 г. капиталовложения мини-заводов оценивались в 154—320 долл. на тонну произведенной за год продукции, тогда как для заводов с полным металлургическим циклом эти цифры составили 956—1500 долл.

Почти на всех заводах с полным металлургическим циклом производство начинается с добычи железной руды. Второй стадией является подготовка сырья. Добываемые ныне руды беднее железом, чем те, которые получала промышленность до второй мировой войны, и должны быть обогашены, т.е. содержание в них железа должно быть увеличено до 65—72% путем удаления пустой породы (песка, глины и примесей цветных металлов). Концентрированные руды измельчаются, смешиваются и подвергаются пеллетизации, т.е. формируются в окатыши диаметром 10—15 мм. Мелкие фракции концентрированной руды могут быть агломерированы (сплавлены) в крупные пористые куски, которые затем измельчаются до размера 25—50 мм. В отличие от агломерата окатыши достаточно прочны и хорошо выдерживают перевозку, поэтому заводы по их производству часто строят на месте добычи руды, а окатыши доставляют на сталеплавильные заводы железнодорожным или водным транспортом. Напротив, агломерационная фабрика обычно входит в состав чугуноплавильного цеха заводов с полным металлургическим циклом.

Подготовка сырьевых материалов на заводах с полным циклом включает также измельчение известняка и коксование угля (без доступа кислорода, чтобы предотвратить возгорание). Измельченные известняк и кокс сортируются по размеру.

Третья стадия — производство чугуна. Подготовленные руда, известняк и

кокс смешиваются и загружаются через колошник в доменную печь. В нижнюю часть печи подается горячий воздух. При горении кокса в горячем воздухе образуется окись углерода, которая поднимается в печи через слой постепенно опускающейся шихты. Под действием горячего газа железо расплавляется и восстанавливается из руды. Конечным продуктом процесса является жидкий чугун.

На четвертой стадии чугун транспортируется и загружается в сталеплавильную печь, обычно кислородный конвертер или дуговую электропечь. Во время плавки из чугуна удаляются посторонние элементы, а содержание необходимых элементов доводится до требуемого уровня, в частности, содержание углерода снижается до 0,3—1,7%. Расплавленная сталь выпускается из печи в ковш, затем ее разливают в чуговые изложницы, где она затвердевает. В результате получают слитки или плоские заготовки (слябы) весом 60—100 т.

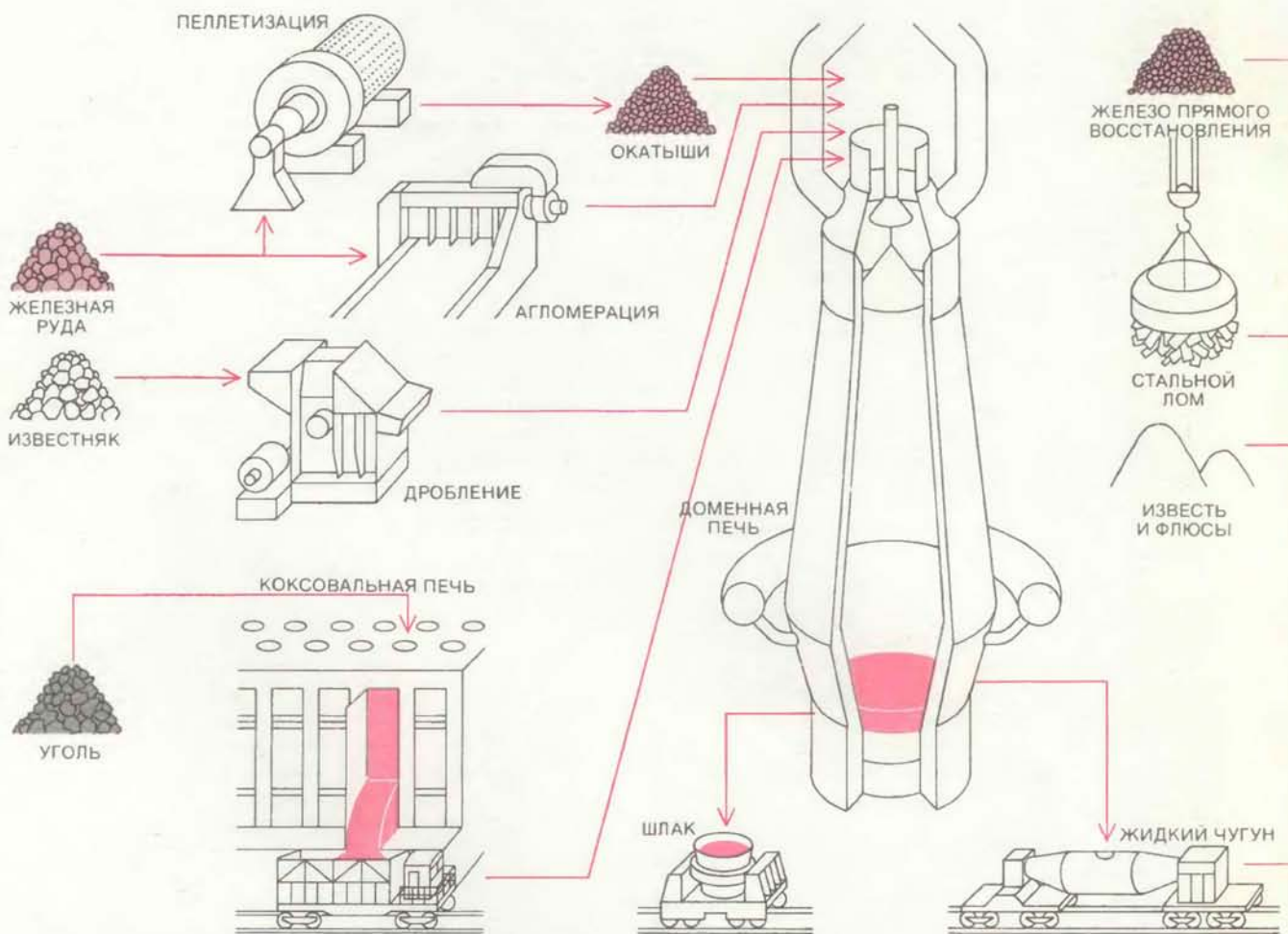
Готовые слитки или слябы направляются на склад, но чаще всего они поступают сразу же после удаления изложниц непосредственно в прокатный цех. Здесь слитки загружаются в нагревательные колодцы, а слябы — в методические нагревательные печи, в которых прогреваются до равномерной температуры. Нагретые слитки или слябы подаются в обжимной стан, где они подвергаются первоначальной прокатке, а затем пропускаются через ряд промежуточных и чистовых прокатных клетей.

В 70-х годах на нескольких заводах с полным металлургическим циклом были установлены машины для непрерывной разливки стали. Расплавленная сталь выпускается из ковша в кристаллизатор такой машины, а получаемые на ее выходе слябы, бумы или заготовки подаются сразу в прокатный стан, тем самым исключаются стадии формирования слитков и их промежуточного нагрева в нагревательных колодцах или методических печах. Следу-

ет отметить, что на мини-заводах способ непрерывного литья заготовок вошел в обычную практику еще 15 лет назад.

Слябы прокатываются в прокатном цехе на толстолистовую сталь для судов, крупных напорных резервуаров, баков и сварных труб большого диаметра; на широкую листовую сталь для кузовов автомобилей; на более узкую полосу для изготовления мелких изделий; на тонкий лист для изготовления жести и оцинкования. Из крупных блумов и заготовок прокатываются различные фасонные профили большого сечения, из мелких — мелкие фасонные профили, круглый сортовой прокат для армирования железобетонных конструкций, катанка и заготовки для изготовления бесшовных труб.

МИНИ-ЗАВОДЫ получили свое название не столько потому, что они малы, сколько потому, что используют лишь часть технологического процесса крупных заводов с полным ме-



НА ТРАДИЦИОННЫХ ЗАВОДАХ с полным металлургическим циклом исходным сырьем служит железная руда. Смесь кусковой руды и рудных окатышей загружается вместе с сортированным известняком и коксом в доменную печь, в которой выплавляется чугун. Следующая стадия — прев-

ращение чугуна в сталь путем уменьшения содержания углерода до 1,7% и менее. Чугун, стальной лом, известь и флюсы загружаются в сталеплавильную печь (на рисунке показаны печи двух типов: кислородный конвертер с основной футеровкой и дуговая электропечь), где регулируемым

таллургическим циклом. Для достижения необходимой экономии и снижения издержек производства заводы с полным металлургическим циклом строились на расчетную производительность не ниже 3—10 млн. т слитков в год. Большинство мини-заводов в США имеет производительность около 250 тыс. т/г и лишь некоторые — 600 тыс. т/г или более. С другой стороны, на Гавайях работает завод производительностью всего лишь 50 тыс. т/г. Заводы в половину этой мощности есть в нескольких других странах.

В своем анализе экономики мини-заводов Джозеф Уайман, эксперт по вопросам развития сталеплавильной промышленности при фирме Shirsion/American Express, Inc. писал в 1981 г., что для этих предприятий типично «отсутствие капиталовложений в сырьевые материалы и транспорт» и им не требуется вырабатывать промежуточный продукт — чугун. «Мини-завод использует сырьевые материалы, капитал в которые вложен други-

ми: поставщиками лома и предприятиями общественного пользования. Он «мини» еще и потому, что выпускает продукцию ограниченной номенклатуры и узкого сортамента».

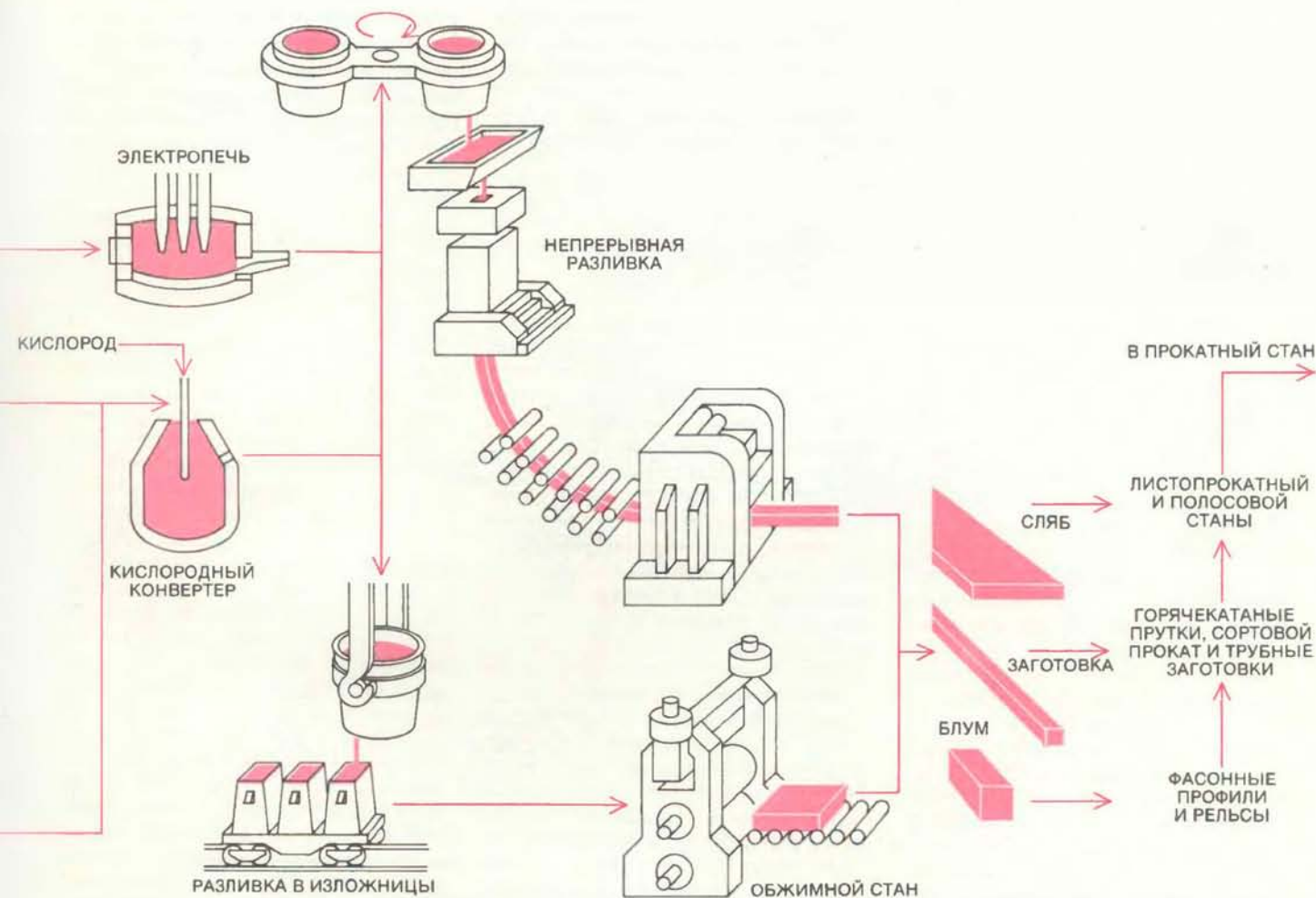
В отличие от заводов с полным металлургическим циклом мини-заводы не обременены крупными капиталовложениями и могут свободнее вкладывать капитал в новую технологию. Именно благодаря этому они смогли перехватить рынки сбыта, которые в свое время «Большая сталь» уступила под давлением импорта.

Первой операцией на мини-заводах является переплавка стального лома (скрапа) в электрической печи. Расплавленная сталь заливается в машину для непрерывной разливки и выходит из нее в виде непрерывной заготовки. Последняя режется на мерные длины и подается в прокатный стан.

СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ печь, машина для непрерывной разливки и прокатный стан могут, конечно, быть со-

ставными элементами и крупного завода с полным металлургическим циклом. Здесь они будут описаны так, как функционируют на мини-заводе. Современная электропечь — довольно сложное устройство. Ее основной частью является круглый корпус диаметром от 3 до 8 м, футерованный внутри огнеупорным материалом. Печь имеет свод с отверстиями, через которые пропущены три графитовых электрода, подключенные к трансформатору с единичной мощностью 130—700 кВ·А на тонну шихты. По стандартам, введенным в 1982 г. Международным институтом черной металлургии, установка мощностью 700 кВ·А классифицируется как печь сверхвысокой мощности. Источником тепла в этой системе являются электрические дуги, возникающие между электродами и кусками загруженного в печь стального лома.

Узел свода с электродами сделан подвижным и может отводиться от печи в сторону. Лом загружают в открытую печь из большой завалочной мульт-



окислением снижают до заданного уровня содержание углерода, марганца и кремния, а также удаляют посторонние примеси — фосфор и серу. Сталь разливается на слитки, которые прокатываются на слябы, заготовки или бумы в обжимном стане и затем — на сортовой прокат в сорто-

вых станах. На традиционных заводах с полным металлургическим циклом разливка стали в изложницы все шире заменяется непрерывной разливкой. Традиционные заводы используют более сложный технологический процесс и производят больше стали, чем мини-заводы.

ды, переносимой мостовым краном. К металлической шихте добавляется чугун, а в последнее время также железо прямого восстановления, с тем чтобы ослабить влияние присутствующих в ломе примесей (меди, свинца, хрома и цинка).

Для ускорения плавления шихты и удаления углерода из жидкой ванны может применяться кислород. В этом случае он вдувается в печь через водоохлаждаемую фурму, вводимую через окно в своде. В современных печах весь период плавки, от завалки шихты до выпуска металла, при массе шихты 80—100 т занимает 100—180 мин, что эквивалентно производительности 45—65 т стали в час. Потребление электроэнергии такой печью составляет около 550 кВт·ч на тонну.

По окончании плавки свод с электродами сдвигается в сторону и печь наклоняется для выпуска стали в ковш, удерживаемый мостовым краном. Затем производится разливка.

На первых мини-заводах сталь разливали в изложницы на мелкие слитки, которые сначала направлялись в нагревательные печи прокатного стана, затем в первую, черновую клеть этого стана. В 1962 г. на мини-заводах было введено существенное новшество: практика разлики стали в изложницы была заменена непрерывной разливкой.

При непрерывной разливке сталь из

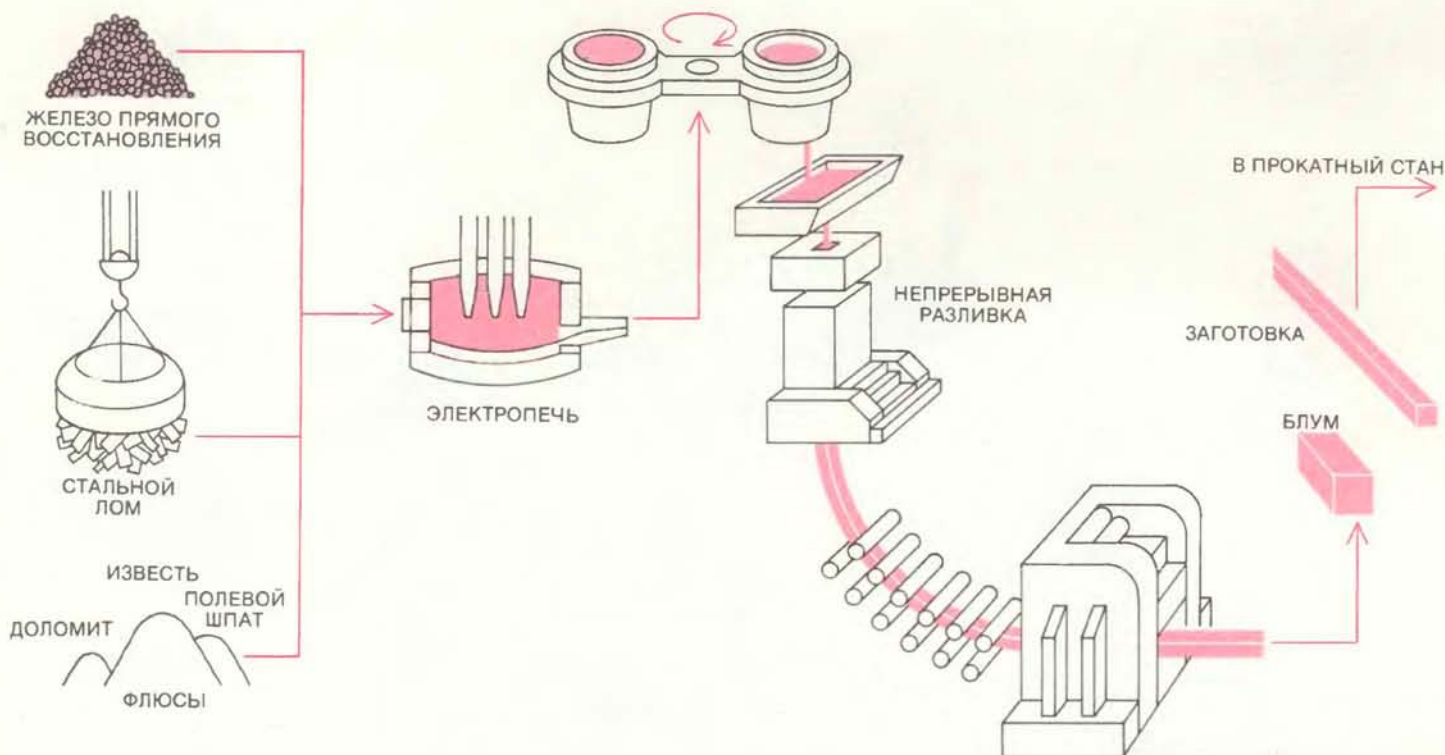
различного ковша поступает в промежуточный ковш, установленный в верхней части машины для непрерывной разливки, который служит своеобразной воронкой. В днище промежуточного ковша имеется отверстие, через которое жидкая сталь попадает в водоохлаждаемый медный кристаллизатор. Сталь в кристаллизаторе начинает затвердевать, образуя корочку на его стенках, а сам кристаллизатор вместе с находящимся в нем металлом перемещается вниз на 25 мм, затем резко возвращается вверх, отрываясь от затвердевшей корочки стали, и, придя в начальное положение, «захватывает» новую порцию металла.

Стальная заготовка, продолжая движение вниз, проходит через систему направляющих роликов, охлаждаемых струями воды, изгибается и выходит на горизонтальный рольганг на уровне пола цеха. Непрерывная заготовка, теперь уже полностью затвердевшая, выпрямляется, проходя через правильную роликовую машину. На некоторых заводах заготовку затем разрезают на мерные длины. По недавно разработанной технологии, она пропускается непрерывно через нагревательную печь прокатного стана. Самый же новый способ исключает и эту операцию: заготовка сразу же вводится в прокатный стан.

Прокатное отделение мини-завода производит продукцию ограниченного

ассортимента, например катанку, арматурные стержни и различные прутки круглого, квадратного и прямоугольного сечения. Мини-завод может также выпускать другие виды проката: мелкие тавровые и двутавровые балки, уголки и швеллера. Прокатные профили с наибольшей стороной в сечении до 75 мм относятся к мелкосортному прокату; более крупные считаются крупносортными. Горячекатаные прутки из углеродистой стали носят название «торговый сортовой прокат». Если в плавку в печи добавляют небольшие количества марганца, хрома, никеля или других легирующих элементов в отдельности или в сочетании, полученная сталь называется легированной. Примером такой продукции, производимой на мини-заводах в возрастающих количествах, является специальный сортовой прокат — SBQ.

В последние десять лет конструкция сортовых и прутковых прокатных станов постоянно совершенствовалась, во многом из-за их возрастающей роли на мини-заводах. Повысилась точность контроля размеров проката; улучшилось качество поверхности изделий; точность регулировки некоторых параметров, например температуры стали или давления прокатных валков, значительно возросла благодаря применению ЭВМ. Кроме того, значительно увеличилась скорость прокатки. Например, скорость прокатки прутков



НА МИНИ-ЗАВОДАХ исключена стадия выплавки чугуна. Сырьем для них служит стальной лом, а также флюсы и (иногда) железо прямого восстановления. Лом плавится в электропечи, плавка сливается в ковш и переносится к машине для непрерывной разливки. Непрерывная заготовка или блум на выходе из машины разрезается на мерные дли-

ны и поступает в прокатный стан. Продукция мини-заводов состоит в основном из прутков и мелкосортных профилей. В последние 10 лет некоторые мини-заводы расширили номенклатуру своей продукции и теперь выпускают также трубы, толстолистовую, узкополосную и узколистовую сталь.

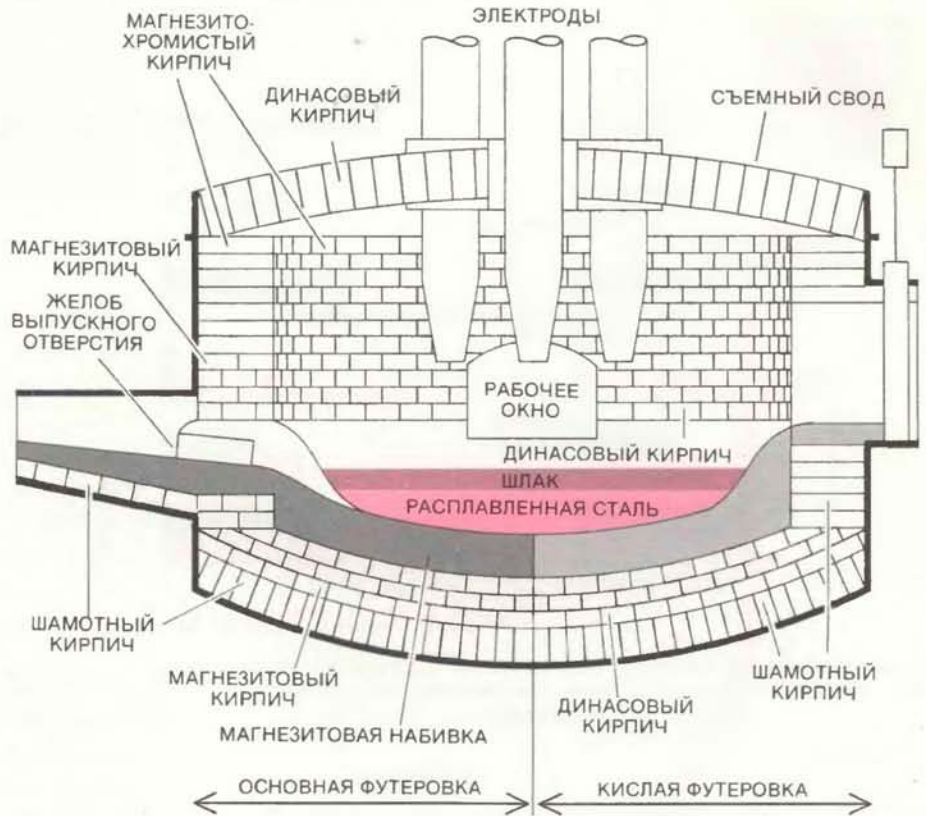
диаметром 5,5 мм достигает в чистой клетке 100 м/с, т.е. превышает более чем вдвое скорости, принятые на сортовых станах десять лет назад.

ЧТОБЫ показать, как много внимания уделяют на мини-заводах вопросам внедрения новой технологии, повышения эффективности производства, сбыта и выбора местоположения, рассмотрим подробно два типичных примера. Первый из них — мини-завод компании Raritan River Steel, пущенный в марте 1980 г. Он расположен на морском побережье в г. Перт-Амбо, шт. Нью-Джерси, примерно в 35 км от "Эмпайр стейт билдинг" в Нью-Йорке и в 130 км от "Конститиушн-холл" в Филадельфии. Двигаясь по магистрали со скоростью 90 км/ч, автотранспорт может менее чем за четыре часа доставлять продукцию завода к потребителям в Бостоне, Вустере, Провиденсе, Олбани, Бингемтоне, Скрантоне, Гаррисберге и в большей части района Балтимор — Вашингтон. В этой части США проживают 55 млн. человек, или почти 25% всего населения страны; здесь же размещено около 25% всех потребителей стали. Завод выпускает только прутковые заготовки.

Оборудование этого предприятия является примером применения новой технологии на мини-заводах. Он имеет единственную электропечь диаметром 6 м, которая может производить из лома 135 т жидкой стали. Плавка из печи разливается в пятиручьевую машину непрерывной разливки, которая выдает заготовки квадратного сечения 130 мм и длиной по 16 м. Металл в кристаллизаторе перемешивается электромагнитным способом для получения углеродистой стали высокого качества и с однородной структурой. Новая конструкция разливочной машины позволяет производить замену кристаллизатора в одном из ручьев, не останавливая производство. Заготовки проходят 25 клетей прокатного стана, на выходе из последней клетки они имеют диаметр 5,5—12,7 мм.

Номинальная производительность завода составляет около 550 тыс. т прутковых заготовок в год. На его строительство израсходовано 110 млн. долл. Это предприятие, расположенное в районе, где много лет существуют мощные профсоюзы, использует труд не организованных в профсоюзы рабочих. Значительное внимание уделяется профессиональному обучению новых рабочих. При пуске завода намечалось достигнуть оптимальной производительности 1,36 человеко-часа на тонну продукции; к 1983 г. был достигнут показатель 1,63 человеко-часа на тонну продукции.

Другой пример — пять мини-заводов компании Florida steel. Один из них был самым первым во Флориде сталепла-



ЭЛЕКТРОПЕЧЬ является основной установкой на мини-заводе. Она может быть более 8 м в диаметре и вмещать свыше 150 т жидкого металла. При включении печи в ней происходит интенсивное тепловыделение. Электрические дуги возникают между одним электродом и кусками лома в печи, затем между кусками лома и другим электродом. Твердая шихта плавится в печи и образует жидкую ванну и слой шлака над ней. Печи для основного и кислого процессов имеют разную футеровку. В основном процессе, который применяется шире, в печи происходят химические реакции между «известковым» шлаком, магнезитовыми огнеупорами и жидким металлом, в результате которых из ванны удаляются углерод, кремний, марганец, фосфор и сера. По окончании плавки свод с электродами отводится в сторону, печь наклоняется и готовая сталь выпускается в разливочный ковш.

வில்ным заводом; это небольшой завод в Тампе, построенный в 1958 г. и производивший ежемесячно 3 тыс. т арматурных стержней для изготовления стальных конструкций на предприятиях самой компании. Продукция завода вскоре нашла широкий местный рынок сбыта, и через несколько лет производство стального проката стало основной деятельностью компании, оттеснив изготовление стальных конструкций на второй план. Прошедшие 25 лет были для компании Florida Steel весьма успешными. Она расширила завод в Тампе в восемь раз и построила четыре аналогичных предприятия: в Шарлотте, шт. Северная Каролина, в 1961 г.; в Индиантауне, шт. Флорида, в 1970 г.; близ Джексонвилла в 1975 г. и в Джексоне, шт. Теннесси, в 1981 г. Издержки производства на заводе в Индиантауне оказались выше предполагавшихся, и в 1982 г. он был закрыт. Производительность заводов в Тампе и Шарлотте составляет 250 тыс., в Джексонвилле 320 тыс. и в Джексоне 350 тыс. т сортового проката в год.

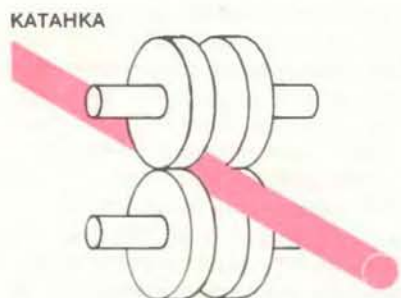
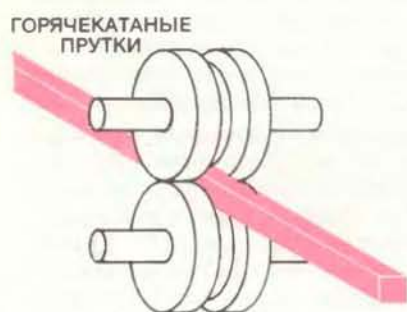
Компания имела разные причины для расширения своих мощностей, и

они демонстрируют три подхода к определению понятия мини-завода. Строительство заводов в Тампе и Шарлотте было нацелено на использование местных рынков сбыта, рабочей силы и стального лома; это пример типичного мини-завода. Заводы в Индиантауне и Джексонвилле предназначались для покрытия растущего спроса на сортовой прокат и основания рынков сбыта в соседних районах раньше потенциальных конкурентов; этот подход может быть охарактеризован понятием «соседствующий завод». Это также мини-завод, но его особенность в стремлении закрепиться в районе, где ожидается рост спроса на сталь. Завод в Джексоне построен для удовлетворения существующего и ожидаемого спроса на арматурную сталь и торговый сортовой прокат и ориентирован на производство специфической продукции, пользующейся спросом на данном рынке; в этом случае применим термин «рыночный завод». Он также является мини-заводом, но специализирующимся на выпуске одного или двух видов продукции.

На заводе в Джексоне применяется



НЕПРЕРЫВНАЯ РАЗЛИВКА стали — стандартный способ литья на мини-заводах. Жидкая сталь из ковша, подаваемого мостовым краном, сливается в промежуточный ковш литейной машины. Этот ковш является своеобразной воронкой, из которой жидкий металл попадает в водоохлаждаемый медный кристаллизатор. Последний медленно движется на короткое расстояние вниз вместе с металлом, пока на его стенках не образуется тонкая корка. Затем кристаллизатор резко отрывается от застывшего металла и возвращается в исходное положение. Затвердевающий стальной слиток продолжает двигаться вниз через направляющие устройства, затем он переходит в горизонтальное положение и разрезается на мерные длины.



ПРОДУКЦИЯ МИНИ-ЗАВОДОВ включает прутковую сталь, гладкие и профилированные арматурные стержни и мелкосортный прокат. Прутковые изделия могут быть плоского, круглого или квадратного сечения. На некоторых заводах выпускается также катанка.

прогрессивный способ непрерывной разливки, который можно назвать последовательной или непрерывно-безостановочной разливкой. Электропечь и машина для непрерывной разливки спроектированы таким образом, что время для плавки металла в печи и выпуска его в ковш несколько меньше времени прохождения металла из ковша через разливочную машину. Таким образом, металл из нескольких ковшей может сливаться последовательно в промежуточный ковш разливочной машины, так что процесс непрерывной разливки не прерывается после опорожнения очередного ковша.

ТАК КАК мини-заводы зависят от поставок стального лома, то в связи с возрастающей ролью этих предприятий в сталеплавильной промышленности возникает вопрос постоянного обеспечения их этим материалом. Джеймс Браун и Ричард Редди из отделения Electrode Systems корпорации Union Carbide исследовали эту проблему год назад и пришли к заключению, что ресурсы стального лома в стране представляются «достаточными для удовлетворения внутренних нужд и обеспечения ожидаемого в будущем уровня экспорта». Ганс Мюллер из Университета среднего Теннесси полагает, что «повсеместное наличие стального лома в стране» делает целесообразным строительство мини-заводов с электропечами в западных и южных штатах, которые «были обойдены вниманием крупных стальных компаний». Данные Института чугуна и стального лома свидетельствуют, что запасы лома в США в начале 1982 г. составляли 620 млн. т. Такой резерв вместе с ежегодными поступлениями представляется достаточным для удовлетворения предполагаемого спроса на стальной лом в течение нескольких десятилетий.

Стальной лом как сырье дешевле железной руды или чугуна. Исследование, проведенное в прошлом году компанией Union Carbide по сравнению стоимости лома на тонну стали, произведенной на мини-заводе, со стоимостью жидкого чугуна из доменных печей на тонну стали, произведенной на заводе с полным металлургическим циклом, показало, что разность составляет около 100 долл. в пользу мини-завода.

Мини-заводы имеют также преимущества по сравнению с заводами с полным металлургическим циклом в отношении стоимости рабочей силы и энергии. На первых широко используется труд не организованных в профсоюзы рабочих. В практике управления мини-заводами немаловажное значение придается организации курсов технического обучения, системы поощрения, консультаций с рабочими по принимаемым решениям и привлечению их к участию в прибылях. Хотя имеющиеся



СРАВНЕНИЕ ИЗДЕРЖЕК производства на тонну катанки в 1981 г. на заводах с полным металлургическим циклом и мини-заводах. Статьи расходов (заработная плата, желез-

ная руда и т.д.) показаны черными колонками для первых и цветными — для вторых. Амортизационные расходы, прибыли и налоги на графиках не учитывались.

цифры и различны, приблизительная оценка показывает, что общая стоимость наемной рабочей силы на тонну готовой стали варьирует от 75 до 100 долл. на мини-заводах и от 195 до 295 долл. на заводах с полным металлургическим циклом.

Что касается энергии, Роберт Боуман из корпорации Bethlehem Steel проанализировал потребление тепловой энергии при различных способах производства стали. По его данным, для производства тонны стали из лома в электрической печи (способ, применяемый на мини-заводах) потребляется 1,34 млн. килокалорий, тогда как при производстве тонны стали на традиционном заводе с полным металлургическим циклом, включающим доменную печь и кислородный конвертер с основной футеровкой, затрачивается 4,05 млн. килокалорий. Боуман заключает: «С точки зрения энергопотребления целесообразно максимально увеличивать использование лома в производстве стали».

ПОПРОБУЮ теперь сделать личный прогноз развития сталеплавильной промышленности на ближайшие семь лет. Он основан на моем многолетнем опыте работы в отрасли и на результатах моих недавних бесед с рядом специалистов и охватывает период с 1984 по 1990 г. включительно, так как предсказание на последующие годы затруднительно ввиду быстрых изменений, происходящих в отрасли. Мой прогноз не точный математический расчет, а скорее суждение, основанное на наблюдаемых тенденциях.

Прежде всего, по моим предположениям, потребление стали в США воз-

растет с 123 млн. т в 1985 г. до 127 млн. т в 1990 г. (эта цифра включает собственное производство и импорт). Прогноз основан на ожидаемом ежегодном приросте в 0,62% — цифре весьма скромной. Я также предполагаю, что уровень импорта, который в последние годы составлял 19—22% внутреннего рынка стали, снизится примерно до 16,5% к 1985 г. и останется неизменным вплоть до 1990 г. Частично это снижение импорта произойдет вследствие усиления рыночной активности мини-заводов. Завоевав значительную часть рынка для своей теплешней номенклатуры (90% мелко-сортных профилей, 73% строительной арматуры, 55% прутковых заготовок и 30% горячекатаных прутков, по состоянию на 1981 г.), они стремятся расширить ее, чтобы она включала практически все виды проката: трубы, толстолистовой прокат, жести, листы и полосы. Как и ранее, мини-заводы будут усиливать свое проникновение на рынки сбыта в результате сокращения импорта и успешной конкуренции с заводами с полным металлургическим циклом.

В 1980 г. 28% всей стали, произведенной в стране, было выплавлено в электропечах. По моим оценкам, этот показатель возрастет до 32% в 1985 г. и 36% в 1990 г. Стального лома для электропроизводства стали будет, очевидно, более чем достаточно по ценам от 118 долл. за тонну в 1985 г. до 126 долл. за тонну в 1990 г. Цены на лом, вероятно, не выйдут за эти средние показатели ввиду конкурентных ограничений из-за доступности железа прямого восстановления, которое также может использоваться как шихта в

электропечах. Во время нагрева в процессе прямого восстановления железо восстанавливается из руды в твердом состоянии, т.е. без расплавления. Конечный продукт имеет очень высокую концентрацию железа и может использоваться как шихта в сталеплавильных печах.

МОЖНО ожидать дальнейшего роста численности мини-заводов, однако сомнительно, чтобы темпы этого роста сохранились такими же, как и в прошедшее десятилетие, ввиду усиливающейся конкуренции со стороны реконструированных предприятий «Большой стали» и других модернизированных заводов. Общая мощность мини-заводов, составившая 14 млн. т в 1983 г., будет непрерывно возрастать вплоть до 1990 г. По моим предположениям, доля продукции мини-заводов на рынке США составит 20—24%, т.е. их общая производительность может достичь 22 млн. т в 1985 г. и 26,5 млн. т в 1990 г. Вероятно также, что многие мини-заводы расширят номенклатуру своей продукции и улучшат качество производимой стали.

Технология сталеварения будет продолжать совершенствоваться, и главным образом на мини-заводах. В плавильных цехах новые методы позволят сократить время плавки в 60- и 80-тонных печах до одного часа и менее. Технологические новшества, введенные в электросталеплавильных цехах, уже быстро внедряются на большинстве мини-заводов. Одним из таких «вторичных» новшеств является рафинирование стали в ковше. В этом процессе лом быстро расплавляется в электропечи при максимальной подводимой

мощности. Затем расплавленный металл как можно быстрее сливается в ковш, где и подвергается рафинированию. В данном случае электропечь используется более эффективно, поскольку достигается режим полной нагрузки.

Другим новшеством является применение процесса со вспениванием шлака, хотя он и был разработан около 25 лет назад на одном из мексиканских электросталеплавильных мини-заводов. В начале плавания в печь вводится кокс или уголь; происходит реакция, в результате которой над зеркалом ванны образуется слой (толщиной 0,3—1,2 м) легкого пузырящегося шлака. Пенящийся шлак обволакивает и защищает электроды, улучшает теплопередачу от электродов к металлу, снижает тенденцию образования прогаров в печи и увеличивает стойкость огнеупорной футеровки.

Одно из наиболее эффективных усовершенствований, предложенных за прошедшее десятилетие, состоит в использовании водоохлаждаемых панелей в стенах и своде электрических печей. Этот способ позволяет сократить на 75% расход огнеупоров и тем самым существенно снизить производственные затраты.

Эти и другие новшества позволяют повысить производительность, снизить производственные затраты и улучшить качество продукции. Многие из них нашли применение на недавно построенных мини-заводах. Можно предположить, что через три-пять лет они войдут в обычную практику на большинстве мини-заводов.

Процесс непрерывной разливки стали, по-видимому, также будет в значительной степени усовершенствован. Проявляется интерес к горизонтальным машинам непрерывной разливки, которые уменьшают опасность выплеска расплавленной стали из ковша, переносимого мостовым краном на высоте 12 или более метров над уровнем пола. Кроме того, горизонтальные машины не требуют большой высоты цеха и, следовательно, сокращают расходы на строительство. Тем не менее еще в течение многих лет они вряд ли будут способны успешно конкурировать с машинами вертикального типа.

Производительность большинства существующих прокатных станов может быть увеличена на 50% и более путем несложных модификаций. Более важно то, что через два-пять лет некоторые мини-заводы смогут производить слябы толщиной всего 25—40 мм и шириной 600—1000 мм на вертикальных машинах непрерывной разливки, а к 1990 г. освоят непрерывную прокатку таких слябов (т.е. слябы будут пропускаться непрерывно через весь стан вплоть до чистовых клетей).

Непрерывная прокатка заготовки из

машины для непрерывной разливки уже освоена по крайней мере на двух мини-заводах в стране. По мере того как заготовка выходит в два ручья (или иногда в один ручей) из машины, она вводится непосредственно в валки прокатного стана и прокатывается без промежуточного подогрева. (Температура по сечению заготовки выравнивается пропусканием заготовки через индукционные нагреватели, установленные между двумя первыми клетями стана.) В 1985 г. этот способ, вероятно, уже будет освоен шестью или более мини-заводами.

В конце 90-х годов можно ожидать внедрения одного из важнейших технических достижений будущего десятилетия: процесса непрерывного литья стальной полосы толщиной 3—5 мм, которая будет использоваться для изготовления самых разнообразных стальных изделий. Возможно, что в 90-х годах на мини-заводах в США появятся плазменные горелки и плазменные плавильные печи. Плазма — это ионизованный газ, содержащий примерно одинаковое количество положительных ионов и электронов. Она может быть получена пропусканием сжатого газообразного топлива между двумя водоохлаждаемыми электродами. При этом топливо разлагается и ионизуется, выделяя большое количество тепла. Плазменная технология разрабатывается в нескольких странах, включая США. Плазменные горелки уже применяются для дополнительного нагрева в Швеции и Японии. В ГДР уже три года успешно работают две плазменные печи, выпускающие высококачественную легированную сталь.

Ковшее рафинирование, непрерывно-безостановочная разливка, непрерывная прокатка заготовок и совмещение непрерывной разливки с непрерывной прокаткой тонких слябов и полос позволят сделать процесс производства стали непрерывным на всех стадиях — от ввода сырьевых материалов на входе до готовой продукции на выходе. Возможность совмещения электрических печей с машиной для непрерывной разливки и непрерывной разливки с непрерывной прокаткой уже была продемонстрирована. Можно ожидать, что процесс непрерывного производства стали будет к концу века полностью освоен на одном или нескольких мини-заводах в США.

Б заключение отмечу, что, хотя доля продукции мини-заводов в общем производстве стали в стране и должна возрасти с 20% в 1985 г. до 24% в 1990 г., вряд ли сектор мини-заводов полностью вытеснит традиционные заводы с полным металлургическим циклом. Весьма вероятно, что не позже 1995 г. производство стали на мини-заводах достигнет своего пика где-то между 32 и 40%, наиболее вероятно 34%. Причи-

ной является тот факт, что все стальные продукты, включая и стальной лом — основное сырье для мини-заводов, получают из железной руды. Без традиционных заводов с полным металлургическим циклом, без их доменных печей, запасов лома хватило бы не более чем на десять лет, после чего мини-заводы остановились бы.

Издательство МИР предлагает:

Ф. Айала ВВЕДЕНИЕ В ПОПУЛЯЦИОННУЮ И ЭВОЛЮЦИОННУЮ ГЕНЕТИКУ

Перевод с английского

Содержание: Основные проблемы генетики (менделевская теория наследственности, генотип и фенотип, гены и хромосомы, транскрипция и трансляция, мутации генов и хромосом). Генетическая структура популяций (популяции и генофонд, генетические вариации и эволюция, количественная оценка генетических вариаций, полиморфизм и гетерозиготность, генетическая изменчивость природных популяций). Процессы эволюции (закон Харди — Вейнберга и его применение для оценки эволюционных процессов, изменяющих генетическую структуру популяций — мутаций, миграций, отбора и генетического дрейфа). Естественный отбор (селекция рецессивных гомозигот, в том числе летальных, селекция доминантных признаков, темп мутаций и скорость отбора, преимущества гетерозигот и явление гетерозиса). Инбридинг, гибридизация, генетические аспекты популяций человека. Процессы микроэволюции. Молекулярные проявления эволюции на уровне ДНК и белков. Оценка генетической близости видов методами молекулярной гибридизации ДНК и теплоустойчивости гибридных дуплексов ДНК.

Книга предназначена для генетиков, биохимиков, эволюционистов, для студентов биологических специальностей.

1984, 20 л. Цена 1 р. 90 к.



50 и 100 лет назад

SCIENTIFIC
AMERICAN

МАЙ 1934 г. Миссионеры, правительственные чиновники и ученые, которым приходится работать в районах, где распространены москиты, переносящие желтую лихорадку, теперь имеют возможность надежно защититься от этой опасной болезни. В течение двух лет в Рокфеллеровском институте медицинских исследований в Нью-Йорке сотрудники Рокфеллеровского фонда создавали вакцину против желтой лихорадки. Вызывающий ее вирус сделали менее вирулентным путем многократных — более 100 — пасажей в белых мышках. Когда три года назад медики получили желаемый препарат, было неизвестно, какова длительность иммунитета, возникающего в результате инъекции иммунной сыворотки. Как выяснилось, вакцинация весьма эффективна и приобретаемый иммунитет не угасает по крайней мере в течение двух лет.

Что касается предсказания землетрясений, то здесь сейсмология еще не достигла такого уровня, который позволил бы узнавать о землетрясениях заблаговременно, однако проводящиеся в Японии исследования дают надежду, что не за горами то время, когда подобные предсказания станут реальностью. Было замечено, что в сейсмоопасных районах за несколько лет до землетрясения земная поверхность начинает постепенно вспучиваться, т.е. ведет себя подобно камере автомобильного колеса или футбольного мяча, которая, прежде чем лопнуть, выпячивается в месте повреждения покрышки. Изменения ровности земной поверхности постоянно контролируются, и можно надеяться, что эти исследования дадут нам в конце концов ключ к предсказанию землетрясений.

Если ясным летним вечером посмотреть на звездное небо в северовосточном направлении, то нельзя не заметить, что оно не так уж и безоблачно, а Млечный Путь пересекает темная полоса. И в самом деле, на светящемся звездном фоне в созвездии Лебедь отчетливо видна узкая темная зона. Долгое время предполагалось, что эти области затемнения есть не что иное, как реально существующие разрывы в звездных облаках, которыми полна наша Галактика и через которые мы видим темные глубины пустого космического пространства. Заслуга в выяснении подлинной природы этих темных участков принадлежит покойному

Эдварду Эмерсону Барнарду, который выдвинул и убедительно подтвердил предположение, что наблюдаемые темные пятна на самом деле представляют собой расположенные в межзвездном пространстве облака из вещества, поглощающего свет. Действительно, можно удивляться тому, что столь огромная масса вещества в космическом пространстве сконцентрирована в светящихся звездах. Возможно, что наблюдаемые темные облака состоят из вещества, которое никогда не участвовало в процессе образования звезд, а может быть, они есть результат извержения в космическое пространство вещества из недр какой-нибудь звезды — пока мы этого не знаем.

Премия Комстока (в размере 2500 долл.) была недавно вручена Национальной академией наук США профессору Гарвардского университета П.У. Бриджмену за его блестящие достижения в исследовании природы вещества. Национальная академия так характеризует его деятельность: «В основном он ведет исследования в трех направлениях: поведение веществ при высоком давлении, свойства монокристаллов при нормальном давлении и приложения термодинамики к электрическим явлениям». Профессор Бриджмен сконструировал прибор, с помощью которого достигается давление до 600 000 фунтов на квадратный дюйм — это наивысшее давление, когда-либо полученное в лабораторных условиях.

SCIENTIFIC AMERICAN

МАЙ 1884 г. Колоссальная статуя Свободы, которая будет служить маяком в Верхней нью-йоркской бухте, наконец-то построена. Пока она возвышается на территории мастерской г-д Гайе—Готье, но вскоре будет разобрана на три части и переправлена в США. Это величайшее по размерам произведение такого рода, которое когда-либо создавал человек. Грандиозные скульптуры Мемнона не превышают в высоту 62 футов, высота Зевса Олимпийского работы Фидия — всего 43 фута, Родосского колосса — 130 футов, а созданное Зенодором скульптурное изображение Нерона достигало 118 футов. Высота статуи Арминия в Вестфалии, включая поднятый вверх меч, составляет 92 фута, а статуя св. Карло Борромео, воздвигнутая на озере Миджигоре, поднимается до 77 футов. Созданная М. Бартольди статуя Свободы значительно превосходит по размерам все эти скульптуры. Ее высота от основания до вершины поднятого факела в

правой руке составляет 152 фута. Общий вес статуи 100 тыс. фунтов, из которых 40 тыс. приходится на медные и 60 тыс. на железные детали.

Сложная и насущная проблема состоит в том, что делать с сетью проводов, густой паутиной опутавшей улицы Нью-Йорка. Согласно решению городского муниципалитета, с мая 1885 г. все провода сети электроосвещения должны быть уложены под землю; в одном из параграфов предлагаемого законодательства говорится, что к 1 июня 1885 г. в городах с населением, превышающим 50 тыс. человек, все электроосветительные и телефонные провода должны быть скрыты под землей. Никто не решится отрицать, что электролинии, по которым передается опасный для жизни ток большой мощности, должны быть недоступны для людей. Однако телефонные и телеграфные провода не представляют опасности ни для жизни людей, ни для их имущества, и поэтому при решении вопроса об этой сети следует исходить из того, что представляет большую важность для широкой публики — неприглядный вид паутины телефонных проводов и неудобства, связанные с их ремонтом, или дополнительные расходы, связанные с сооружением дорогостоящих подземных коммуникаций.

Значительные достижения в области строительства административных и жилых зданий в крупных городах мира были бы немыслимы без использования лифтов. Когда вместо собственных усилий на подъем с уровня земли до верхних ярусов многоэтажных сооружений человек стал использовать энергию пара, радикально изменился не только внешний вид наших улиц, но даже характер личной и деловой жизни. А как неузнаваемо изменился облик главных деловых улиц в наших городах! Разумеется, высотные здания тоже не лишены недостатков. Если не позаботиться об их противопожарной защите, они могут представлять серьезную опасность для жизни; они лишают света и воздуха жителей малоэтажных домов, расположенных поблизости, и, наконец они оказываются совершенно не к месту на узких улицах. Тем не менее они сулят столько удобств и такую выгоду, что ни одно постановление, даже принятое в законодательном порядке, не сможет ограничить рост их высоты. Закон не в силах сопротивляться неизбежному.

Океанические зоны разломов

*Разломы рассекают края плит,
из которых состоит океанское дно.
Некоторые из них пересекают весь океан*

ЭНРИКО БОНАТТИ, КЭТЛИН КРЭЙН

ТО, ЧТО на земной поверхности наиболее расчлененный рельеф имеет океанское дно, стало ясно немногим более двух десятилетий назад. Вначале была обнаружена система срединно-океанических хребтов — цепь подводных гор, которая пересекает основные океанские котловины и имеет протяженность около 60 тыс. км. Это, безусловно, самая длинная горная цепь на Земле. Сопоставление данных по рельефу основных океанских котловин выявило сложность геометрии цепи: во многих местах гребни срединно-океанических хребтов смещены по латерали на расстояния от нескольких километров до нескольких сотен километров. Особенно распространены такие смещения на Срединно-Атлантическом хребте: если следовать вдоль его гребня, они будут встречаться через каждые 50-100 км. Большинство смещений невелико: чтобы найти продолжение хребта, необходимо переместиться от него менее чем на 30 км. Некоторые смещения имеют гораздо большую величину. Типичное крупное смещение представляет собой глубокую впадину, соединяющую окончания двух сегментов хребта. Впадина ограничена поднятиями, которые простираются примерно вдоль нее. Эти поднятия называются поперечными, или трансформными, хребтами. Примечательно, что впадина и ограничивающие ее хребты могут быть отчетливо прослежены за гребнями тех сегментов хребта, которые они соединяют. Таким образом, впадина и поперечные хребты образуют протяженные нарушения рельефа дна, которые именуются океаническими зонами разломов.

Рассмотрим экваториальную часть Атлантического океана. Здесь серия сближенных зон разломов рассекает Срединно-Атлантический хребет. Крупнейшая из них, зона разломов Романш, смещает гребень хребта почти на 1000 км. Максимальные глубины во впадине Романш имеют отметки более семи километров, наиболее высокие части хребтов, ограничивающих впадину, расположены на глубине менее одного километра. Перепады в рельефе, таким образом, составляют здесь более шести километров. Укажем, для примера, что глубина Гранд-Каньона едва достигает одной четвертой этой вели-

чины. Зона разломов Романш граничит с несколькими аналогичными зонами, вместе с которыми она образует последовательность впадин и поперечных хребтов шириной несколько сотен километров (в направлении с севера на юг). Вся эта область, Экваториальная зона сдвигов, вряд ли имеет аналог по размерам и расчлененности где-нибудь еще на нашей планете.

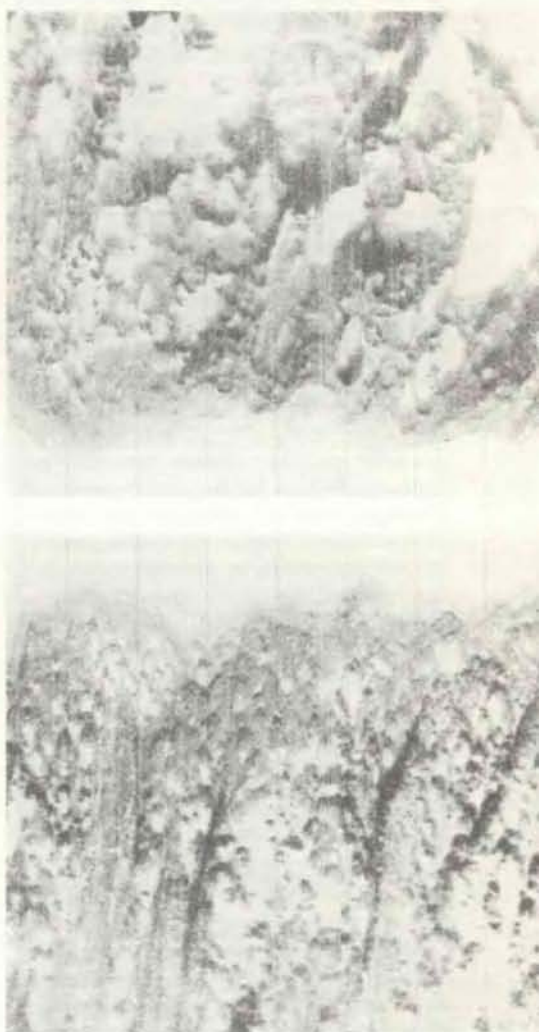
Какие геологические процессы создали зоны разломов в экваториальной Атлантике и подобные им зоны, обнаруженные повсеместно в океанских котловинах? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть события, в результате которых образуются океанские котловины. Зоны разломов в таком случае предстанут перед нами как области интенсивной геологической активности. Они возникают в процессе раскрытия океанских котловин и в дальнейшем подвергаются значительным перестройкам.

ПЕРВЫМ ключом к разгадке природы зон разломов явилось, по-видимому, установление того факта, что в окрестности гребня срединно-океанического хребта имеют место интенсивная сейсмическая и вулканическая активность и высокий тепловой поток, идущий из недр Земли. Теория тектоники плит объяснила и это, и другие открытия. Один из постулатов теории состоит в том, что новая океаническая кора образуется вдоль оси срединно-океанических хребтов и присоединяется к крупным плитам, составляющим дно океанских котловин. Плиты переносят кору от гребней хребтов со скоростями от 1 до 20 см/год. Таким образом, гребни являются осями спрединга океанского дна. В некоторых случаях, в том числе в Атлантическом океане, смешивающиеся плиты раздвигают континенты, чем и обеспечивают их дрейф.

Геологическая значимость латеральных смещений гребней оставалась, однако, неясной до тех пор, пока в 1965 г. Дж. Вильсон из Торонтского университета не ввел концепцию трансформного разлома в гипотезу спрединга океанского дна. Согласно этой концепции, одна плита уносит кору с одной стороны от гребня хребта, а другая — с другой. Вследствие этого вдоль линии сме-

щения двух сегментов хребта блоки коры должны скользить относительно друга друга, двигаясь в противоположных направлениях. Смещение и представляет собой активную часть трансформного разлома. Геологи называют такое место зоной сдвиговых перемещений.

Согласно модели Вильсона сдвиговые перемещения происходят по всей длине трансформного разлома, но не выходят за его пределы вдоль линии, представляющей собой продолжение



ЗОНА РАЗЛОМОВ КЛИППЕРТОН рассекает дно Тихого океана и образует в подводном хребте под названием Восточно-Тихоокеанское поднятие смещение порядка 80 км, являющееся

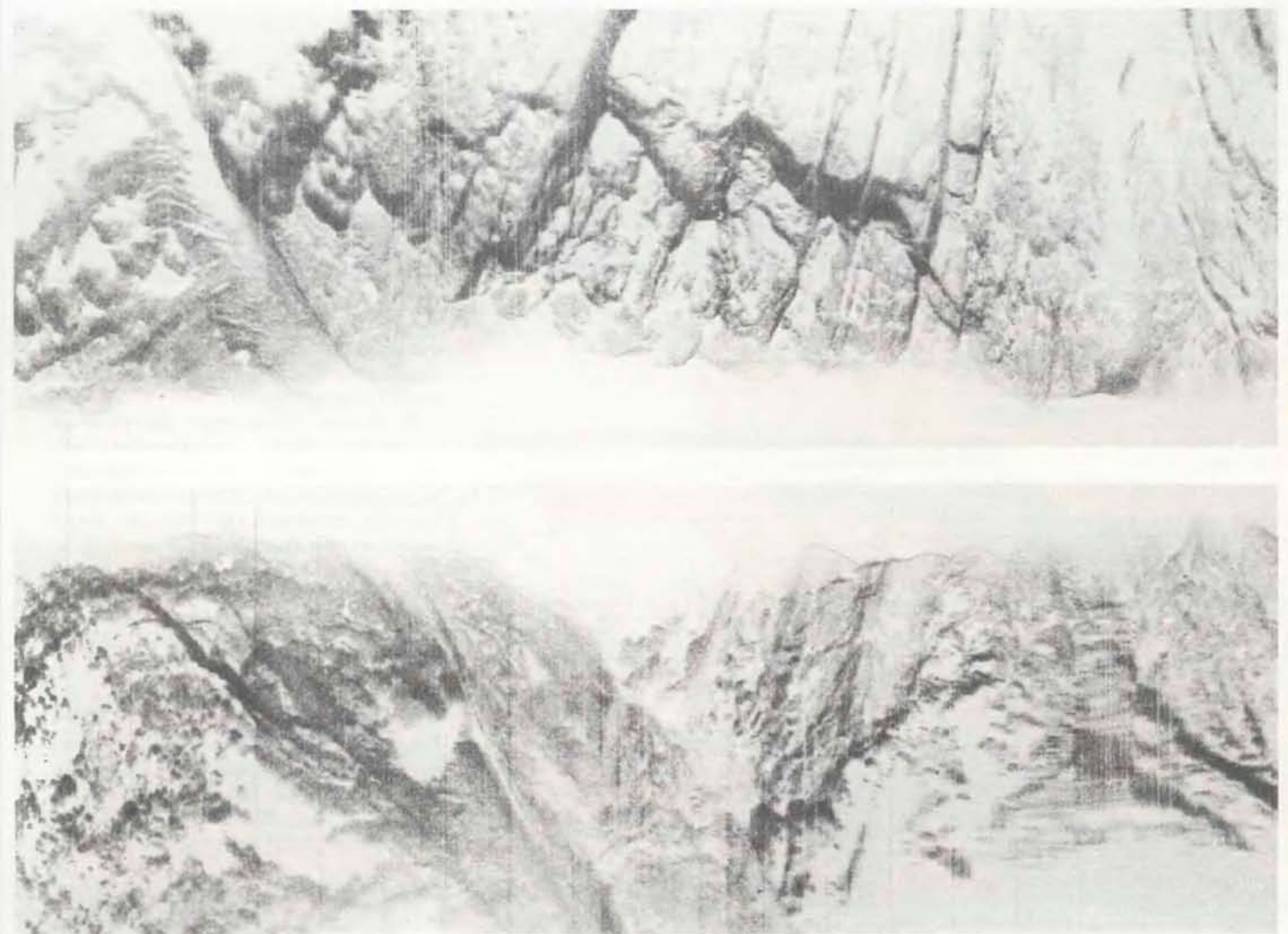
трансформного разлома в океанской котловине. Это предсказание подкрепляется наблюдениями: эпицентры землетрясений обычно располагаются в пределах трансформного разлома, но редко вдоль его продолжения. Дополнительное подтверждение дает анализ сейсмических волн, возникающих при землетрясениях. Анализ был выполнен Л. Сайксом из Геологической обсерватории Ламонт-Дозрти Колумбийского университета. Сейсмические волны указывают на направление, в котором происходит резкое смещение блоков, вызывающее землетрясение в зоне трансформного разлома. Предполагается, что направление подвижки при землетрясении совпадает с направлением медленного тектонического перемещения. Анализ Сайкса указывает на то, что перемещение действительно имеет сдвиговый характер, а его направление соответствует предсказанному Вильсоном.

Очевидно, что разработанная Вильсоном модель океанических транс-

формных разломов в целом верна. В то же время последние исследования позволяют думать, что она слишком упрощена. Начать с того, что впадина и поперечные хребты, которые представляют собой след от смещения большой амплитуды по трансформному разлому, могут быть выявлены на продолжении зоны смещений. Действительно, следы некоторых трансформных разломов в экваториальной части Атлантического океана могут быть прослежены от одной границы океана до другой, т.е. от побережья Африки до побережья Южной Америки. Вблизи окраин континентов разломы погребены под слоем осадков, но выявляются с помощью сейсмических наблюдений. Таким образом, представление о том, что трансформные разломы — это районы, где блоки земной коры более или менее пассивно скользят относительно друг друга, сменяется концепцией, согласно которой разломы являются районами разнообразной геологической активности,

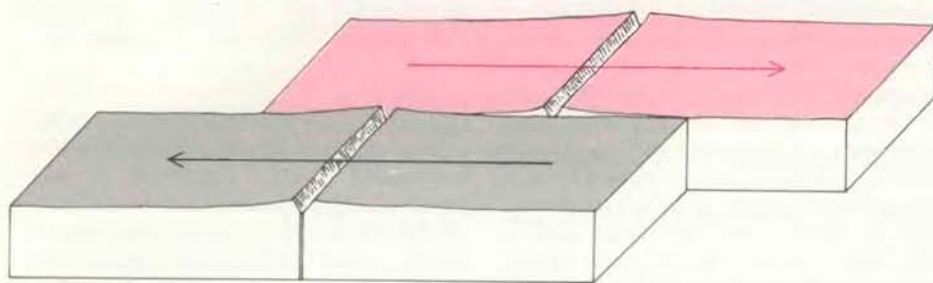
в значительной мере определяющей структуру и эволюцию океанских котловин.

ЧЕМ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ наличие глубоких впадин вдоль трансформных разломов? Здесь, вероятно, играет роль несколько факторов. Новая океаническая кора формируется в основном вдоль оси срединно-океанического хребта вследствие подъема базальтовой магмы, образующейся в мантии на глубине порядка 30—60 км ниже дна. Выходя на поверхность, магма охлаждается и застывает. Уровень, на который поднимается магма (он соответствует глубине, на которой располагается ось хребта), определяется количеством магмы, ее температурой и вязкостью, а также замедлением ее подъема за счет взаимодействия с относительно холодными стенками подводящих магматических каналов. Двигаясь от гребня, кора постепенно остывает и сжимается. Поэтому, чем древнее дно и чем больше расстояние от оси, где кора бы-

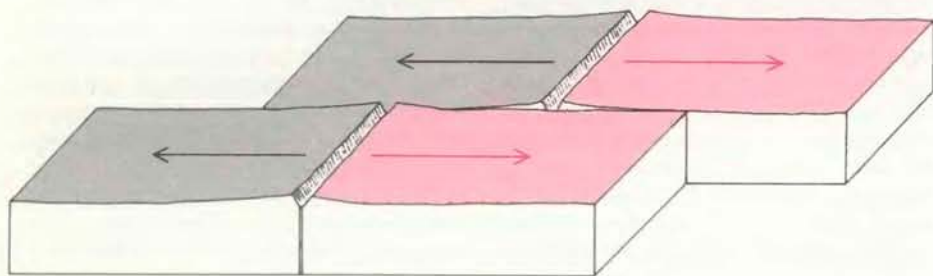


частью трансформного разлома Клиппертон. (На рисунке разлом заметен как наклонная полоса, пересекающая снимок в середине.) Снимок получен сонаром «Си-Марк», разработанным одним из авторов (Крэйн). Буксируемый на высоте 200—500 м над дном, «Си-Марк» посылает пучок акусти-

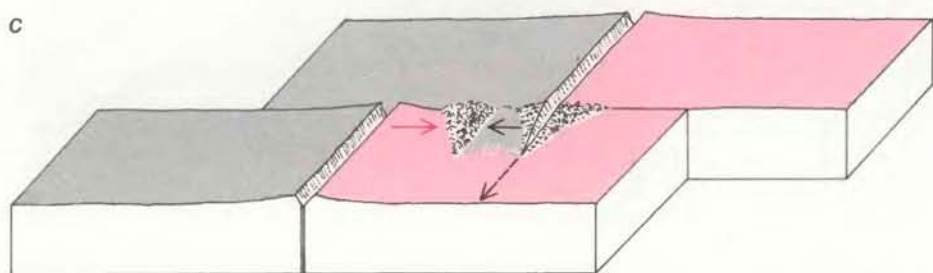
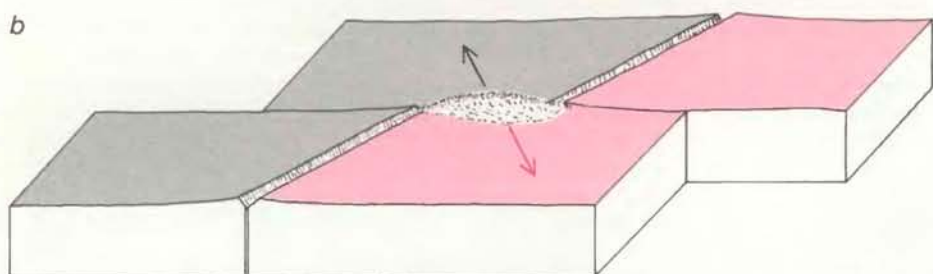
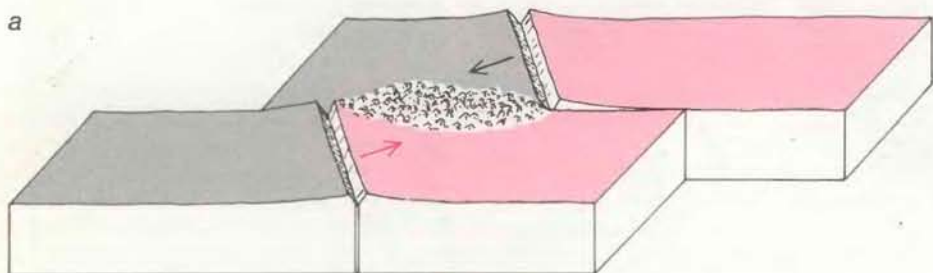
ческих волн вправо и влево по ходу движения (верхняя и нижняя половины снимка соответствуют участкам дна по разные стороны от прибора). Темные пятна на снимке — участки сильного отражения от дна, например стенки подводных уступов.



- ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ГИПОТЕЗА: океанические зоны разломов похожи на поперечные разломы на континенте; вдоль них скользят относительно друг друга два блока земной коры и с ними сегменты срединно-океанического хребта.



ТЕОРИЯ ТЕКТОНИКИ ПЛИТ предполагает, что новая кора образуется на оси каждого сегмента хребта. Плиты расходятся от хребта. Относительно друг друга две плиты скользят только вдоль смещения между двумя гребнями сегментов.



НАПРЯЖЕНИЯ в зоне разломов возникают, когда изменяется направление спрединга. Если плиты сходятся (а), то кора сжимается и дно приподнимается. Если плиты расходятся (b), то кора растягивается и ослабляется, образуя впадину. Продвижение гребня одного из сегментов хребта (с) может также вызывать сходные плит.

ла сформирована, тем больше глубина, на которой располагается дно. Эта связь выражается простой зависимостью, хорошо подтвержденной в трех основных океанах — Атлантическом, Тихом и Индийском: глубина океана увеличивается пропорционально корню квадратному из возраста коры.

На трансформном разломе эта простая зависимость нарушается: впадина является по существу аномально глубокой областью океанского дна. В месте соприкосновения с трансформным разломом молодой, неостывший гребень сегмента хребта соседствует с более древней и холодной литосферой. (Литосфера включает в себя кору и относительно жесткую верхнюю часть мантии. Мощность коры и мощность верхней части мантии в сумме составляют мощность литосферной плиты.) Следовательно, горячий материал, поднимающийся вдоль оси хребта вблизи трансформного разлома, должен взаимодействовать с холодной стенкой. Поэтому он должен «замерзнуть» на более низком уровне, образуя депрессию в месте пересечения гребня и трансформного разлома. За счет спрединга депрессия вытягивается и превращается во впадину, которая может полностью пересечь океанскую котловину. В начальной фазе спрединга впадина может даже расширяться, так как при остывании плита, вероятно, сжимается не только по вертикали, но и по горизонтали.

Характеристики поперечных хребтов, ограничивающих впадину, также не укладываются в зависимость, связывающую глубину океана с возрастом океанической коры. Хребты являются аномально высокими. Как же в таком случае они возникают?

В течение последнего десятилетия интенсивно велись исследования пород, слагающих стенки трансформных желобов (впадин) и склоны поперечных хребтов. Большинство образцов было получено при драгировании океанского дна, а часть поднята с помощью обитаемого подводного аппарата «Алвин» в ходе изучения трансформного разлома Ошеанографер. (Исследования проводились нами совместно с П. Фоксом из Род-Айлендского университета и с сотрудниками Университета шт. Нью-Йорк в Олбани и Вудс-Холского океанографического института.) Трансформный разлом Ошеанографер находится в Северной Атлантике на 35° с.ш. вблизи Азорских островов.

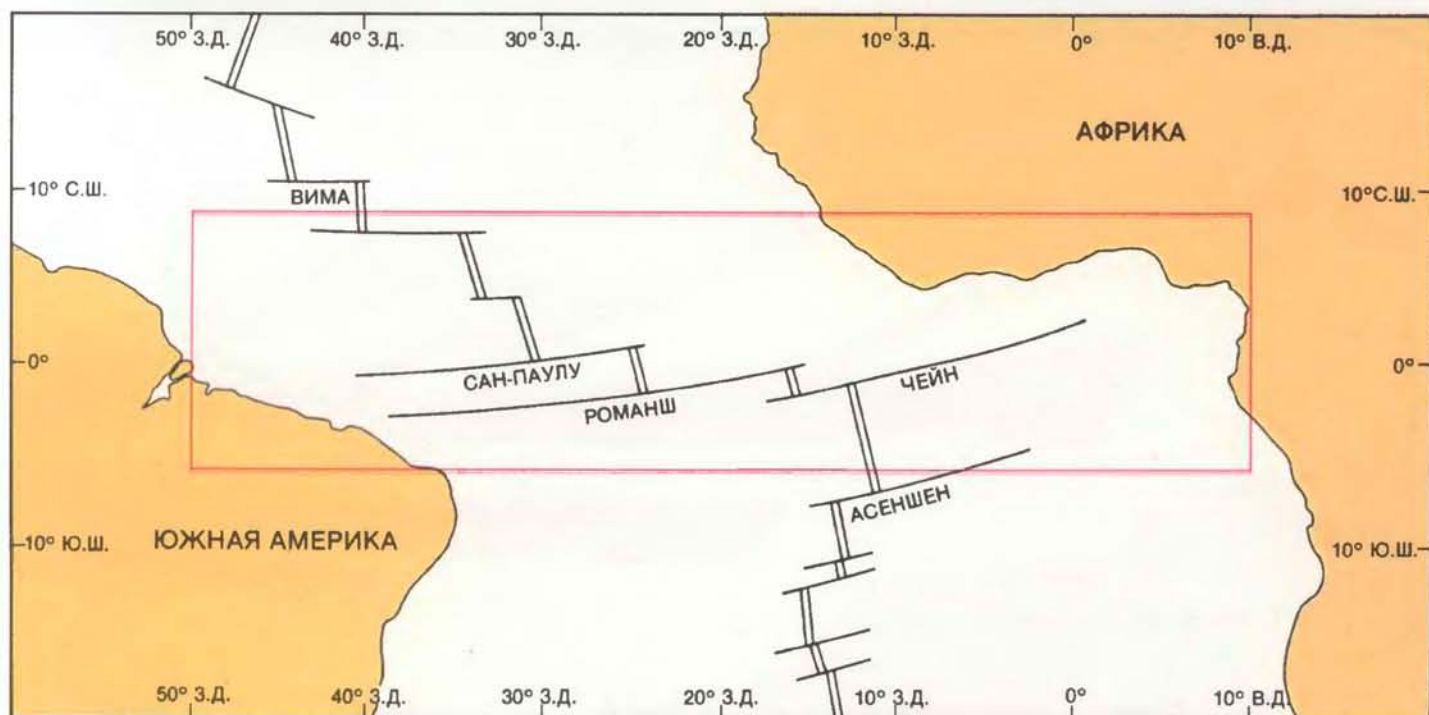
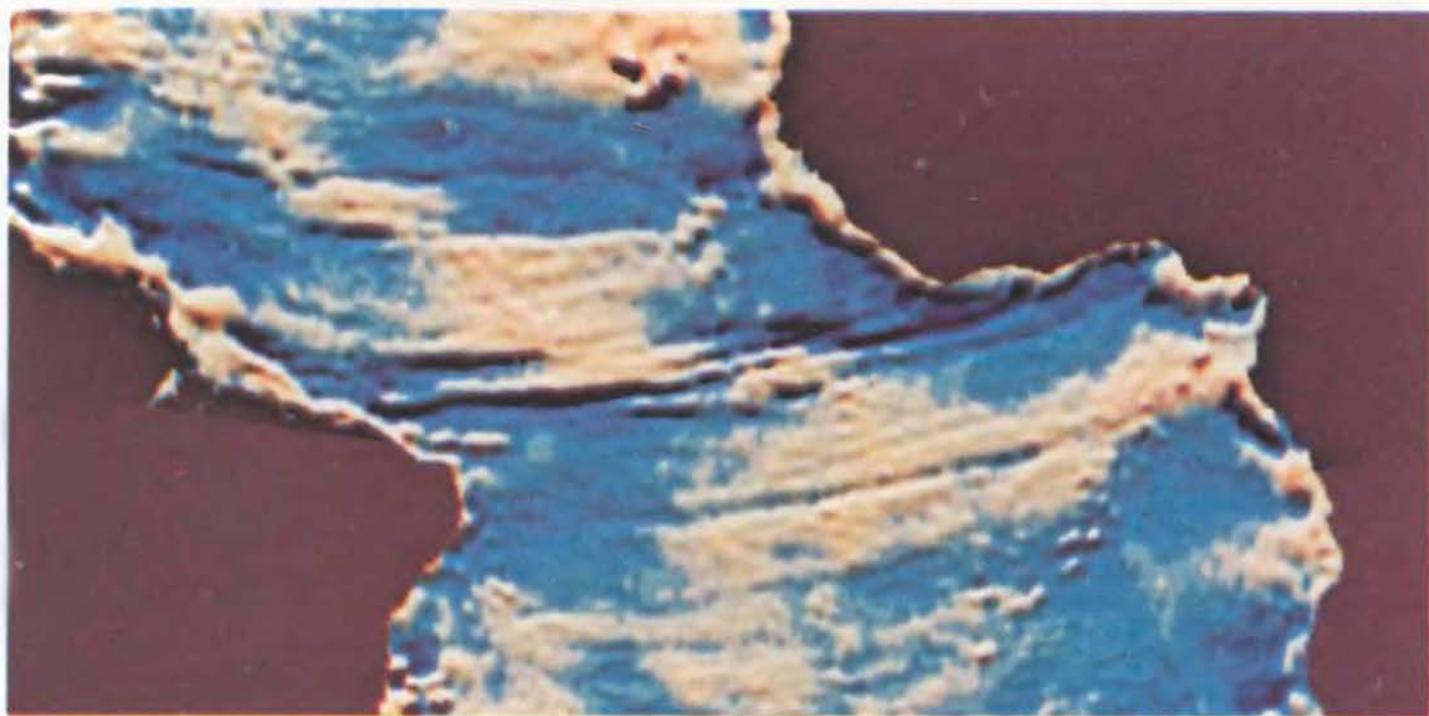
ОКАЗАЛОСЬ, что в собранных образцах наиболее широко представлены два типа пород. Первый из них — перидотиты. В минеральном отношении это породы, состоящие главным образом из оливинов, пироксенов и шпинели. В свою очередь оливины и пироксены представляют собой силикаты таких элементов, как магний и железо.

Содержание магния в перидотитах велико: концентрация оксида магния достигает 40%. В базальтах (породах, характерных для океанической коры) магния в четыре раза меньше. По внешнему виду перидотиты темные, серо-зеленые, имеют большую плотность, обычно $3,2 \text{ г/см}^3$. Такое значение плотности соответствует предположению о том, что перидотиты входят в состав верхней мантии. (Плот-

ность мантии определена по скорости прохождения через нее сейсмических волн. Результаты показывают, что под океанским дном плотность мантии должна составлять $3,1\text{—}3,3 \text{ г/см}^3$.)

Габбро — второй доминирующий тип в образцах пород. По минеральному и химическому составу габбро очень напоминают базальты: они состоят главным образом из силикатов кальция и алюминия, образующих та-

кие минералы, как полевой шпат. По физическим свойствам габбро также похожи на базальты: они темно-серые, имеют плотность около $2,8 \text{ г/см}^3$. Основное различие между габбро и базальтами в том, что кристаллы в габбро крупнее. Можно заключить, что как габбро, так и базальты образуются в результате частичного плавления перидотитов в мантии. Те части выплавки, которые достигают океанского



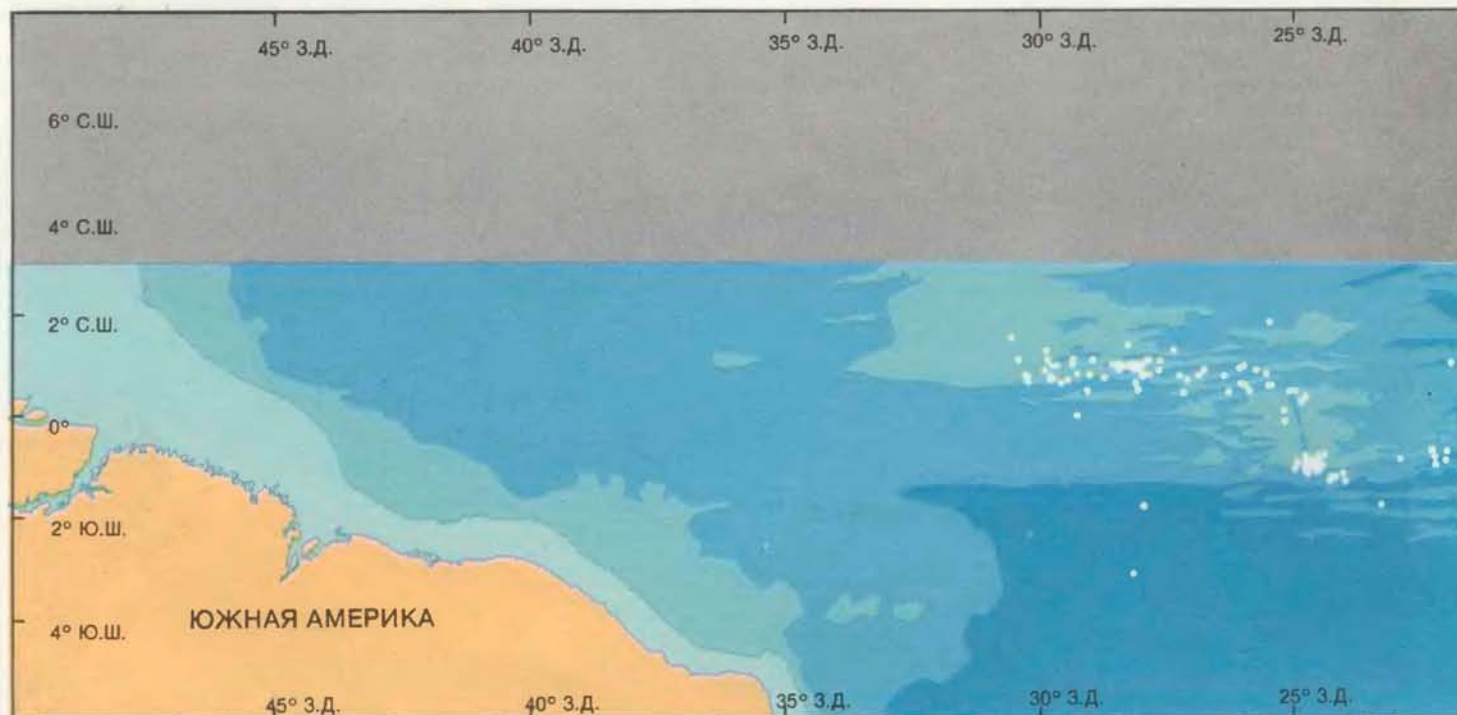
УРОВЕНЬ МОРЯ, измеряемый радаром со спутника, отражает положение зон разломов, пересекающих Срединно-Атлантический хребет. Светлые участки на изображении соответствуют меньшим глубинам океана. (Там уровень океана выше.) Темные участки отвечают районам больших глубин; среди них примечательны глубоководные впадины,

связанные с зонами разломов. (Там уровень океана ниже.) Многие зоны пересекают всю экваториальную часть Атлантики. Они обозначены на нижней схеме. Прямоугольником отмечена область, показанная на двух следующих рисунках. (Изображение предоставлено У. Хэксби из Ламонт-Доэрти.)

дна, быстро остывают при излиянии на его поверхность. При этом образуются базальты. Часть мантийного вещества охлаждается медленнее на больших глубинах. В результате образуются габбро. Точнее говоря, габбро застывают под гребнями срединно-океанических хребтов в магматических камерах, расположенных в нижней ча-

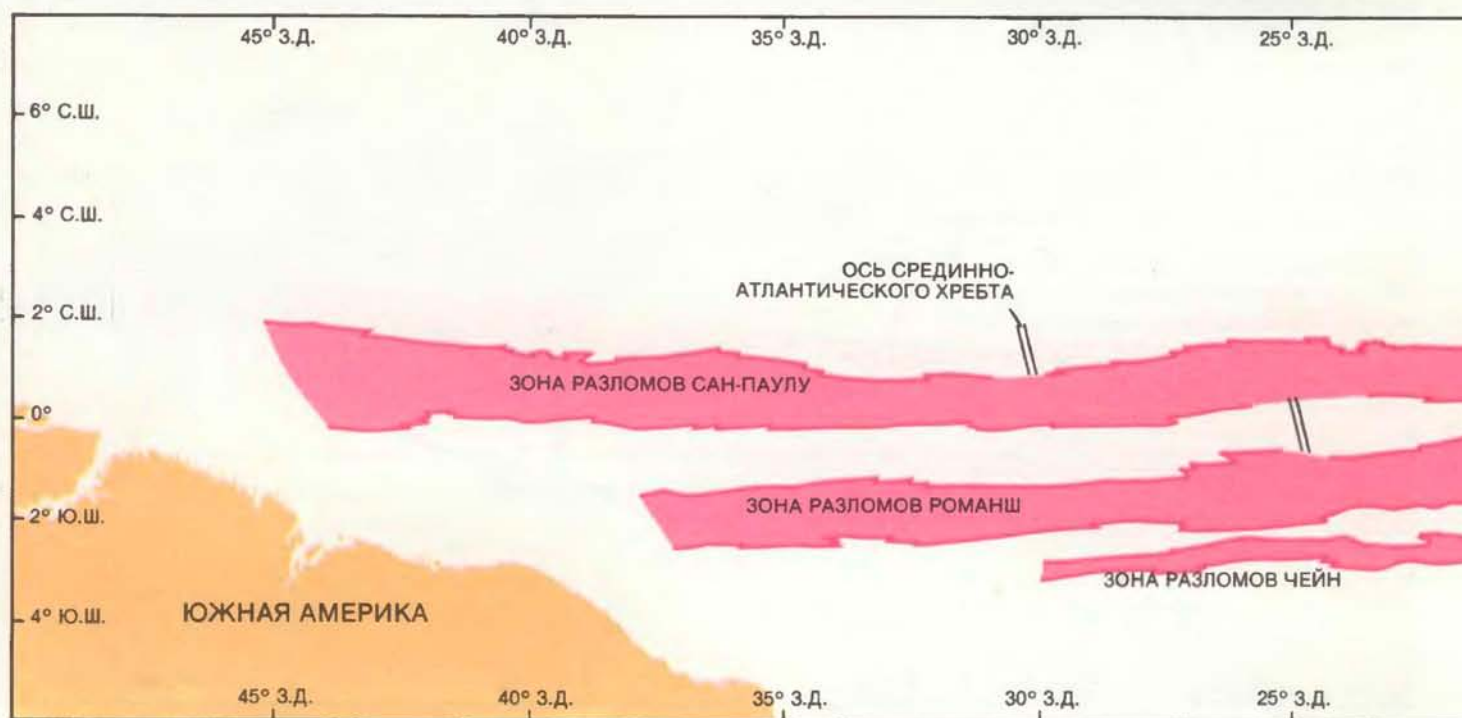
сти океанической коры. Ключевым является тот факт, что оба типа пород, распространенные в трансформных разломах, — перидотиты и габбро, — изначально, как правило, располагаются на глубоких уровнях: перидотиты — в верхней мантии, габбро — в нижней части коры. Наличие этих пород на хребтах означает поэтому, что

поперечные хребты представляют собой фрагменты глубоких частей коры и верхней мантии, которые каким-то образом были подняты. В этом отношении исследование разрезов поперечных хребтов, целиком сложенных образованными в верхней мантии перидотитами, особенно показательны. Минералы, входящие в перидотиты, стабили-



СЛОЖНАЯ ГРАНИЦА ПЛИТ, проходящая по сегментам Срединно-Атлантического хребта и смещаемая серией трансформных разломов, может быть выявлена по рельефу

дна и по распределению эпицентров землетрясений. Сегменты хребта — это области, где формируется новое дно, горячее и приподнятое; они поэтому относительно неглубо-



ТРИ ОСНОВНЫЕ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ (показанные красным цветом) создают значительные смещения на Срединно-Атлантическом хребте, заметные на предыдущем рисунке. Каждая зона включает в себя активную часть трансформ-

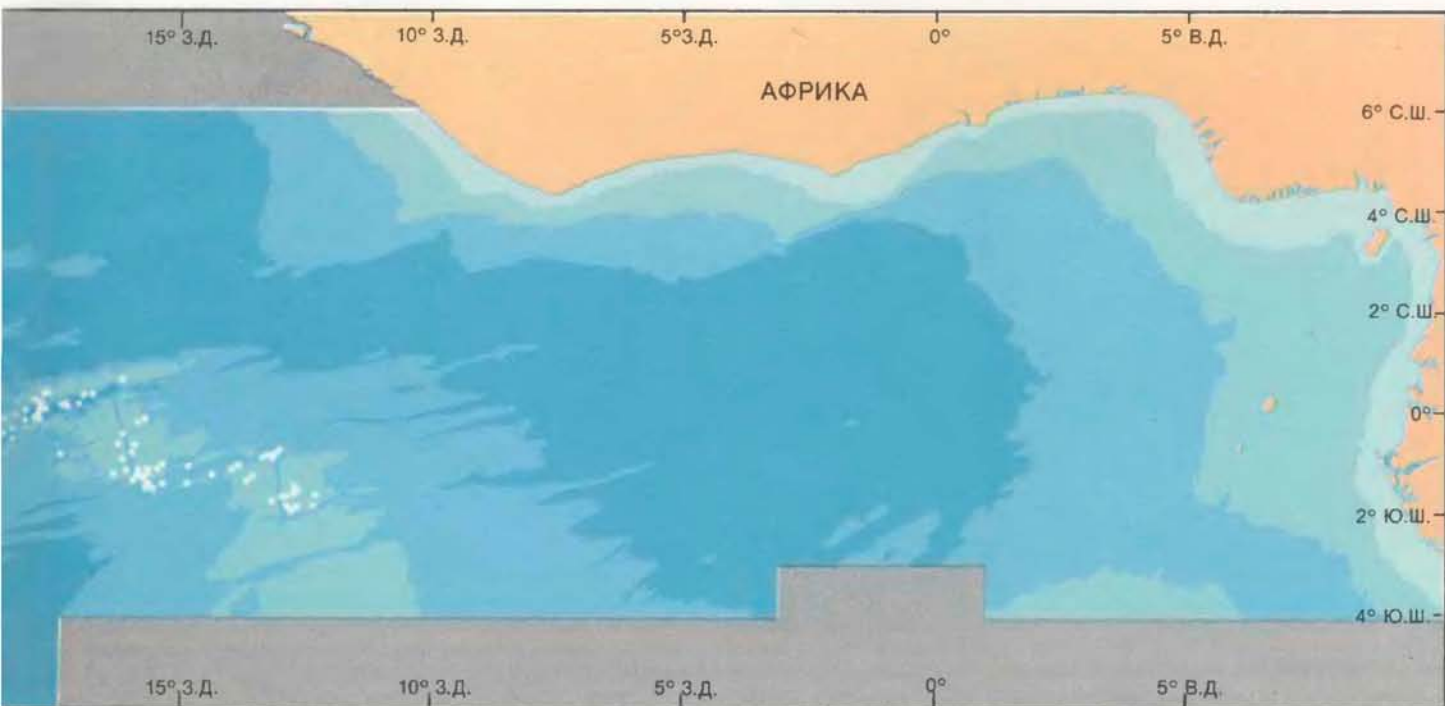
ного разлома, идущего вдоль смещения. За пределами смещения зона простирается на всю ширину океана в виде впадины, ограниченной anomalously высокими поперечными хребтами. Вблизи берегов Африки и Южной Америки зоны

ны только в мантии при больших температурах и давлениях. В иных условиях они превращаются в другие минералы. Кроме того, некоторые из минералов перидотита, главным образом пироксены и шпинель, несколько изменяют химический состав в зависимости от температуры и давления, другими словами, от глубины, на которой они

образуются. Минеральная ассоциация в перидотитах, собранных на трансформных разломах, позволяет предположить, что перидотиты образовались на глубинах свыше 30 км. (Граница между корой и мантией обычно проходит на глубине 4—5 км.) Это расстояние перидотиты должны были каким-то образом преодолеть, находясь в

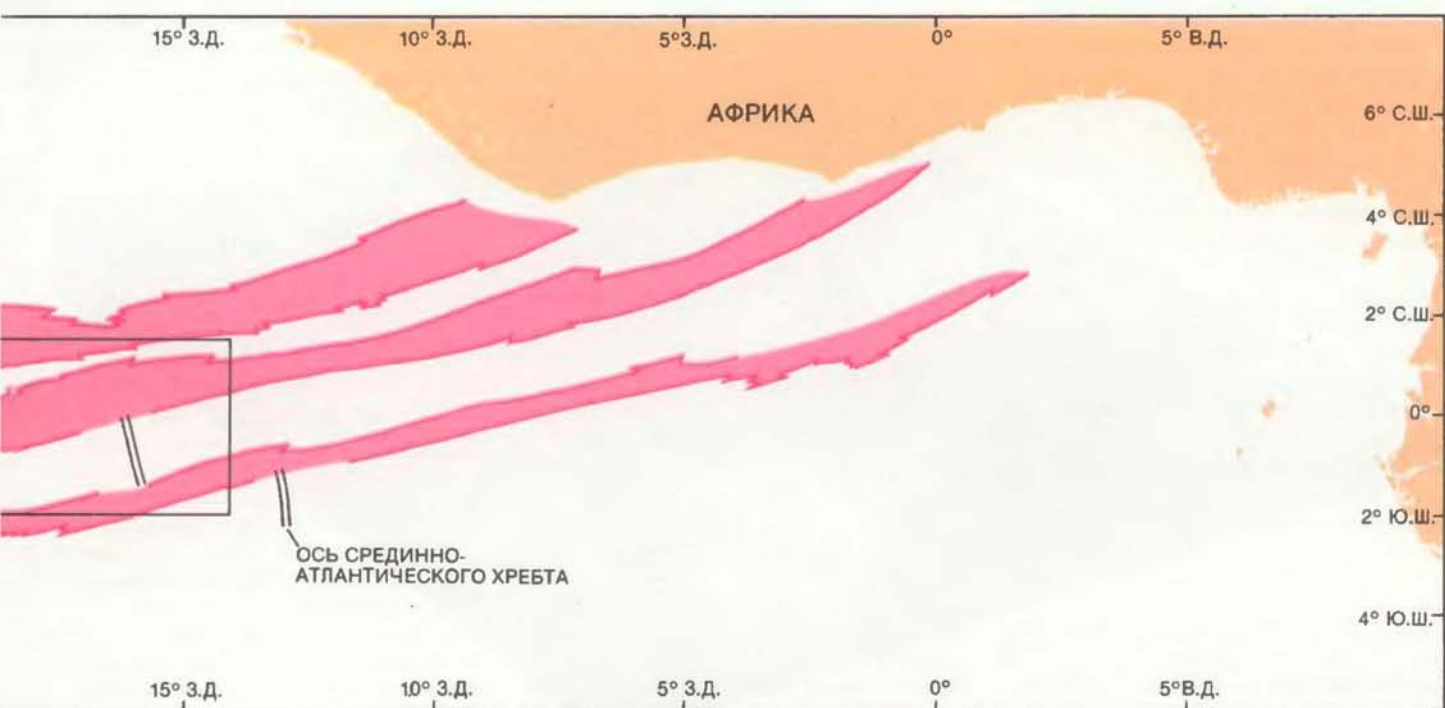
твердом состоянии.

По мере движения вверх перидотиты достигают уровня, на котором встречается морская вода (несколько километров ниже дна). Естественно, что морская вода с большой вероятностью проникает в кору на срединно-океанических хребтах и на трансформных разломах, поскольку в этих местах ко-



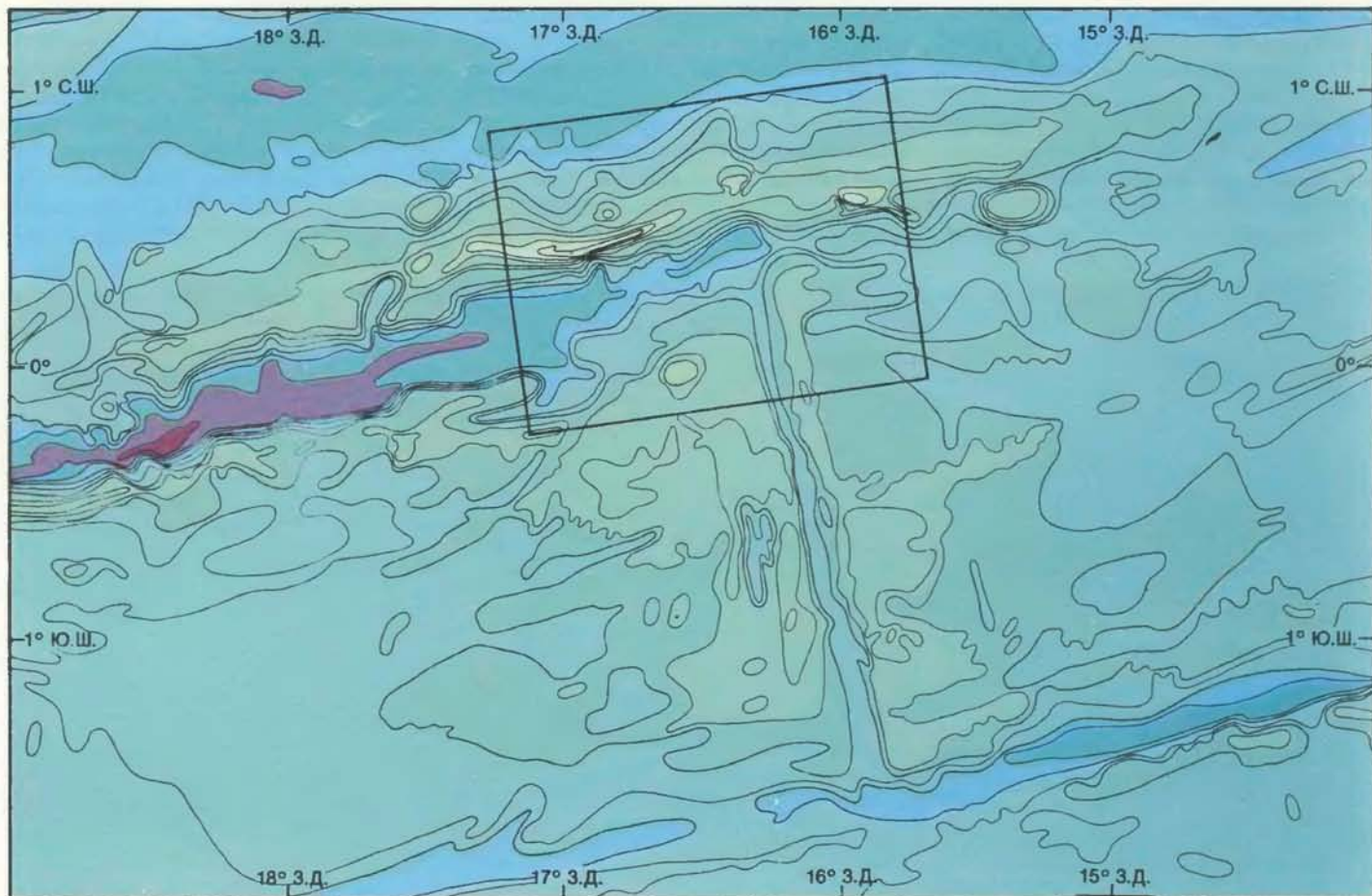
ки. В трансформных разломах происходят внезапные подвижки коры в направлении спрединга дна; следовательно, наряду с гребнями сегментов хребта разломы представля-

ют собой районы, где возникают землетрясения. Изобаты проведены для глубин 1000, 3500 и 4500 м. Белыми точками показано положение эпицентров землетрясений.



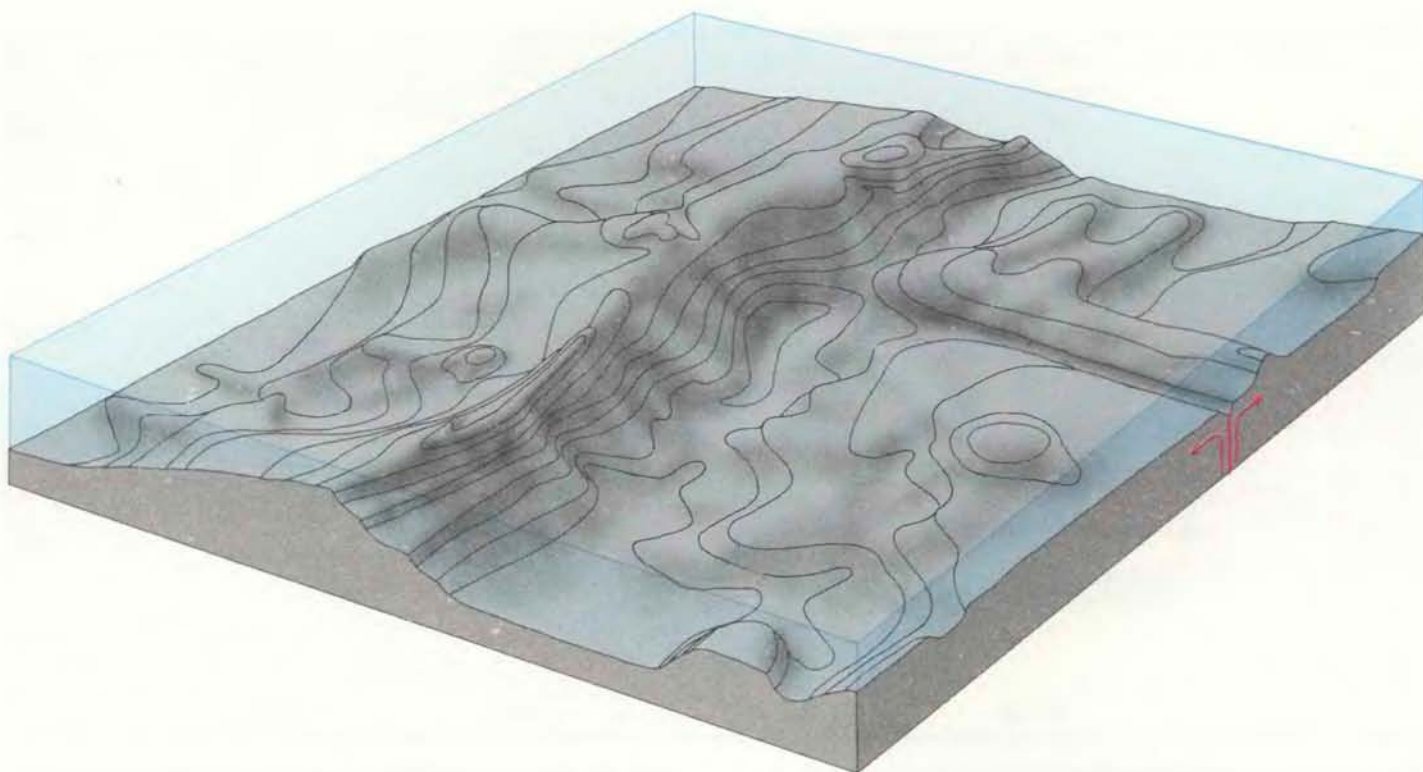
перекрыты континентальными осадками; тем не менее о их наличии свидетельствуют сейсмические данные. Все три зоны находятся в центре области, которую называют Экваториальной зоной сдвигов. Их положение закартировано

М. Горини из Ламонт-Доэрти. Часть зоны разломов Романш и Срединно-Атлантического хребта, ограниченная прямоугольником, показана более детально на следующем рисунке.



ЗОНА РАЗЛОМОВ РОМАНШ наиболее значительная в Экваториальной зоне сдвигов; глубина здесь менее 1 км на вершинах хребтов и более 7,5 км во впадине. Приведена детальная карта части зоны. Изобаты проведены с интервалом 500 м от 1000 до 5000 м и дополнительно для 6000 и 7000 м.

Впадина ограничена по бокам отчетливыми хребтами. С юга к зоне подходит сегмент Срединно-Атлантического хребта. Часть зоны разломов, ограниченная прямоугольником, показана на нижнем рисунке.



ИЗОБРАЖЕНИЕ УЧАСТКА ДНА зоны разломов Романш подчеркивает расчлененность ее рельефа благодаря увеличению вертикального масштаба. Изобаты проведены с интер-

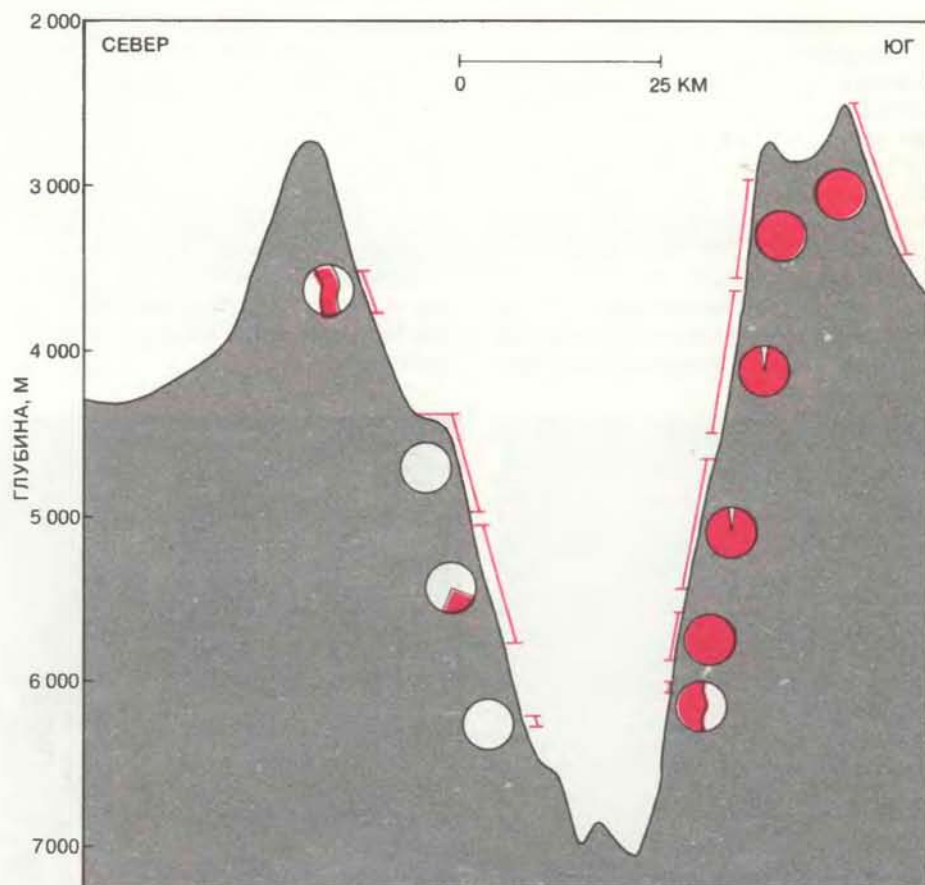
валом 500 м от 1000 до 5000 м. Согласно теории, глубина дна увеличивается с возрастом коры. Впадина и хребты не удовлетворяют этой зависимости.

ра сильно раздроблена и имеет высокую проницаемость. Некоторые минералы перидотитов (особенно оливин и пироксен) могут взаимодействовать с морской водой, постепенно превращаясь в другие минералы, главным образом в магнезиальные гидросиликаты, называемые серпентинами. В результате плотность перидотитов резко уменьшается: от 3,2 до 2,6 г/см³. Уменьшение плотности должно облегчать подъем этих пород сквозь более плотный материал коры, включающий габбро и базальты.

НЕЛЬЗЯ сказать, что вывод о подъеме глубинных пород в океанических зонах разломов был сделан лишь на основании анализа образцов, добытых при драгировании и с помощью обитаемых подводных аппаратов. Известен по крайней мере один пример массива, сложенного материалом мантии, вершина которого находится выше уровня моря. В середине Атлантики к северу от экватора из глубин океана поднимаются крошечные острова Сан-Паулу. В 1831 г. Чарльз Дарвин, плававший на корабле «Бигль», совершил непродолжительную высадку на этот пустынный кусочек суши. Дарвин обнаружил, что в геологическом отношении острова весьма необычны: было похоже, что они имеют не вулканическое происхождение. В настоящее время известно, что острова сложены перидотитами и представляют собой фрагменты верхней мантии, которые были подняты вблизи пересечения трансформного разлома Сан-Паулу с гребнем Срединно-Атлантического хребта.

Более того, сейчас установлено, что отдельные части других поперечных хребтов в экваториальной Атлантике совсем недавно, в геологическом смысле этого слова, поднимались над уровнем моря. По трансформному разлому Вима, расположенному на 11° с.ш., гребень Срединно-Атлантического хребта смещен примерно на 300 км. Вдоль всего смещения, ограничивая трансформный желоб с юга, вытнувшись поднятый блок океанической коры. Вершина его находится на глубине всего 600 м ниже уровня моря. Детальный анализ проб показывает, что этот блок перекрыт рифовыми известняками, аналогичными тем, что окружают острова (такие, как Багамские, например).

Разнообразные данные помогают определить, при каких условиях были сформированы известняки. Начать с того, что известняки включают образования, характерные для мелководья, например, оолиты (известковые отложения, формирующиеся в тех случаях, когда холодные воды втекают на прогретое мелководье). В них входят также ископаемые остатки таких организмов, как кораллы, известковые водоросли и моллюски, обитающие на



РАЗРЕЗ РАЗЛОМА РОМАНШ. Показаны места, где авторы отбирали образцы пород. Для каждой точки состав пород иллюстрирует диаграмма. Некоторые породы оказались обычными (не закрашено), включающими базальты, из которых в основном состоит океаническая кора. В то же время было обнаружено, что перидотиты (закрашено) слагают 4,5-километровую южную стенку впадины Романш. Как правило, перидотиты не входят в состав океанической коры.

мелководье или в зоне между уровнями полной и малой воды. В дополнение к этому в известняках видны изменения, типичные для эрозии на суше. Наконец, имеются оценки соотношения изотопов кислорода. Если морские организмы формируют свою раковину из карбоната кальция, то соотношение изотопов O¹⁶ и O¹⁸ в CaCO₃ будет равно соотношению этих изотопов для кислорода, растворенного в морской воде. Если в дальнейшем раковина подвергнется воздействию дождевой воды, в которой соотношение изотопов несколько иное, это вызовет изменение изотопного состава материала раковины.

Все сказанное подтверждает предположение о том, что известняки формировались близко от поверхности как часть коралловых рифов или лагунов. Более того, исследования показывают, что, находясь на воздухе, известняки подвергались выветриванию и изменяли свой состав. Следовательно, в прошлом самые мелководные части трансформного хребта Вима в виде острова или группы островов выступали над поверхностью океана. Данные отвечают и на вопрос, как давно это было. Изучение ископаемых раковин фораминифер, микроскопических морских ор-

ганизмов, показывает, что поперечный хребет Вима выступал над поверхностью океана (постоянно или эпизодически) с середины миоцена до середины плиоцена, т.е. в период примерно с 10 до 3 млн. лет назад. Он погружался со средней скоростью 0,3 мм/год.

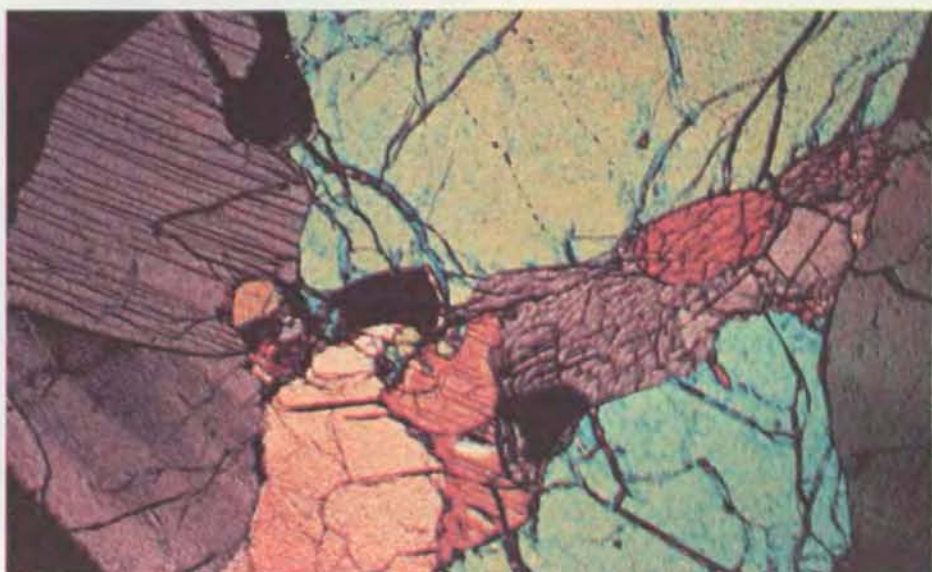
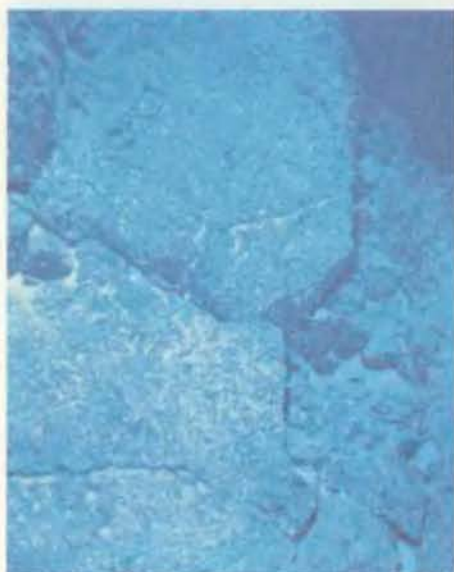
Аналогичные условия были обнаружены на восточном пересечении трансформного разлома Романш со Срединно-Атлантическим хребтом. В этом месте глубина поперечного хребта Романш уменьшается до значений, многим больших 1000 м, и это поднятие прослеживается на расстояние более 100 км. Мы смогли показать, что и здесь вершина хребта увенчана ископаемым рифом и что примерно 5 млн. лет назад она еще возвышалась над поверхностью океана в виде острова или группы островов. Ее погружение шло со средней скоростью 0,2 мм/год.

РИСКУЯ упростить ситуацию, рассмотрим совсем схематично, что произошло бы на океаническом трансформном разломе, если направление спрединга океанских плит, которые скользят относительно друг друга вдоль трансформного разлома, слегка отклонилось бы от того, при котором

разлом составляет прямой угол с гребнем каждого сегмента хребта (см. рисунок на с. 16). Предположим, что углы увеличились. Плиты тогда уже не будут скользить относительно друг друга. Вместо этого они будут расходиться. Трансформная зона окажется подверженной растяжению и будет стремиться раскрыться. Она, к примеру, может расширяться настолько, что какое-то количество поднявшейся базальтовой магмы проникнет в эту область растянутой и ослабленной океа-

нической коры. Структура, которая может образоваться при таких условиях, получила название трансформного разлома с растяжением. В противоположность этому случаю углы могут уменьшаться. Тогда плиты будут сходиться вдоль трансформной зоны. Кора в зоне будет деформироваться под действием бокового сжатия, и возникающие при этом вертикальные перемещения могут, вероятно, повлечь за собой тектоническое вздымание фрагментов коры.

Существуют ли какие-нибудь свидетельства того, что направление спрединга океанских плит изменялось с течением времени? Более десяти лет назад Г. Менард-младший и Т. Этуотер из Скрипсовского океанографического института указали на изменение ориентации магнитных аномалий на некоторых участках океанских котловин. Магнитные аномалии представляют собой, вероятно, наиболее весомые доказательства в пользу теории тектоники плит. Аномалии возникают



ПЕРИДОТИТ в зоне разломов Ошенографер в Северной Атлантике, сфотографированный с обитаемого подводного аппарата «Алвин» (слева); предполагается, что его внутренняя структура аналогична структуре перidotита из зоны разломов Красного моря, сфотографированного в шлифе в поляризованном свете (справа). Перidotит состоит из трех минералов: пироксена, оливина и шпинели. Кристалл пироксена (коричневый при этом освещении) виден в левой ча-

сти фотографии; кристаллы оливина (зеленые и оранжевые) и шпинели (черные) располагаются правее. Ширина шлифа около 0,5 см. Предполагается, что перidotиты входят в состав верхней мантии. Их присутствие в поднятых участках зон разломов означает, что эти поднятия представляют собой фрагменты коры и верхней мантии, которые переместились вверх не менее чем на 30 км.



НА ЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОФОТОГРАФИЯХ перidotитов из океанических зон разломов видны изменения, происходящие при контактах породы с морской водой. Слева — перidotит из Красного моря. Изменения отсутствуют. Поверхность кристалла пироксена ступенчатая. Справа — перidotит из разлома Романш. Он сильно изменен: морская вода,

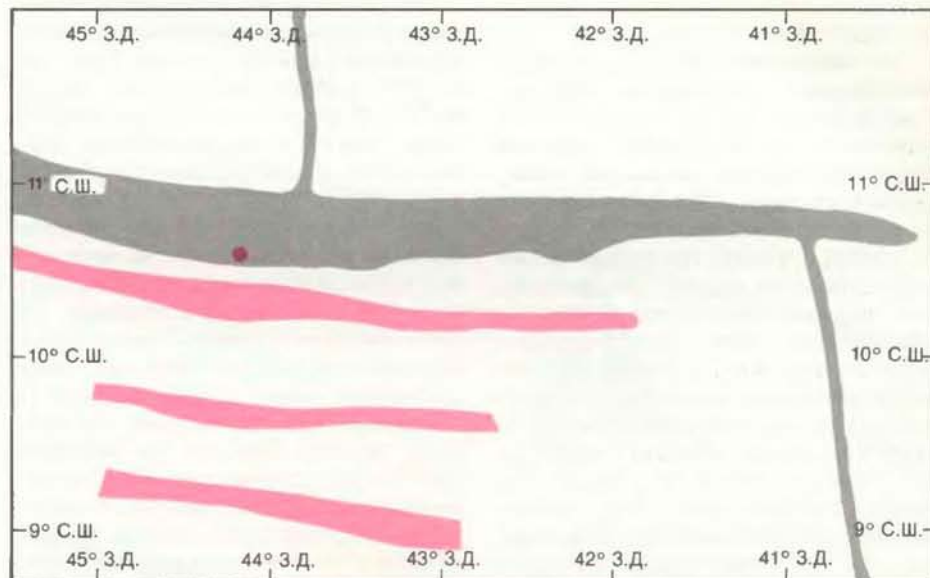
проникающая сквозь трещины в коре, вызывает гидратацию пироксена; в результате образуется сетчатая структура кристаллов минерала серпентина. Гидратация и пористость сетки заметно уменьшают плотность перidotита, что, по-видимому, благоприятствует его подъему из верхней мантии.

вследствие того, что океаническая кора образуется из застывающей лавы, направление намагниченности которой соответствует направлению силовых линий магнитного поля Земли в текущий момент времени. Магнитное поле Земли на протяжении геологической истории много раз меняло свою полярность: следовательно, намагниченность коры, образующейся на оси срединно-океанического хребта и уносимой от оси при спрединге, должна нести запись серии инверсий магнитного поля Земли. Так оно и обстоит в действительности. Более того, «отпечаток» последовательности инверсий с одной стороны от гребня срединно-океанического хребта — это зеркальное отражение «отпечатка» с другой его стороны. Именно Менард и Этуотер заметили, что магнитные «полосы» между инверсиями не всегда ориентированы параллельно простиранию срединно-океанических хребтов. Это означает, что направление спрединга морского дна может изменяться.

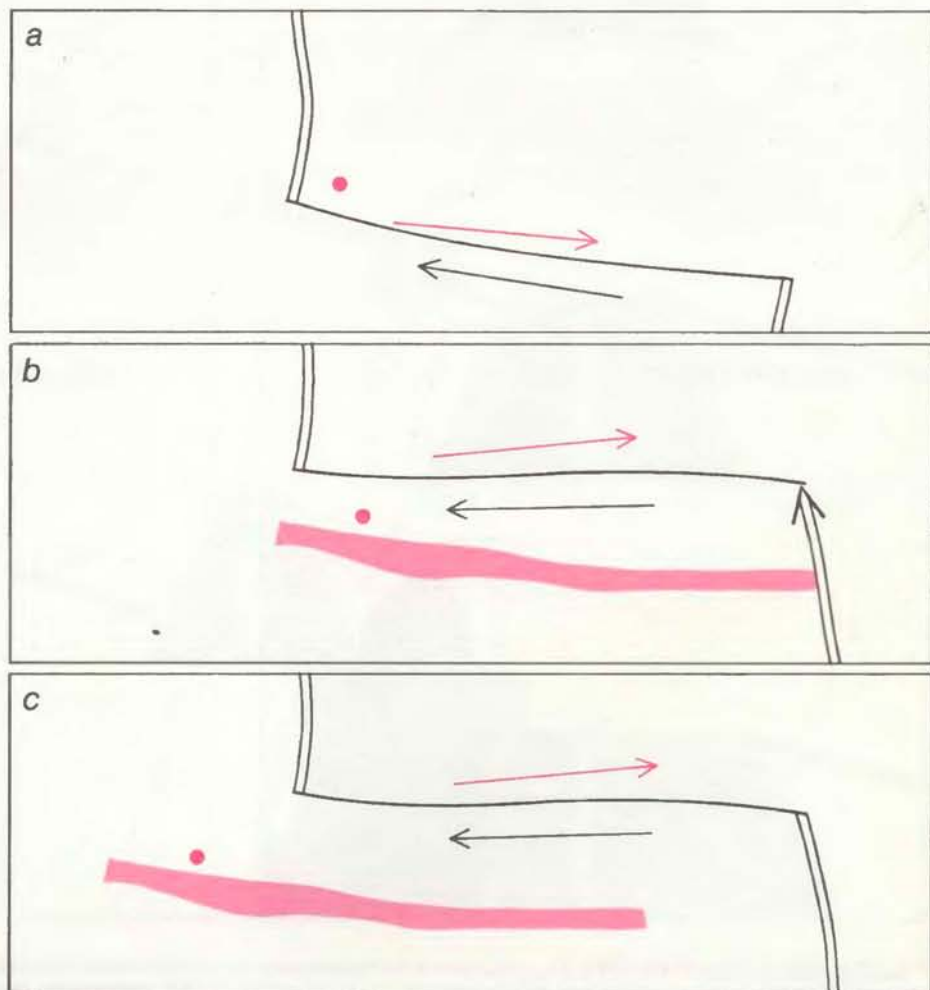
Еще одно доказательство, позволяющее считать, что направление спрединга может изменяться, представляют сами океанические зоны разломов. Впадины и поперечные хребты, образующиеся в пределах трансформных разломов и переносимые через океанские котловины в процессе спрединга, имеют резкие изгибы. Они отчетливо видны на картах рельефа дна Атлантического океана, составленных по данным радарной альтиметрии У. Хэсби, нашим коллегой из Ламонт-Доэрти. Предполагается, что каждый изгиб был обусловлен воздействием напряжений, возникших при изменении направления перемещения плиты.

ИТАК, МОЖНО утверждать, что вертикальные тектонические движения, приводящие к появлению участков дна с аномально малыми глубинами в трансформных зонах, порождаются главным образом напряжениями сжатия. Напряжения возникают в результате переориентации трансформного разлома, вызываемой изменениями направления перемещения плит. Пока не хватает данных, на основании которых можно было бы подтвердить это количественно. Необходимы измерения деформаций в коре и обширные исследования образцов горных пород.

Наиболее близко к получению количественных оценок подводят исследования на трансформном разломе Вима. Именно там в начале 70-х годов Т. Ван-Андел из Скриппсовского института обнаружил к югу от активной в настоящее время части трансформного разлома ряд неактивных трансформных долин. Каждая из них располагается под углом от 10 до 15° по отношению к активной части разлома. Кроме того, каждая такая долина прослеживается



ЗОНА РАЗЛОМОВ ВИМА к югу от активного в настоящее время трансформного разлома. Красным цветом показаны многочисленные долины (по-видимому, неактивные трансформные разломы). Известняки в зоне Вима (цветная точка), имеют возраст 55 млн. лет. Если бы они всегда находились южнее разлома и были перемещены в результате спрединга в западном направлении, то их возраст был бы в половину меньше. (По данным Т. Ван-Андела.)



ОСЦИЛЛИРУЮЩИЙ СПРЕДИНГ может объяснить аномальный возраст известняков из разлома Вима. Вначале известняки (цветная точка) были севернее разлома и перемещались на восток с Африканской плитой (a). Когда разлом изменил положение, они оказались южнее разлома (b) и ныне движутся на запад с Американской плитой (c). Палеодолина маркирует прежнее положение разлома.

только там, где океаническая кора имеет возраст более 10 млн. лет.

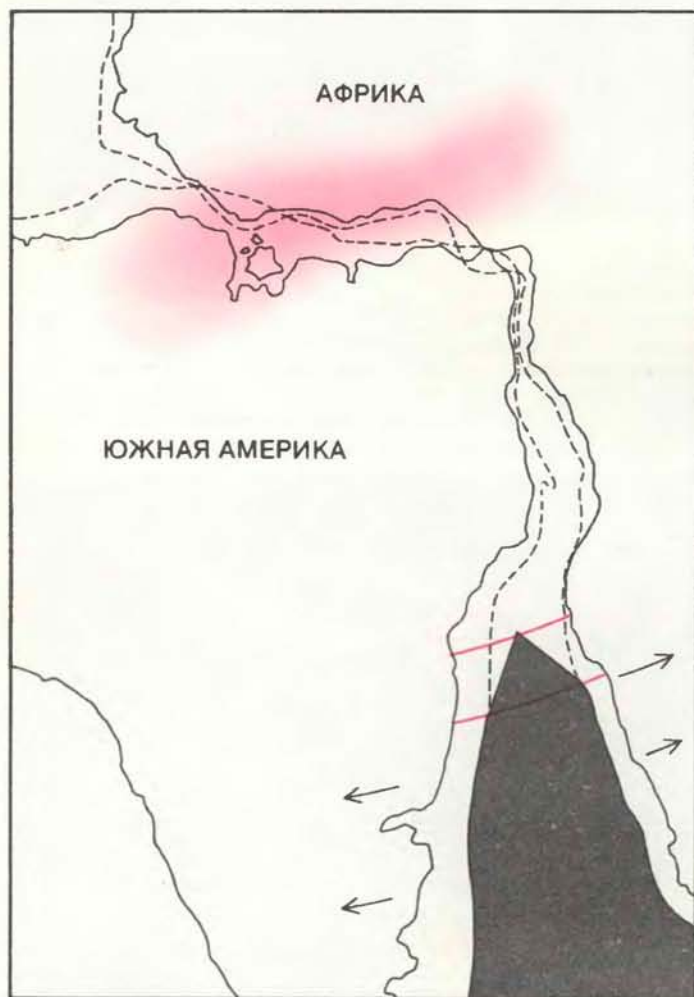
Эти наблюдения могут быть интерпретированы следующим образом. Свыше 10 млн. лет назад к югу от современного местоположения разлома Вима существовал активный трансформный разлом. Оконечность одного из сегментов Срединно-Атлантического хребта, а именно тех сегментов, которые соединял разлом, продвигалась в то время на север. (Меридиональное продвижение такого типа документировано в восточной части Тихого океана, в Аденском заливе, в Красном море и в других местах рядом исследователей, в том числе Р. Хэм из Скриппсовского института и В. Куртийо из Парижского университета.) Через некоторое время разлом занял другое положение, так что конфигурация разлома и гребней сегментов, которые он соединяет, приняла современный вид. При такой геометрии разлом расположен перпендикулярно к гребням сегментов хребта и напряжения ослаблены.

Эти модельные соображения объясняют любопытную особенность, обнаруженную нами на разломе Вима: на южной стороне современного трансформного разлома приподнятый блок коры имеет аномально древний возраст. В частности, возраст известняков в некоторых образцах, собранных на блоке, превышает 55 млн. лет. (Эти известняки образовались не на коралловых рифах, а возникли в результате уплотнения карбонатных осадков на дне.) Надо учесть теперь, что скорость спрединга на разломе Вима несколько превышает 1 см/год. Если бы базальтовая кора, перекрытая известняками, была сформирована на оси сегмента хребта к югу от современного разлома Вима и в дальнейшем вместе с лежащими на ее кровле известняками переместилась в то место, которое занимает сейчас, то возраст известняков должен был бы составлять не более 30 млн. лет.

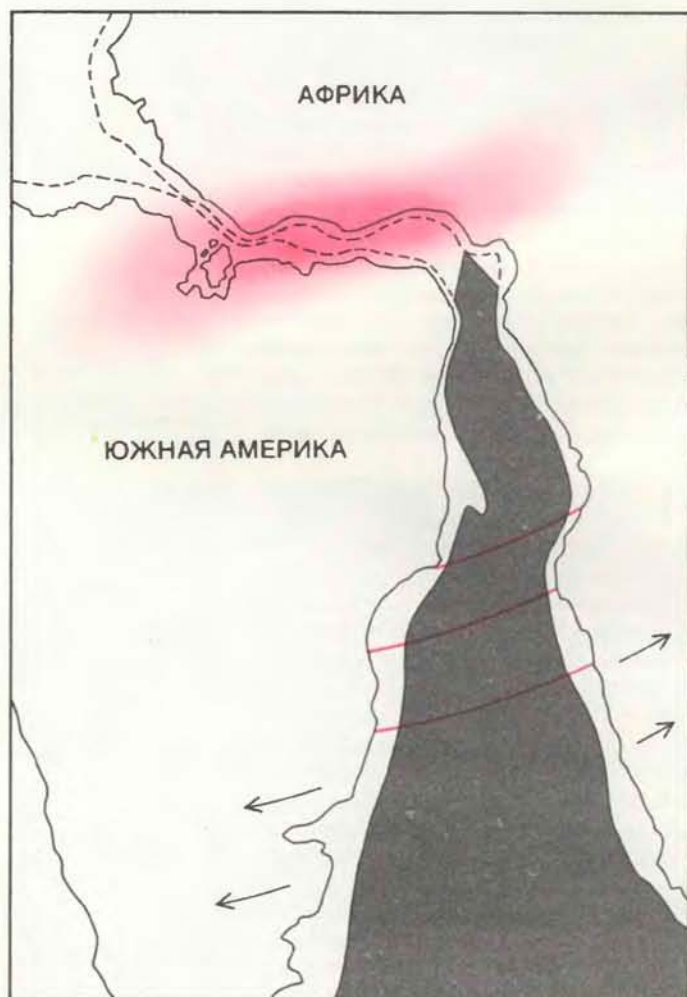
Мы предполагаем, что на блок земной коры, перекрытый известняками,

оказал воздействие процесс, названный нами осциллирующим спредингом. До того как разлом Вима сместился, известняки находились к северу от него и вместе с Африканской плитой перемещались на восток. После изменения положения разлома известняки оказались на его южной стороне и теперь вместе с Американской плитой перемещаются на запад. Вследствие изменения направления перемещения известняки путешествовали более 55 млн. лет, но все еще не покинули область хребта. Изменения положения разлома, по-видимому, сопровождались сильными напряжениями сжатия, которые приподняли блок земной коры вместе с известняками.

НАБЛЮДЕНИЯ и выводы, полученные при изучении трансформного разлома Вима, показали, что крупные трансформные разломы, рассекающие срединно-океанический хребет, не могут быть отнесены к спокойным структурам океанского дна. Это весьма ак-



РАСКРЫТИЕ АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА контролировалось существовавшими ранее зонами разломов в континентальной коре. Показаны две стадии раскрытия. 105 млн. лет назад (слева) северная оконечность продвигающегося рифта достигла первой из сдвиговых зон в Южной Атлантике. Еще через 5 млн. лет (справа) она достигла Экваториальной зоны сдвигов (показана цветом). Каждый раз продвижение рифта задерживалось до тех пор, пока около него не нара-



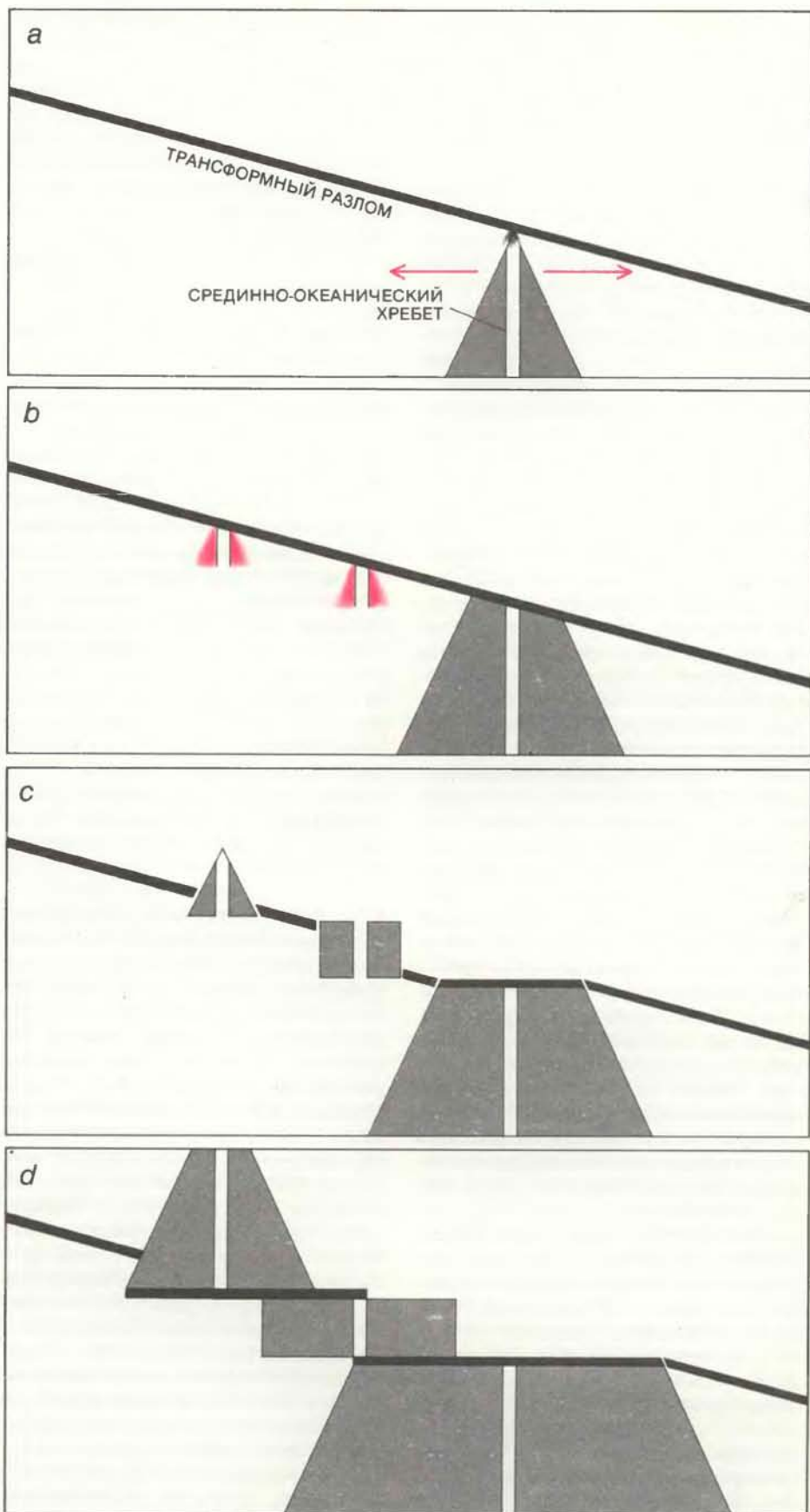
стала в достаточном количестве новая океаническая кора. Это позволяло зоне разломов и рифту переориентироваться таким образом, что рифт оказывался перпендикулярным направлению спрединга. Древние положения Африки и Южной Америки определены по совмещению современных очертаний материков (сплошная линия) и 1000-метровой изобаты континентального шельфа (пунктирная линия).

тивные структуры, подверженные миграциям, изменениям ориентации и деформациям. То, что разлом простирается на несколько сотен километров, означает, что, соединяя гребни сегментов хребта, он пересекает относительно холодную океаническую кору. Эта кора достаточно жесткая. Если бы смещение было меньше, то кора, которую оно пересекает, была бы более теплой и пластичной и процессы перестройки шли бы быстрее. Наверно, не стоит удивляться тому, что и расчлененность рельефа, и сейсмическая активность возрастают с увеличением смещения между гребнями сегментов хребта.

Трансформные разломы, рассекающие Срединно-Атлантический хребет, в целом более расчлененные, чем разломы, пересекающие Восточно-Тихоокеанское поднятие — крупный срединный хребет в Тихом океане. Нетрудно видеть, почему это так. На Восточно-Тихоокеанском поднятии скорость спрединга в 10 раз больше, чем в Атлантике. Таким образом, при одинаковой длине смещения, кора в пределах трансформного разлома в Тихом океане будет более молодой и горячей и менее жесткой, чем в Атлантическом океане.

В конечном счете, разумеется, нестабильность трансформных разломов должна возникать в ответ на напряжения, которые создаются в океанских плитах при их крупномасштабных перемещениях. Эта нестабильность должна быть поэтому максимальной при распаде континентов и раскрытии океанского дна, поскольку континентальная литосфера более мощная, холодная и жесткая, чем океаническая. Характерный пример представляет собой раскрытие Атлантического океана.

Анализ структуры магнитных аномалий на дне современной Атлантики показал, что котловина этого океана подвергалась прерывистому раскрытию. Анализ геологического строения котловины указывает на то, что и в Северной и в Южной Атлантике контуры раскрытия определялись положением разломов, пересекавших единый континент незадолго до того, как он раскололся. По-видимому, эти зоны образовались в результате тектонических событий (например, столкновений плит), которые происходили до формирования Атлантического океана. В направлении с юга на север располагались следующие основные системы разломов: Фолклендская зона сдвигов и Экваториальная зона сдвигов, в которой доминировала зона разломов Романш; далее в Северной Атлантике — зоны сдвигов Атлас и Чарлза Гиббса; наконец, в Норвежско-Гренландском бассейне — зоны сдвигов Ян-Майен и Де Гира. Данные, подтверждающие существование в прошлом Экваториальной зоны сдвигов, особенно надеж-



СТАДИИ столкновения рифта со сдвиговой зоной. Предполагается, что продвигающийся рифт (как в случае раскрытия Южной Атлантики) подходит к зоне под острым углом (а). По одну сторону от рифта новая кора должна сжиматься, по другую сторону — растягиваться и ослабевать. Ослабленная кора насыщается базальтовой магмой, и возникают новые центры спрединга (b). В конечном итоге они производят достаточное количество коры, чтобы зона разломов переориентировалась (c, d). Показано, как один из новых центров спрединга продолжает двигаться, вызывая смещения гребня хребта.

ны. Амазонский грабен (опущенный по разломам участок земной коры. — Ред.) на американском побережье и грабен Бенуа на африканском побережье представляют собой остатки этой зоны.

ЮЖНАЯ Атлантика, согласно данным Ф. Рабиновича и Дж. Лабрека из Ламонт-Доэрти, открывалась, подобно застевке-молнии, с юга на север со скоростью, изменявшейся от 10 до 20 см/год. По сути дела оконечность срединно-океанического хребта продвигалась на север, давая рождение океанической коре, растекавшейся в обе стороны. Это движение началось где-то в районе Фолклендской зоны сдвигов около 130 млн. лет назад.

100 или 90 млн. лет назад оконечность хребта достигла Экваториальной зоны сдвигов (см. рис. на с. 24). Их встреча, вероятно, была эффективной. Вполне возможно, что Экваториальная зона сдвигов представляла собой структуру, которую Куртийо называет «замковая зона». (Это такая часть плиты, которая активно сопротивляется раскрытию за счет продвигающегося рифта.) Вероятно, продвигающаяся оконечность хребта столкнулась с зоной сдвигов под углом отличным от 90°. (Сдвиговая зона и рифт возникли в результате различных тектонических событий, поэтому нет причины предполагать, что они обязаны быть перпендикулярны друг другу.) Конфигурация с косым пересечением должна была быть крайне неустойчивой. С одной стороны от гребня хребта вновь образующаяся океаническая кора должна была «таранить» зону сдвигов, приводя к значительному сжатию и, возможно, процессу поднятия. По другую сторону от гребня имела место противоположная ситуация: происходило растяжение. Подъем базальтовой магмы в зоне с ослабленной корой, по видимому, образовал ряд локальных центров спрединга.

Оконечность Северо-Атлантического рифта тем временем двигалась, очевидно, на юг по направлению к экватору. Расстояние от него до южного рифта было настолько велико (более 2000 км), что для того, чтобы Атлантика раскрылась на экваторе, должна была образоваться серия трансформных разломов с большим смещением. По крайней мере в течение 20 млн. лет эти трансформные разломы находились в пределах континентальной литосферы. Более того, они, вероятно, были ориентированы не под прямым углом по отношению к рифтам. За счет этого должны были возникать интенсивные напряжения, которые существовали до тех пор, пока нарастание новой океанической коры не вынудило сегменты рифта и соединяющий их трансформный разлом занять положение более

близкое к взаимно перпендикулярному, т.е. такому, которое соответствовало бы направлению относительного движения плит. Имея в виду результаты Д. Хэйеса из Ламонт-Доэрти, мы предполагаем, что для того, чтобы Экваториальная зона сдвигов могла приспособиться к изменениям, ширина новой океанской котловины должна была по крайней мере в 1,5 раза превышать длину смещения в зоне разломов. Только в этом случае зона могла мигрировать или поворачиваться практически без помех со стороны континентальной литосферы.

Наличие Экваториальной зоны сдвигов, несомненно, сильно влияло на процесс раскрытия экваториальной Атлантики. Один результат этого влияния — наличие на Срединно-Атлантическом хребте впечатляющей серии крупных смещений, которые заметны в настоящее время на экваторе. Вторым результатом — контуры Атлантического океана. Рифты, за счет которых открывался океан, стремились разделить Европу и Африку от обеих Америк вдоль линии, идущей примерно с севера на юг. На экваторе, однако, из-за наличия зоны сдвигов эта линия раздела ориентирована в широтном направлении. Следы начального разделения материков видны на ступенчатых субширотных смещениях в береговых линиях Африки и Южной Америки в экваториальной области.

НА ПРОТЯЖЕНИИ дальнейшей эволюции Атлантического океана экваториальные трансформные разломы оставались активными, поэтому всякое изменение направления спрединга океанского дна имело важные последствия. В каждом случае изменение положения экваториальных трансформных разломов должно было приводить к сжатиям и растяжениям, порождающая вулканизм и вертикальные движения фрагментов земной коры. На одном из таких поднятий, возникших вдоль трансформного разлома Сан-Паулу, птицы, которых наблюдал Дарвин, вили свои гнезда буквально на мантии Земли. В других местах древние коралловые рифы погрузились в глубины океана. Похоже, что в молодой и узкой экваториальной части Атлантического океана блоки земной коры поднимались и опускались достаточно часто. Таким образом, эволюция океанических зон разломов, по видимому, влияла на такие разнообразные процессы, как переселение живых организмов с континента на континент и водообмен между северной и южной частями океана. Поэтическая интуиция Уильяма Карлоса Уильямса оказалась верной:

О, что за могущественная связь —
Бусина, через которую проходит нить,
соединяющая континенты. . .

Издательство МИР предлагает:

М. Лонгейр
АСТРОФИЗИКА
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Перевод с английского

Видный английский астрофизик в своем курсе лекций, прочитанных в Кембриджском университете, подробно рассматривает процессы во Вселенной, происходящие с участием частиц и фотонов высокой и сверхвысокой энергии. Автор описывает протонную и электронную компоненты космических лучей, космическое рентгеновское и гамма-излучение, а также такие экзотические объекты, как пульсары, квазары, активные ядра галактик — наглядные свидетельства взрывных процессов чудовищной интенсивности.

Для астрономов и физиков — теоретиков и экспериментаторов, как специалистов, так и интересующихся новой проблематикой студентов.

1984, 26 л. Цена 4 р. 20 к.

Р. Грэхем
НАЧАЛА
ТЕОРИИ
РАМСЕЯ

Перевод с английского

Книга написана крупным американским математиком и отражает современные достижения в теории Рамсея, имеющей важные приложения в различных областях математики (теория множеств, логика, теория групп, вычислительная математика и др.). Изложение ведется в строгой и доступной форме, каждая глава сопровождается упражнениями, задачами, приведены нерешенные проблемы.

Для специалистов по комбинаторике, аспирантов и студентов университетов.

1984, 6 л. Цена 80 к.



Снова о солнечных пятнах

СОЛНЕЧНЫЕ пятна недостаточно изучены. Известно лишь, что они представляют собой относительно холодные участки поверхности Солнца (с температурой примерно 3900К, в то время как средняя температура поверхности Солнца 5600К), и поэтому кажутся темными. Низкая температура солнечных пятен, возможно, объясняется тем, что они пронизаны мощными магнитными полями, которые препятствуют конвективному переносу тепла из внутренних областей Солнца к поверхности. Число наблюдаемых на солнечном диске пятен меняется по 11-летнему циклу, в течение которого область образования пятен перемещается от широты 35° к экватору. Однако, несмотря на проводимые в течение нескольких десятилетий теоретические исследования, до сих пор не найдены удовлетворительные ответы на два основных вопроса: почему пятна подчиняются именно этому циклу и чем вызваны столь сильные магнитные поля в них?

Р. Говард, сотрудник обсерваторий Маунт-Вилсон и Лас-Кампанас, и П. Джилмен из Высокогорной обсерватории в Боулдере (шт. Колорадо) сообщают о новых интригующих результатах наблюдений, которые еще требуют теоретического осмысления. Говард и Джилмен измеряли суточное перемещение отдельных пятен на фотографиях Солнца в белом свете, сделанных на обсерватории Маунт-Вилсон. Они обнаружили, что скорость вращения Солнца непостоянна: она возрастает в периоды максимальной и минимальной солнечной активности, особенно в период минимума. За 62 года наблюдений, с 1921 по 1982 г., скорость вращения иногда возрастала на 3—4%.

Уже более ранние исследования давали основание предположить наличие некоторой связи между изменением скорости вращения и циклом солнечной активности, однако в этих исследованиях изучались перемещения не отдельных пятен, а их групп. По мнению Говарда и Джилмена, такой метод давал ошибочные результаты, поскольку образование и распад входящих в группу пятен могли приводить к перемещению центра группы, не имеющему никакого отношения к вращению. Говард и Джилмен получили свои результаты благодаря поистине героическим усилиям их научного сотрудника Памелы Джилмен, которая более двух лет измеряла положение каждого солнечного пятна на 23 000 фотографий путем перемещения курсора на экране дисплея. Это позволяло представить информа-

цию о положении пятна в цифровой форме, пригодной для обработки на ЭВМ, в которую был заложен специальный алгоритм распознавания образов, затем выбирались пятна, наблюдавшиеся в течение нескольких дней, и по их перемещению рассчитывалась скорость вращения Солнца.

Исследователи сравнивали результаты своих расчетов с данными, полученными с помощью другого метода измерения скорости вращения Солнца — по доплеровскому смещению. Поскольку Солнце вращается в направлении с востока на запад, спектральные линии излучения, испущенного газом от восточного края диска, движущегося по направлению к Земле, оказываются смещенными к фиолетовому концу спектра; линии в спектре излучения западного края, удаляющегося от земного наблюдателя, смещаются к красному концу спектра. Доплеровское смещение пропорционально скорости вращения. Результаты, полученные путем измерения доплеровского смещения на обсерватории Маунт-Вилсон с 1967 г., совпадают с данными анализа перемещений солнечных пятен: максимальная скорость вращения зарегистрирована в 1971 г. (вскоре после максимума солнечной активности), в 1974—1976 гг. (перед минимумом) и в 1979 г. (вблизи следующего максимума).

Сравнение результатов этих исследований выдвигает дополнительно аргументы в пользу широко распространенной гипотезы о том, что средняя скорость вращения пятен примерно на 3% больше скорости вращения фотосферы Солнца, измеренной по доплеровскому смещению. По современным представлениям, магнитные поля, вызывающие образование солнечных пятен, не ограничены поверхностью: они берут свое начало в более глубоком слое плотной плазмы. Этот слой перемещается быстрее, чем поверхность, и в процессе движения увлекает за собой магнитные поля пятен, напряженность которых столь велика, что они беспрепятственно перемещаются в газе. С точки зрения этой гипотезы максимальная скорость перемещения солнечных пятен в периоды максимальной и минимальной солнечной активности является результатом ускорения слоя, который порождает магнитное поле.

Максимальное доплеровское смещение связано и с ускорением поверхности. Поскольку полный момент количества движения Солнца не может изменяться и не обнаружены участки поверхности, замедляющие свое вращение одновременно с общим его ускорением, такое замедление должно происходить где-то во внутренних слоях

Солнца, возможно в том самом слое, в который «вморожены» солнечные пятна. Говард и Джилмен предлагают «весьма спекулятивную», по их мнению, гипотезу. Момент количества движения, утверждает их гипотеза, передается наружу от центра Солнца как медленные волны, ускоряя сначала слой пятен, а затем поверхностные слои, в которых волны отражаются обратно к центру. Этот механизм объясняет, почему изменение скорости вращения пятен отставало от изменения доплеровского смещения излучения поверхности в период с 1973 по 1982 г.: это мог быть период, когда волны момента количества движения отражались от поверхности Солнца внутрь. Гипотеза будет заслуживать доверия, если в будущем обнаружится, что максимальная скорость вращения пятен предшествует максимальному доплеровскому смещению.

Связь между циклом солнечной активности и изменениями скорости вращения Солнца наводит на мысль о том, что оба эти явления обусловлены одной причиной, однако пока теоретики далеки от ее выяснения. Они добились некоторых успехов в объяснении механизма солнечного цикла как следствия дифференциального вращения Солнца; известно, что экваториальные области вращаются быстрее (период вращения 25 суток), чем полярные (период вращения около 34 суток). Согласно этой модели, силовые линии магнитного поля Солнца, направленные от северного полюса к южному, проходят через конвективную зону — слой под поверхностью, толщина которого равна примерно четверти радиуса Солнца и где раскаленный газ поднимается к поверхности. Вследствие того что экваториальные области вращаются быстрее, магнитные силовые линии в этих областях растягиваются и образуют трубки, или пучки, в которых очень велик магнитный поток. Пятна появляются там, где эти трубки выходят на поверхность.

Джилмен считает, что слабым местом подобных моделей солнечного динамо является то, что в них не делается попытки объяснить, как впервые возникло дифференциальное вращение, и более того, они противоречат другим теоретическим моделям, в которых такие попытки предпринимаются. Согласно модели Джилмена, быстрое вращение экваториальных областей есть следствие глобальной конвективной циркуляции, однако эта модель мало что дает для понимания причин существования солнечного цикла. Противоречие между теориями, объясняющими магнитные процессы на Солнце, и теми теориями, которые рассматривают его динамику, сохраняются уже почти в течение десятилетия. По мнению Джилмена, до создания всеобъемлющей теории пока далеко.

Как рецепторы затягивают белки и частицы внутрь клеток

Клетки захватывают специфические крупные молекулы путем эндоцитоза, в котором принимают участие клеточные рецепторы. В большинстве случаев рецепторы, доставив лиганд внутрь клетки, возвращаются в плазматическую мембрану для связывания новых молекул лиганда

АЛИСА ДОТРИ-ВАРСА, ХАРВЕЙ Ф.ЛОДИШ

ВМНОГОКЛЕТОЧНОМ организме клетки окружены поступающей из крови жидкой средой, которую можно сравнить с наваристым бульоном. Особенность этого «бульона» заключается в том, что он содержит много тысяч ингредиентов, причем концентрация большинства из них очень низкая. Одни компоненты межклеточной жидкости представляют собой строительный материал клеток, такой, как аминокислоты, а другие — питательные вещества, например витамины. Каждый ингредиент нужен данной клетке в строго определенном количестве и в строго определенное время. Во внеклеточной среде содержатся и гормоны, индуцирующие специфические внутриклеточные сигналы, а также отходы метаболизма и токсические вещества, которые должны уничтожаться специализированными клетками. Каждая клетка извлекает из среды только те компоненты, в которых она нуждается, а все прочие внутрь нее не проникают.

Эта задача решается с помощью плазматической мембраны, которая окружает каждую клетку и контролирует ее обмен с межклеточной средой, а следовательно, и со всеми остальными клетками организма. Как и в других биологических мембранах, основной структурный элемент плазматической мембраны — это двойной слой молекул фосфолипидов. В него погружены молекулы различных белков, исполняющие множество разнообразных функций. Одна из них — обеспечение избирательного проникновения в клетки определенных водорастворимых веществ, для которых липидный бислой является непреодолимой преградой. Ионы и небольшие водорастворимые молекулы, такие, как аминокислоты и сахара, проникают в клетки либо просто путем диффузии, либо благодаря активному перекачиванию через специализированные каналы в мембранах.

Каналы построены из белков, называемых пермеазами. Крупные молекулы и частицы вещества проникают в клетки посредством совершенно иного процесса, известного под названием эндоцитоз. В этом случае участок плазматической мембраны обволакивает захватываемый клеткой материал, который в результате попадает внутрь клетки, причем он заключен в окруженный мембраной пузырек — везикулу, стенки которой происходят из плазматической мембраны. Существуют три варианта эндоцитоза.

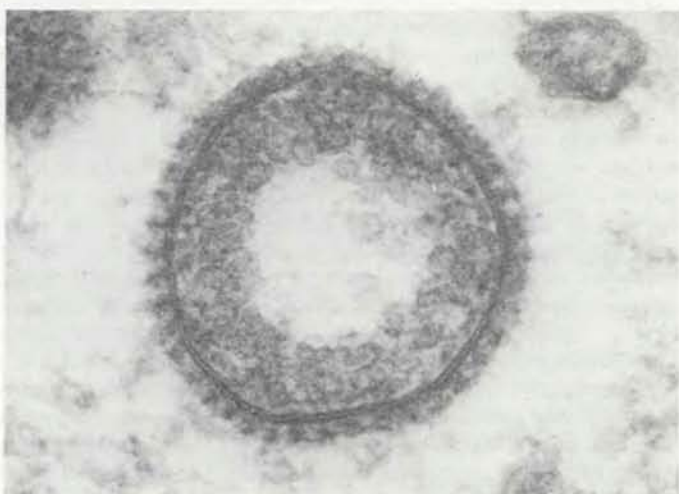
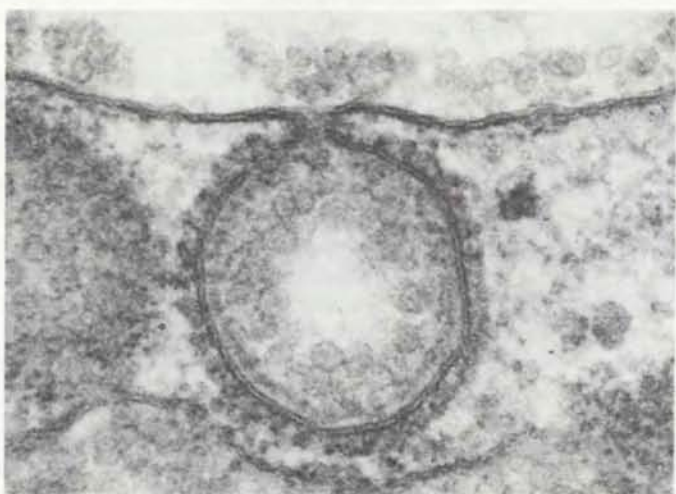
При фагоцитозе связывание частиц или очень больших молекулярных комплексов с клеточной поверхностью вызывает обволакивание мембраны вокруг связанной частицы. Далее происходит впячивание этого участка мембраны, и частица оказывается внутри клетки, заключенной в везикулу диаметром несколько микрометров. Путем фагоцитоза клетки простейших захватывают бактерий и другие пищевые частицы. У высших животных также есть фагоцитоз: клетки иммунной системы — макрофаги — поглощают таким способом попавших в организм бактерий.

Неспецифический захват клетками внеклеточной жидкости происходит благодаря эндоцитозу другого типа, называемому пиноцитозом. Заключается он в том, что мелкая капля жидкости окружается участком впячивающейся мембраны и переходит таким образом внутрь клетки в везикуле диаметром около 0,1 мкм. При этом, естественно, внутри клетки оказываются те ионы и мелкие молекулы, которые были растворены в капле.

В отличие от первых двух видов эндоцитоза опосредуемый рецепторами эндоцитоз высокоспецифичен. Рецепторы — это мембранные белки; в каждом есть участок связывания, специально подогнанный для того или иного лиганда — белка или небольшой ча-

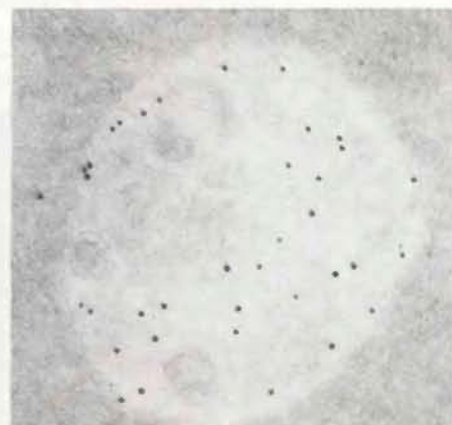
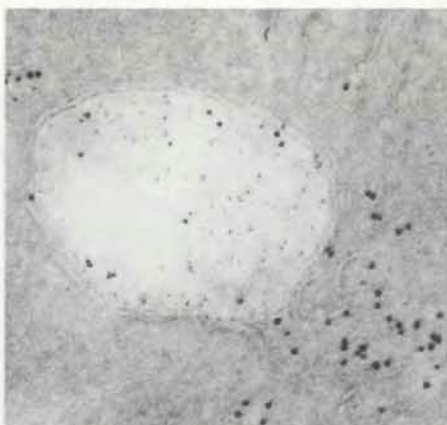
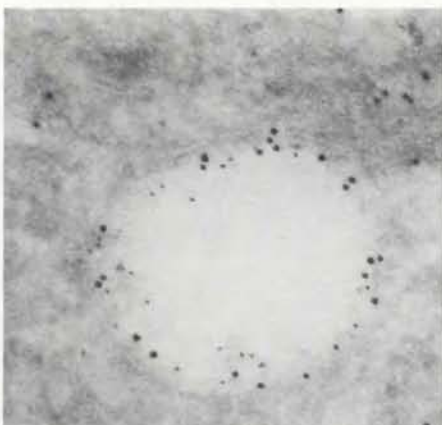
стицы. Именно рецепторы извлекают из внеклеточного «бульона» специфический ингредиент (даже если его концентрация очень низка, а прочие молекулы находятся в большом избытке) и прочно его удерживают. Связывание ингредиента с рецептором вызывает впячивание мембраны, и лиганд оказывается в составе везикулы. За последние годы удалось узнать много нового о механизме опосредуемого рецепторами эндоцитоза, особенно о том, как попавший в клетки комплекс рецептора с лигандом распадается и лиганд используется по назначению, а рецептор вновь появляется на клеточной поверхности, чтобы связать следующую молекулу лиганда.

ПУТЕМ опосредуемого рецепторами эндоцитоза в клетку попадают самые разнообразные лиганды, и каждого лиганда ждет там своя «судьба». Впервые такой способ проникновения белка в клетки описали в 1964 г. К. Портер и Т. Рот (они работали тогда в Гарвардском университете). Было выяснено, каким образом яйцеклетки птиц и насекомых захватывают большое количество белков, которые запасаются в желтке для питания зародыша. Эти белки синтезируются в различных тканях организма и затем переносятся в развивающийся ооцит. Рот и Портер показали, что у самок комаров белок-предшественник вителлогенин синтезируется в печени, секретируется в кровь и переносится с током крови в яичники. Там молекулы вителлогенина связываются с рецепторами, которые расположены в примерно 300 тыс. микроскопических «ямок» на поверхности ооцита. Эти ямки затем, впячиваясь, превращаются в везикулы, которые сливаются и образуют желток. Под действием ферментов, расщепляющих белки (протеаз), вителлогенин превращается в два очень важных желточных белка — липовителлин и фосвитин.



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ СТАДИИ ЭНДОЦИТОЗА в курином ооците. Небольшая выемка на поверхности ооцита (*слева вверху*) представляет собой окаймленную пору. Темный слой на цитоплазматической стороне поры образован белком клатрином. Большие частицы на внеклеточной стороне поры — это липопротеиновые комплексы, связанные с погруженными в мембрану рецепторами. На более поздних

стадиях пора углубляется (*справа вверху*) и округляется, превращаясь в окаймленную везикулу (*слева внизу*). Везикула отпочковывается от мембраны, так что липопротеиновые лиганды оказываются уже внутри клетки (*справа внизу*). Электронные микрофотографии получены М. Перри и А. Гилбертом. Клетки обрабатывали танниновой кислотой и окрашивали цитратом свинца. (Увеличение $\times 135\ 000$.)



РАЗДЕЛЕНИЕ РЕЦЕПТОРОВ И ЛИГАНДОВ в печени крыс выявляется с помощью метода двойной метки. Срезы замороженных клеток инкубировали с антителами к лиганду (гликопротеину с терминальной галактозой), а затем с антителами к соответствующему рецептору. Те и другие антитела были помечены частицами золота неодинакового размера, так что на электронных микрофотографиях рецепторы и лиганды видны как пятна разной величины. В эндосомах вблизи клеточной поверхности (*слева*) рецепторы (*крупные точки*) и молекулы лиганда (*мелкие точки*) располагаются на внутренней поверхности мембраны везикулы. По мере

продвижения в глубь клетки в везикулах CURL молекулы лиганда отделяются от рецепторов (*в центре*). При этом рецепторы собираются в окруженных мембраной тубулярных структурах, которые соединены с везикулой (на этом фото — в ее нижней правой части). Предполагается, что тубулярные структуры участвуют в возвращении рецепторов на поверхность клетки. На поздних стадиях эндоцитоза в везикулах содержатся молекулы лиганда (*справа*), но нет рецепторов. Снимки получены Г. Гёзом, Я. Слотом, Я. Строусом, А. Шварцем и Х. Лодишем. (Увеличение $\times 90\ 000$.)

У млекопитающих благодаря опосредуемому рецепторами эндоцитозу от материнского организма к развивающемуся плоду передается иммунитет. Антитела из крови матери связываются с клетками плода, окружающими желточный мешок. На поверхности этих клеток имеются рецепторы, узнающие участок, одинаковый у всех циркулирующих антител, относящихся к иммуноглобулинам типа G. Связавшиеся антитела захватываются клетками и переносятся затем в кровоток плода.

Основным липидным компонентом плазматических мембран всех клеток млекопитающих является холестерол. В изысканиях экспериментал Р. Андерсона, М. Брауна и Д. Голдстейна из Научно-исследовательского медицинского центра Техасского университета в Далласе было показано, как холестерол становится доступным для клеток. Холестерол синтезируется в печени и запасается там в составе больших сферических частиц — липопротеинов низкой плотности (ЛНП). Каждая частица ЛНП содержит своего рода ядро, которое состоит из примерно 1500 молекул холестерола, связанных ковалентно с остатками жирных кислот. Это ядро покрыто однослойной фосфолипидной мембраной, в состав которой также входит холестерол, а в мембрану ЛНП погружен белок, носящий название апо-*b*. Частицы ЛНП секретируются клетками печени в кровяное русло, и в форме ЛНП холестерол разносится по всему телу.

Частицы ЛНП связываются со специфическими поверхностными рецеп-

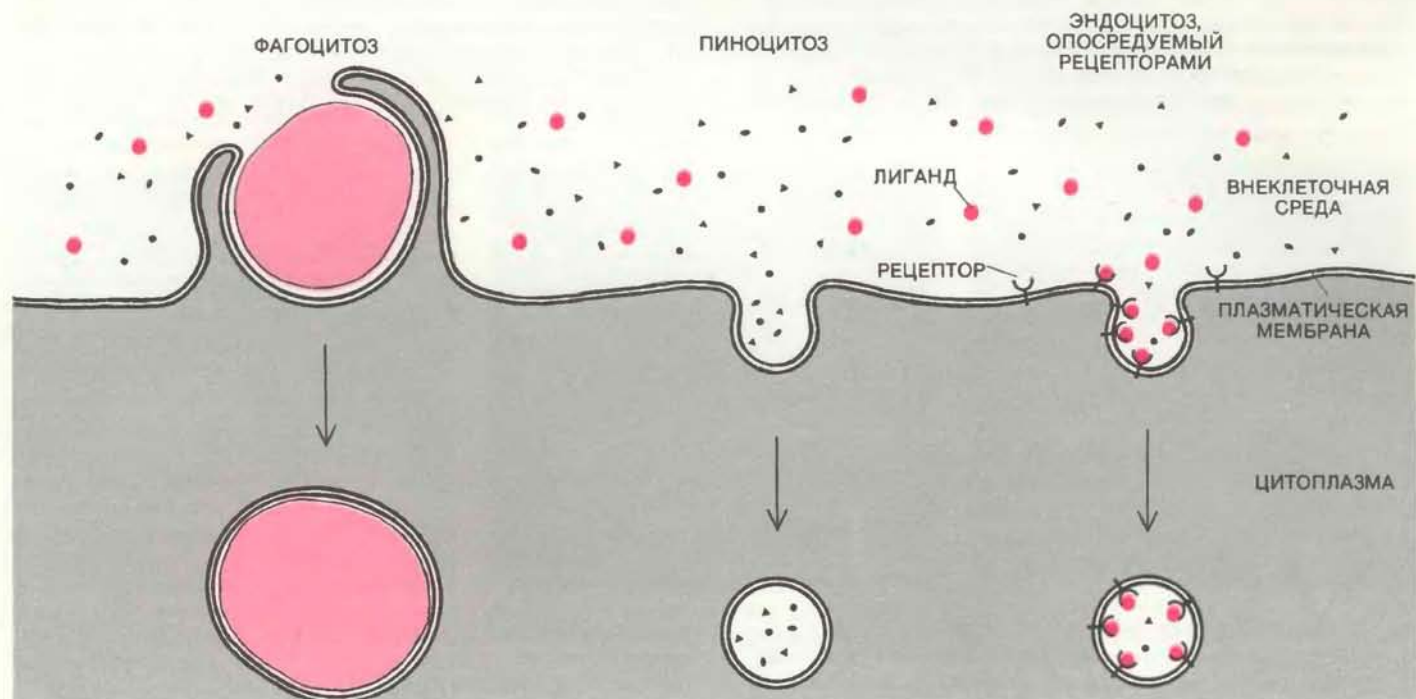
торами клеток, узнающими апо-*b*, и затем попадают в клетку в составе окруженных мембраной везикул. Эти пузырьки, постепенно увеличиваясь в размерах путем слияния друг с другом, включаются затем в лизосомы — внутриклеточные органеллы, содержащие набор гидролаз, т.е. «переваривающих» ферментов. Гидролазы разрушают ЛНП, отщепляя белок и отделяя жирные кислоты от холестерола, так что высвобождающиеся жирные кислоты и холестерол могут принять участие в построении клеточных мембран. Браун и Голдстейн с коллегами показали, что именно отсутствие функциональных рецепторов ЛНП является причиной семейной гиперхолестеролемии, наследственного заболевания, которое характеризуется чрезвычайно высокой концентрацией холестерола в крови и приводит к раннему атеросклерозу.

Очень важный компонент всех клеток — железо. Оно переносится к клеткам с помощью специального транспортного белка, называемого трансферрином. Он связывает ионы железа Fe^{3+} в кишечнике, где железо освобождается из пищи, и в печени, где оно запасается. Нагруженные железом молекулы трансферрина, несущие по два иона Fe^{3+} (ферротрансферрин), взаимодействуют со специфическими рецепторами на клеточной поверхности, и образующиеся комплексы путем эндоцитоза втягиваются внутрь клеток, тем самым обеспечивая их железом.

Одной из важнейших функций опосредуемого рецепторами эндоцитоза

является перенос внутрь клеток гормонов и других белков, передающих те или иные сигналы определенным клеткам. Так, например, молекулы инсулина связываются со специфическими рецепторами клеток-мишеней, и это инициирует ряд метаболических процессов, в том числе в клетку входит больше глюкозы. Есть основания считать, что ответ клетки на гормон прекращается после того, как комплекс рецептора с инсулином попадает внутрь клетки и инсулин расщепляется в лизосомах. Таким же путем удаляются, по-видимому, и потенциально вредные вещества. В качестве примера можно рассмотреть судьбу аномального гликопротеина, в котором углеводная цепочка оканчивается галактозой, а не сиаловой кислотой, как положено. На клетках печени имеются рецепторы, которые узнают и связывают гликопротеины с терминальной галактозой, и затем эти гликопротеины поглощаются и разрушаются в лизосомах.

ОПОСРЕДУЮЩИЕ эндоцитоз рецепторы представляют собой белки, пронизывающие плазматическую мембрану насквозь. Молекулы этих белков относятся к амфипатическим: в каждой имеется два гидрофильных участка, один из которых контактирует с водной средой вне клетки, а другой — внутри с цитоплазмой, и центральный гидрофобный участок, прочно связывающийся с углеводородными цепями жирных кислот, формирующими внутреннюю область мембраны. Структу-



ТРИ ТИПА ЭНДОЦИТОЗА. При фагоцитозе (слева) плазматическая мембрана клетки связывает крупную частицу, например бактерию, обволакивает ее и втягивает внутрь клетки. При пиноцитозе (в центре) капля внеклеточной жидкости окружается участком мембраны, который затем «отпочковывается», становясь везикулой. В ней заключена эта жидкость с растворенными веществами. Опосредуемый ре-

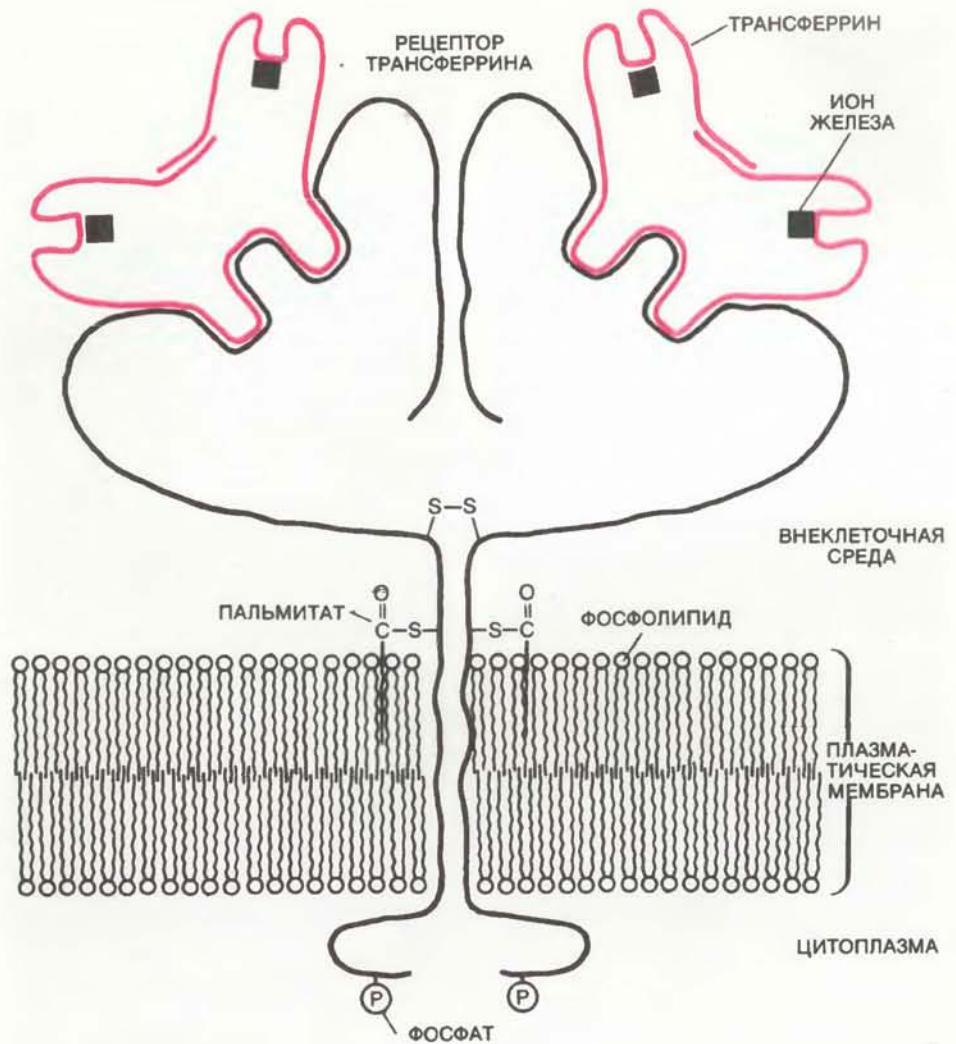
цепторами эндоцитоз (справа) представляет собой специфический захват клетками макромолекул или частиц: лиганд связывается со специфическим рецептором, что инициирует впячивание участка мембраны, несущего комплекс лиганд — рецептор. При этом образуются везикулы, и заключенный в них лиганд оказывается внутри клетки.

ра рецепторов изучена далеко не полностью, но известно, что рецептор трансферрина представляет собой гликопротеин с молекулярной массой 180 000. Я. Трубридж из Института биологических исследований Солка, Р. Аллен из Колорадского университета и Х. Зусман из Станфордского университета показали, что рецептор трансферрина состоит из двух одинаковых полипептидных цепей, в каждой из которых около 800 аминокислот. Эти цепи связаны между собой одним дисульфидным мостиком. Кроме того, каждый полипептид содержит по крайней мере три углеводные цепи и остаток жирной кислоты (пальмитиновой), которая, вероятно, как якорь, способствует удержанию рецептора в мембране.

Каждый рецептор присоединяет две молекулы трансферрина, скорее всего по одной молекуле к каждой полипептидной цепи. При физиологических условиях образовавшийся комплекс сразу переходит внутрь клетки. Но в эксперименте удается разобщить связывание трансферрина и поглощение комплексов, поскольку для связывания лиганда с рецептором энергия не нужна, а на перемещение комплекса затрачивается энергия, и, следовательно, этот процесс можно подавить, снизив температуру или добавив ингибиторы клеточной энергетики. В таких условиях связывание трансферрина протекает нормально, и его можно количественно оценить. Как и большинство других рецепторов, рецепторы трансферрина характеризуются очень высоким средством к своему лиганду: константа диссоциации (равная концентрации лиганда, при которой половина рецепторов занята) составляет 5 нМ (5×10^{-9} М), или около 350 мкг/л. Это означает, что молекулы трансферрина связываются с рецепторами, даже когда их концентрация не превышает одной стотысячной от общего содержания белков в крови.

Комплексы лигандов с рецепторами собираются на плазматической мембране в кластеры, которые располагаются в определенных участках, а именно возле так называемых окаймленных пор. Эти поры (впервые их обнаружили Рот и Портер) имеются почти на всех животных клетках, занимая, как правило, около 2% клеточной поверхности. Кайма, из-за которой поры получили свое название, представляет собой тонкий белковый слой на внутренней поверхности мембраны под каждой порой. Он образован преимущественно кластрином — фибриллярным белком, идентифицированным Б. Пирс (лаборатория молекулярной биологии Совета медицинских исследований, Великобритания).

Именно в местах окаймленных пор мембрана впячивается, образуя везикулы. Причем это происходит непрерывно: окаймленные поры втягиваются



РЕЦЕПТОР ДЛЯ ТРАНСФЕРРИНА — белка, переносящего железо, — погружен в плазматическую мембрану клетки. Молекула рецептора состоит из двух одинаковых полипептидных цепей, соединенных дисульфидной связью (S—S). Большая часть молекулы экспонирована во внеклеточную среду. Каждая полипептидная цепь содержит остаток пальмитиновой кислоты, который служит своего рода якорем, удерживающим рецептор в мембране. Рецептор связывает две молекулы трансферрина, по-видимому, по одной молекуле на каждую цепь. Молекулы трансферрина несут по два иона железа Fe^{3+} .



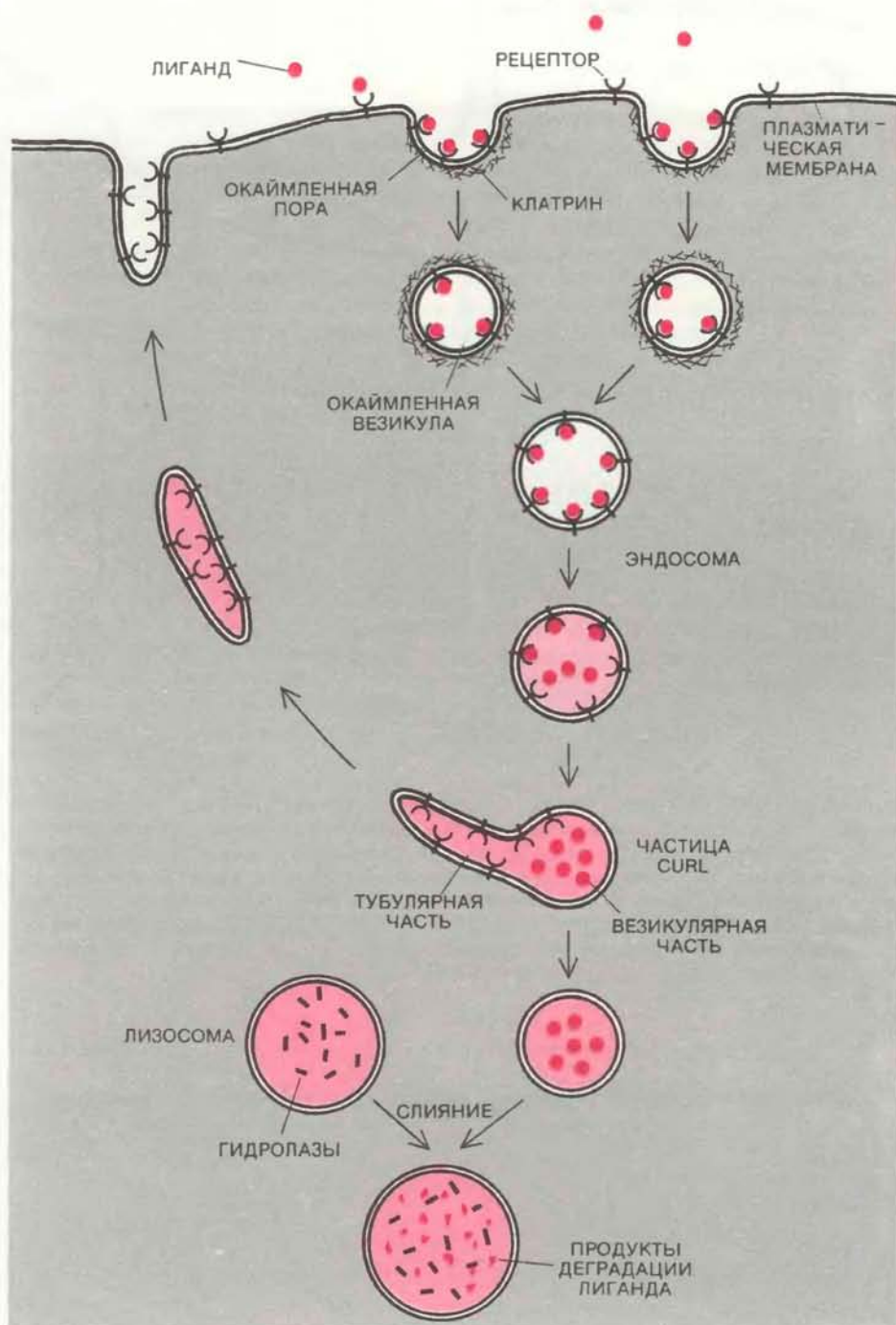
СРОДСТВО РЕЦЕПТОРОВ К ФЕРРОТРАНСФЕРРИНУ. Опухолевые клетки печени инкубировали с меченым трансферрином при 4°C. В этих условиях лиганд связывался с поверхностными рецепторами, но не переходил внутрь клеток, что позволяло количественно оценить связывание. Получилось, что в каждой клетке на поверхности имеется около 50 000 рецепторов трансферрина. Полумаксимальное насыщение рецепторов достигалось при концентрации трансферрина 5 нМ.

внутри клеток, и формируются везикулы, а на клеточной поверхности возникают новые окаймленные поры. Сами везикулы также оказываются «окаймленными», но уже снаружи — по обращенной к цитоплазме поверхности. Мембрана везикул окружена клатриновым чехлом, представляющим собой

пушистую сеть с пентагональными и гексагональными ячейками. По-видимому, окаймленные везикулы образуются благодаря полимеризации клатрина. Было обнаружено, что клатрин можно отделить от мембраны, причем образуются похожие на трилистник структуры (трискелионы). При опреде-

ленных условиях наблюдается агрегация трискелионов в своего рода корзинки, аналогичные пушистым сетчатым чехлам, которыми окружены везикулы. По мере того как такие везикулы проникают в глубь цитоплазмы, они теряют клатриновую оболочку и сливаются друг с другом или с везикулами иного типа и образуются более крупные пузырьки с гладкой поверхностью, называемые эндосомами.

Всегда ли рецепторы локализованы в окаймленных порах, или же присоединение лиганда заставляет рецептор диффундировать в жидкой, по существу, мембране к окаймленной поре? Оказалось, что это зависит от типа рецептора. Андерсон показал, что в фибробластах (клетках соединительной ткани) рецепторы ЛНП располагаются преимущественно в участках окаймленных пор даже в отсутствие связанных частиц ЛНП. Напротив, рецепторы трансферрина, инсулина и гликопротеинов с терминальной галактозой исходно распределены по клеточной поверхности равномерно и образуют кластеры в местах окаймленных пор только после связывания лиганда и при температуре не ниже 37°C. Чтобы объяснить это, проще всего предположить, что некоторые рецепторы изначально обладают определенным свойством, благодаря которому они мигрируют к окаймленным порам и удерживаются там. Такую роль может играть, например, высокое сродство какого-либо участка рецептора к компоненту области окаймленной поры. У других рецепторов это свойство может появляться при взаимодействии с лигандом, допустим, благодаря конформационному изменению в молекуле рецептора.



СУДЬБА РЕЦЕПТОРОВ И ЛИГАНДОВ на примере гликопротеина с терминальной галактозой. Эта схема применима и в случае других лигандов и рецепторов. Молекулы лиганда связываются с равномерно распределенными по мембране рецепторами, и образующиеся комплексы группируются в местах окаймленных пор. Участки мембран с окаймленными порами впячиваются и превращаются в окаймленные везикулы, которые перемещаются внутрь клетки, а там сливаются в эндосомы, становящиеся затем частицами CURL. Внутри CURL среда кислая (показано цветом), поэтому лиганды отделяются от рецепторов. Молекулы лиганда накапливаются в везикулярной части частиц CURL, а рецепторы мигрируют в мембраны тубулярных структур, которые впоследствии отсоединяются от частиц CURL. Везикулярные компоненты погружаются в глубь цитоплазмы и сливаются с лизосомами, где происходит деградация лигандов. Тубулярные структуры, скорее всего, обеспечивают возвращение рецепторов на клеточную поверхность.

СУДЬБА проникших в клетку лигандов, вообще говоря, неодинакова, но большинство из них отправляется в лизосомы. В этих органеллах содержится около 40 различных гидролаз, активных при pH 4,5—5, т.е. нуждающихся в среде значительно более кислой, чем цитоплазма (pH 7—7,4). Гидролазы разрушают попавшие в лизосомы лиганды, а продукты их деградации либо удаляются из клетки, либо (как в случае ЛНП) переносятся в цитоплазму и используются там в качестве строительного материала. Было бы слишком расточительным уничтожать также и рецепторы, и действительно этого не происходит.

Несколько лет назад выяснилось, что рецептор, затянув лиганд внутрь клетки, возвращается на ее поверхность, чтобы вновь и вновь исполнять свою роль. Тому есть несколько доказательств. Можно блокировать образование новых рецепторов с помощью специфических ингибиторов синтеза белка, а переход комплексов рецептор—лиганд внутрь клетки будет про-

должаться. Можно показать, что время жизни большинства рецепторов намного превосходит время жизни соответствующих лигандов и что каждая молекула рецептора (для ЛНП, трансферрина или гликопротеина с терминальной галактозой) связывает лиганд раз в 10—15 мин и сохраняет активность в течение многих часов.

Происходит ли такой кругооборот рецепторов непрерывно (подобно движению автобуса по челночному маршруту), или же циркуляция рецептора индуцируется связыванием лиганда (как такси)? Опять-таки у различных рецепторов дело обстоит по-разному. Например, цикл рецепторов ЛНП в фибробластах человека осуществляется, по-видимому, независимо от наличия связанного ЛНП. А рецептор гликопротеина с терминальной галактозой переходит внутрь клетки, судя по всему, только после связывания лиганда. Можно думать, что непрерывная циркуляция свойственна рецепторам, локализованным в окаймленных порах постоянно (даже в отсутствие лиганда), так как окаймленные поры имеют тенденцию к влячиванию. Другие рецепторы вступают в цикл только после связывания лиганда, поскольку только в такой форме они перемещаются в мембране к окаймленным порам.

Каким образом и когда рецептор освобождается от лиганда? Г. Геуз, Я. Слот и Я. Строус из Утрехтского университета в сотрудничестве с А. Шварцем и одним из авторов этой статьи — Х. Лодисем — применили новый метод электронно-микроскопического анализа для выявления стадии, на которой происходит разделение лиганда и рецептора. Были получены антитела к гликопротеину с терминальной галактозой и к соответствующему рецептору. Эти антитела поместили частицами золота различного размера. Крысам вводили гликопротеины с терминальной галактозой и через различное время после инъекции животных забивали. Печень крыс фиксировали, делали срезы и обрабатывали их антителами против лиганда и против рецептора. Благодаря частицам золота связавшиеся антитела были видны на электронных микрофотографиях как темные точки.

Оказалось, что в срезах, полученных на ранних стадиях эндоцитоза, и лиганды и их рецепторы находились в тесной связи с мембранами везикул, располагавшихся непосредственно под клеточной поверхностью. В просветах везикул (т.е. в жидкости, заполняющей внутреннюю часть пузырьков) свободных лигандов не было. По-видимому, на этой стадии молекулы лиганда еще соединены с рецепторами, погруженными в мембрану везикулы. По мере удаления от поверхности клетки размер везикул увеличивается и внутри



КИСЛАЯ РЕАКЦИЯ СРЕДЫ внутри образующихся при эндоцитозе везикул была продемонстрирована Б. Тико и Ф. Максфилдом. Они поместили α -2-макроглобулин рН-чувствительным флуоресцентным красителем — флуоресцеином. Культивируемые фибробласты инкубировали с меченым лигандом столько времени, сколько нужно, чтобы лиганд проник в эндосомы и частицы CURL. Затем клетки освещали фиолетовым (450 нм) и синим (490 нм) светом, наблюдая их с помощью видеокамеры, смонтированной на люминесцентном микроскопе. По отношению интенсивностей флуоресценции для двух длин волн возбуждающего света можно оценить рН внутри везикул, содержащих меченный флуоресцеином лиганд. При 450 нм (слева) флуоресценция интенсивнее, чем при 490 нм (справа). Следовательно, внутри везикул поддерживается кислый рН. Установку откалибровали с помощью растворов флуоресцеина с различными рН и определили, что внутри везикул рН равен примерно 5,0.

них появляется все больше свободного лиганда. Молекулы рецептора по-прежнему остаются погруженными в мембрану везикулы, но нарушается равномерность их распределения по ее внутренней поверхности: рецепторы либо образуют кластер на одном из полюсов везикулы, которым она примыкает к тонким, окруженным мембранами трубочкам (или сливается с ними), либо оказываются внутри самих трубочек.

Мы назвали эти везикулярно-тубулярные структуры частицами CURL (от английского "compartment of uncoupling of receptor and ligand", что значит «место разделения рецептора и лиганда»). По-видимому, именно в них происходит диссоциация рецептора и лиганда и их перераспределение, в результате которого лиганды накапливаются в везикулярной части органеллы CURL, а рецепторы — в ее тубулярной части.

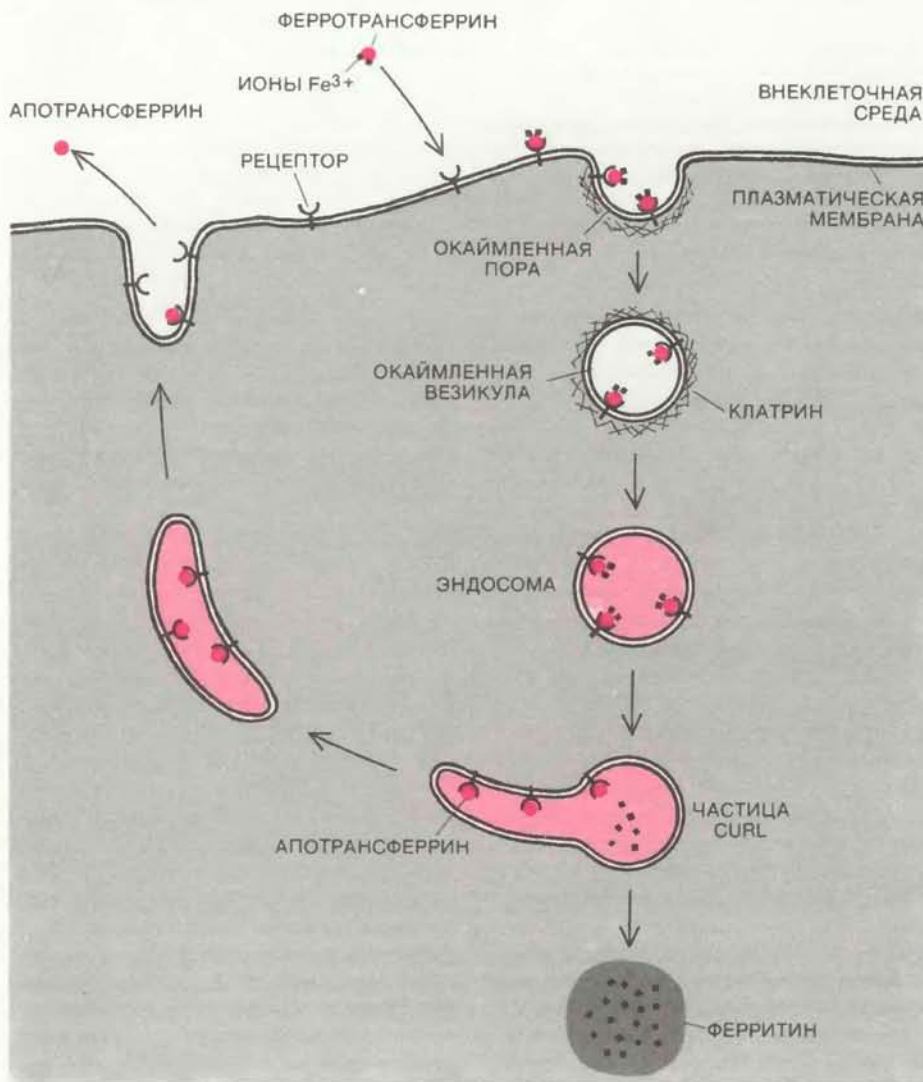
Анализ срезов печени, полученных на более поздних стадиях эндоцитоза, показал, что везикулы CURL сливаются с лизосомами, где происходит деградация лиганда. Прежде чем произойдет слияние, тубулярные участки, нагруженные рецепторами, отсоединяются от везикул CURL, так что рецепторы избегают воздействия лизосомных ферментов. Тубулярные структуры, видимо, служат посредниками, каким-то образом возвращающими ре-

цепторы на поверхность клетки. Перемещаются ли они, как везикулы, к клеточной мембране, или же являются частью неподвижной тубулярной системы, простирающейся, подобно эндоплазматическому ретикулуму, к поверхности клеток, пока что неизвестно.

НА ПОВЕРХНОСТИ клеток рецепторы прочно связывают свои лиганды. Что же заставляет эти комплексы распастаться внутри клетки? Их диссоциации способствует понижение рН, и несколько лет назад было обнаружено, что реутилизацию рецепторов можно подавить агентами, повышающими рН в кислых везикулах внутри клеток. Б. Тико и Ф. Максфилд из Медицинского центра Нью-Йоркского университета прямо показали, что внутри эндосом (и, по-видимому, частиц CURL) поддерживается низкий рН. Они изучали эндоцитоз α -2-макроглобулина в фибробластах человека. Этот белок связывает протеазы, затем взаимодействует с поверхностными клеточными рецепторами и в виде комплекса с ними проникает в клетки; таким образом он участвует в удалении протеаз из циркулирующей в организме жидкости. Тико и Максфилд присоединили к α -2-макроглобулину флуоресцентный краситель флуоресцеин. Спектр его возбуждения чувствителен к рН, т.е. интенсивность флуоресценции зависит



ВЛИЯНИЕ pH СРЕДЫ на связывание различных лигандов. При pH ниже 6 большая часть лигандов освобождается из комплекса с рецептором. Трансферрин в этих условиях не отделяется от своего рецептора, но ионы железа его покидают.



ЦИКЛ ТРАНСФЕРРИНА. После того как путем эндоцитоза комплекс ферротрансферрина с рецептором попадает в клетку, ионы железа отделяются от трансферрина и связываются с ферритином (этот белок служит в клетке для запаса железа), а не содержащий железа апотрансферрин, оставаясь в комплексе с рецептором, возвращается на плазматическую мембрану. Там комплекс диссоциирует и апотрансферрин переходит в межклеточное пространство.

не только от длины волны возбуждающего света, но и от реакции среды.

Фибробласты инкубировали с лигандом, меченным флуоресцеином, столько времени, сколько нужно, чтобы лиганд в комплексе с рецептором перешел внутрь клеток и достиг прелизосомальных везикул, таких, как эндосомы или частицы CURL. После этого клетки охлаждали и облучали светом двух различных длин волн в люминесцентном микроскопе, снабженном видеокамерой. На основании оценки относительной интенсивности флуоресценции при двух длинах волн возбуждающего света было подсчитано, что pH внутри везикул, содержащих лиганды, равен примерно 5,0.

Эксперименты с очищенными рецепторами и лигандами показали, что, хотя при нейтральных значениях pH рецепторы прочно связывают лиганды, образующиеся комплексы легко диссоциируют при pH ниже 5,5. Стало ясно, что, как только комплекс рецептора с лигандом попадает в кислую среду внутри везикулы, лиганд выходит из комплекса и растворяется в содержимом везикулы, а рецептор остается связанным с мембраной пузырька и впоследствии реутилизуется. Механизм закисления внутренней среды эндосом и частиц CURL еще не установлен. Известно, однако, что в мембранах эндосом имеется фермент, который, используя энергию, запасенную в молекулах аденозинтрифосфата, перекачивает протоны внутрь везикул. А избыток протонов означает понижение pH.

В отличие от других лигандов ферротрансферрин, попав внутрь клетки, не разрушается и не сохраняется про запас. Вместо этого он освобождается от связанных с ним ионов железа, которые остаются в клетке, а сам быстро секретируется наружу в форме не содержащего железа апотрансферрина. Почему же трансферрин отделяется от ионов железа и покидает клетку? Мы вместе с А. Цичановером исследовали эндоцитоз трансферрина культивируемыми опухолевыми клетками печени человека. Как оказалось, все дело в различном влиянии pH на связывание ферротрансферрина и апотрансферрина с трансферриновыми рецепторами. К такому же выводу пришли Р. Клознер и его коллеги (Национальный институт рака), которые изучали культивируемые предшественники эритроцитов.

В нашей лаборатории в Массачусетском технологическом институте мы обнаружили, что клеточные рецепторы охотно связывают ферротрансферрин при нейтральных значениях pH окружающей внеклеточной среды. Как и в случае других лигандов, комплекс ферротрансферрина с рецептором в результате эндоцитоза попадает в прелизосомальные везикулы, содержимое которых имеет кислую реакцию. Ранее

было установлено, что ионы железа легко отделяются от трансферрина при pH 5,5 и ниже. Мы обнаружили, что такая диссоциация имеет место, даже когда трансферрин находится в комплексе с рецептором. Примечательно, что свободный от железа апотрансферрин остается связанным со своими рецепторами даже при pH 5,0, чем резко отличается от других лигандов, таких, как ЛНП, инсулин и гликопротеин с терминальной галактозой. У лишнего железа апотрансферрина сродство к рецептору при pH 5,0 такое же, как у ферротрансферрина при pH 7,0. А при нейтральном pH апотрансферрин практически не связывается с рецептором. Если комплекс апотрансферрина с рецептором быстро перенести из кислой среды в нейтральную, то он в течение нескольких секунд диссоциирует.

Теперь понятен путь трансферрина при эндоцитозе. Ферротрансферрин, несущий два иона железа, связывается с рецепторами на клеточной поверхности; образующиеся комплексы переходят внутрь клетки и попадают в эндосомы, а потом в частицы CURL. Как только комплексы оказываются в кислой среде внутри везикул, ионы железа высвобождаются. Они переносятся каким-то неизвестным пока образом на молекулы ферритина, который в цитоплазме играет роль депо железа. Рецепторы трансферрина возвращаются затем на поверхность клетки так же, как и прочие рецепторы, однако в отличие от них рецепторы трансферрина не освобождаются предварительно от своего лиганда и выносятся связанными с ними не содержащий железа апотрансферрин на плазматическую мембрану. Там вследствие нейтрального pH внеклеточной среды комплекс апотрансферрина с рецептором быстро диссоциирует. Апотрансферрин увлекается током крови, готовый опять связать ионы железа, а рецепторы занимают свое место в клеточной мембране, с тем чтобы присоединить новые молекулы ферротрансферрина, к которым при нейтральном pH внеклеточной среды они имеют, как уже упоминалось, высокое сродство.

Все это происходит очень быстро. Мы показали, что у каждой опухолевой клетки печени на поверхности имеется около 150 тыс. участков связывания трансферрина на той или иной стадии реутилизации рецепторов. Клетки захватывают трансферрин в течение нескольких часов со скоростью 19 тыс. ионов железа (т.е. 9500 молекул трансферрина) в минуту. Поделив 150 тыс. на 9500, мы получаем продолжительность цикла рецептора: около 16 мин проходит от момента связывания ферротрансферрина с рецептором до секреции апотрансферрина. Мы оценили длительность каждого этапа этого цикла. Оказалось, что в среднем рецептор

находится на поверхности клетки 4 мин и за это время он успевает связать две молекулы ферротрансферрина. Переход образовавшегося комплекса внутрь клетки занимает около 5 мин. За оставшиеся 7 мин осуществляется высвобождение железа из ферротрансферрина и возвращение комплекса рецептора с апотрансферрином на поверхность клетки; диссоциация комплекса и отделение апотрансферрина происходят всего за 16 с. Весь цикл занимает, как уже указывалось, 16 мин.

ПРОЦЕСС эндоцитоза представляет собой последовательность быстрых перестроек и слияний биологических мембран. Некоторые мембранные белки при этом избирательно закрепляются в местах окаймленных пор, а другие специфически исключаются. Каждый раз комплекс рецептора с лигандом, переходя внутрь клетки, захватывает с собой участок плазматической мембраны, «отпочковывающийся» от клеточной оболочки, и образуется окаймленная везикула. Эти новые везикулы сливаются, и получаются эндосомы и частицы CURL. Мембраны частиц CURL разделяются: часть включается, по-видимому, в тубулярные структуры, которые возвращают рецепторы на поверхность клетки, а часть — в лизосомы, где лиганд деградирует. При этом от лизосом также отпочковываются участки мембраны в виде мелких везикул, которые перемещаются к клеточной поверхности и, сливаясь с плазматической мембраной, выбрасывают содержащиеся в них продукты гидролиза во внеклеточную среду.

Клетки могут поглощать значительную часть своей плазматической мембраны (до 50% поверхности в час) — как благодаря опосредуемому рецепторами эндоцитозу, так и путем пиноцитоза или фагоцитоза. И было бы весьма расточительно, если бы клетки восстанавливали свои мембранные структуры, синтезируя их *de novo*. Совершенно очевидно, что кусочки мембран или их компоненты возвращаются на поверхность клетки или тех органелл (например, лизосом), которым они исходно принадлежали. Плазматические мембраны несколько отличаются от других мембран по фосфолипидному составу, и все биологические мембраны резко отличаются друг от друга по набору интегральных мембранных белков, лишь часть которых представлена обсуждавшимися здесь рецепторами. Так или иначе, и плазматическая мембрана, и прочие мембраны клетки должны поддерживать свою индивидуальность, несмотря на непрерывные втягивания, слияния и реутилизацию.

Должен существовать механизм постоянной сортировки компонентов мембран, но о природе такого механизма ничего не известно. Как достигается

неравномерное распределение мембранных белков, каким образом в плазматические мембраны попадают нужные там пермеазы, а в мембраны лизосом — протонные помпы? Почему везикулы, отпочковывающиеся от одних органелл, могут сливаться с другими? Есть ли специфические сортировочные сигналы или рецепторные молекулы на внешней поверхности везикулы? Ответить на эти вопросы мы сможем, только детально изучив опосредуемый рецепторами эндоцитоз.

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.



Машины Тьюринга

*По своему логическому устройству
каждый цифровой компьютер не что иное,
как одна из умозрительных машин, изобретенных
английским математиком А.М. Тьюрингом. Эти машины
определяют пределы вычислимости*

ДЖОН ХОПКРОФТ

В 1900 г. Давид Гильберт — выдающийся математик своего времени — бросил вызов всему математическому миру. На проходивший в Париже Международный математический конгресс он представил список нерешенных проблем. Второй в списке значилась проблема доказательств непротиворечивости системы аксиом обычной арифметики. Позднее Гильберту удалось дать более общую постановку этой задачи, известную как Entscheidungsproblem — проблема разрешимости: найти общий метод, позволяющий определить, выполнимо ли данное высказывание на языке формальной логики, т.е. установить его истинность. Окончательно справиться с задачей удалось лишь в 1936 г., что ознаменовало исключительно важный и неожиданный поворот в математике. Молодой математик Алан Мэтисон Тьюринг услышал об этой проблеме на лекциях М. Ньюмена в Королевском колледже Кембриджского университета. Тьюринг обдумывал задачу во время продолжительных послеобеденных прогулок, и вот однажды ответ был найден: проблема Гильберта оказалась неразрешимой.

Значение статьи, в которой Тьюринг изложил свой результат, простирается далеко за рамки той задачи, по поводу которой статья была написана. Работая над проблемой Гильберта, Тьюрингу пришлось дать четкое определение самого понятия метода. Отталкиваясь от интуитивного представления о методе как о некоем алгоритме, т.е. процедуре, которая может быть выполнена механически, без творческого вмешательства, он показал, как эту идею можно воплотить в виде подробной модели вычислительного процесса. Полученная модель вычислений, в которой каждый алгоритм разбивался на последовательность простых, элементарных шагов, и была логической конструкцией, названной впоследствии машиной Тьюринга.

Проще всего описать машину Тьюринга, если прибегнуть к аналогии с устройством, состоящим из лентопротяжного механизма, перфоленты и ска-

нера, способного перемещаться вдоль ленты в том и другом направлениях. Эти механические атрибуты не существуют — по своей сути машина Тьюринга представляет собой воплощение процесса математических рассуждений, — но было бы неправильно полностью отказаться от механической интерпретации. Такую аналогию ввел сам Тьюринг, которого можно считать пионером в области создания цифровых вычислительных машин. Более того, притязания ученых-кибернетиков на машину Тьюринга как на истинно кибернетическое понятие, столь же обоснованны, как и притязания на нее логиков. Ее значение для теории вычислений фундаментально: машина Тьюринга за данный большой, но конечный промежуток времени способна справиться с любым вычислением, которое может выполнить всякая сколь угодно мощная современная ЭВМ.

Такая универсальность машины Тьюринга вовсе не означает, что ее можно использовать в качестве реальной вычислительной машины. Любой настоящий компьютер работает значительно быстрее, потому что при его проектировании ясность операций приносится в жертву скорости и эффективности их выполнения. Тем не менее для теоретического исследования главной проблемы — вычислительных возможностей реального компьютера — машина Тьюринга незаменима. Она, например, позволила математикам и кибернетикам доказать, что помимо проблемы Гильберта существует немало других задач, которые невозможно решить, какой бы мощный и быстродействующий компьютер ни использовать.

Принцип действия машины Тьюринга

Что же собой представляет машина Тьюринга и как она работает? Э. Ходжес в недавно опубликованной биографии Тьюринга сравнивает его машину с обычной пишущей машинкой. Подобно последней, машина Тьюринга снабжена движущейся печатающей голов-

кой, которая печатает на бумаге по одному символу в единицу времени. Символы представляют собой дискретные элементы конечного алфавита. Чтобы упростить движение печатающей головки, представим, что она печатает на бумажной ленте, разбитой на дискретные участки, или клетки. Таким образом, печатающей головке машины Тьюринга необходимо перемещаться только в одном измерении — влево или вправо, и она может обойтись без таких лишних усложнений, как определение длины строки и интервала между строками. В каждой клетке может быть помещен только один символ, а на длину ленты и, следовательно, на длину цепочки напечатанных на ней символов не накладывается никаких ограничений.

Наряду с печатанием движущаяся головка машины Тьюринга способна выполнять еще две функции. Подобно многим современным пишущим машинкам, она может передвинуть или стереть с ленты один символ за единицу времени. В отличие от машинки, печатающая головка может считывать, или регистрировать, содержимое клетки ленты по одной клетке в единицу времени. Считываемые символы служат входной информацией для машины и определенным образом влияют на ее последующие действия.

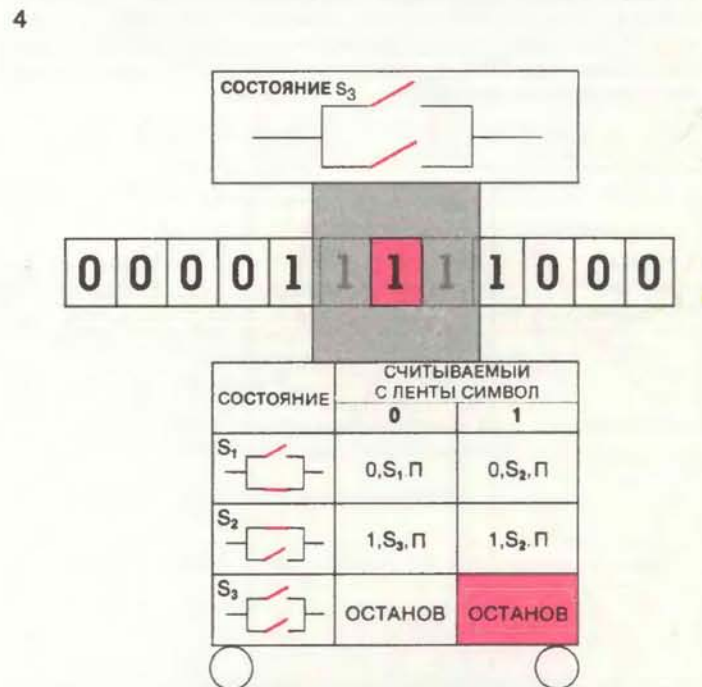
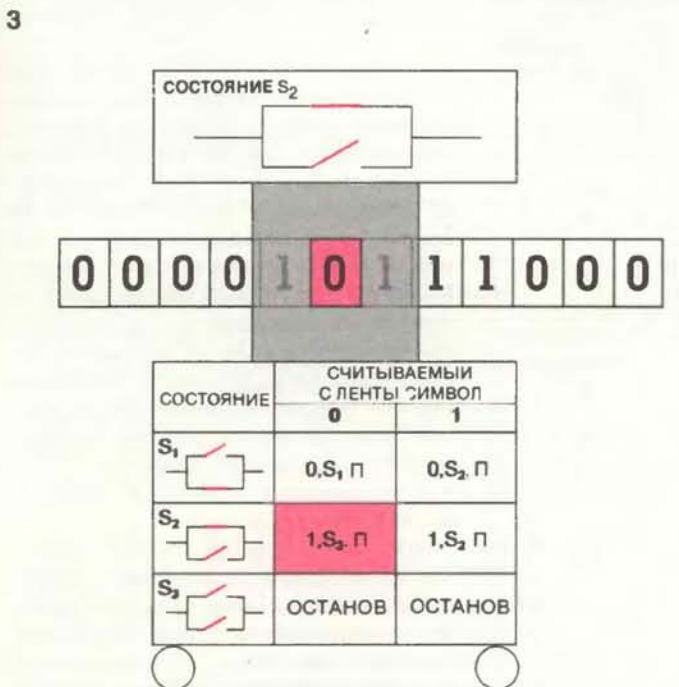
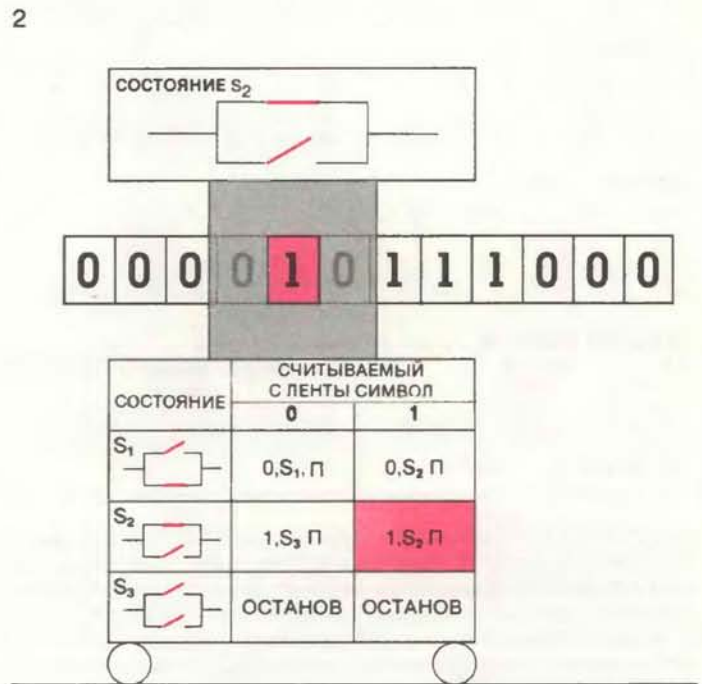
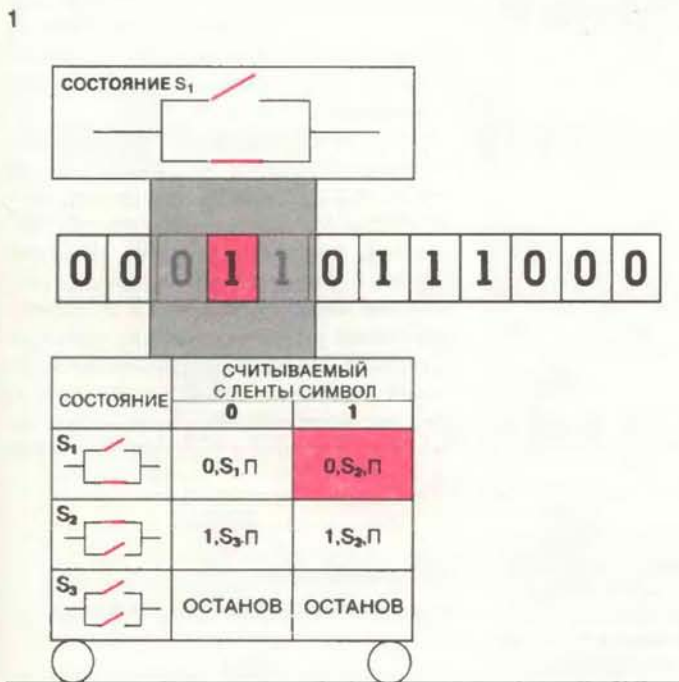
Во время работы пишущая машинка может находиться в одном из нескольких состояний, или режимов работы. Так, в режиме «нижний регистр» она печатает строчные буквы и специальные символы, а в режиме «верхний регистр» — прописные буквы и цифры. Точно так же у машины Тьюринга имеется конечное число состояний. Каждое состояние, по всей вероятности, соответствует особой конфигурации машины, но, поскольку машина Тьюринга — устройство скорее абстрактное, обычно не предпринимается попыток дать этим состояниям более конкретное толкование. Вполне достаточно описывать каждое состояние в терминах того влияния, которое оно оказывает на работу машины.

Работа машины Тьюринга целиком

складывается из дискретных, мгновенных шагов, и каждый шаг описывается двумя начальными условиями: текущим состоянием машины и символом, который находится в клетке ленты под

печатающей головкой. При заданной паре начальных условий машина получает состоящую из трех частей команду относительно своего следующего шага. В первой части указывается символ, ко-

торый нужно напечатать в клетке ленты под печатающей головкой. Если, например, в команде указано, что в клетке должен быть напечатан символ 1, то машина его печатает, если клетка пу-



СЛОЖЕНИЕ 2 И 3 машина Тьюринга выполняет за 4 шага. Каждое слагаемое представлено на ленте в единичной системе счисления: цепочкой единиц, ограниченной с обоих концов нулями. В каждую единицу времени машина может регистрировать содержимое одной клетки на ленте (выделено цветом), сдвигаясь влево и вправо последовательными дискретными перемещениями. Ее цель — построить цепочку из 5 идущих подряд единиц и остановиться. В таблице команд, помещенной в нижней части каждой схемы, указано множество перемещений для всех возможных начальных условий и дается процедура сложения любых двух чисел. Согласно этим командам, машина удаляет 0, разделяющий две цепочки единиц, и сдвигает левую цепочку на одну позицию вправо, вплотную к правой цепочке. Количество

возможных начальных условий в таблице команд должно быть достаточно большим, чтобы оно охватывало все случаи, которые могут быть на ленте. Это количество может возрастать с ростом числа внутренних состояний, или конфигураций, присущих машине Тьюринга. Для каждой возможной комбинации символов на ленте и каждого состояния машины в таблице команд предусматривается либо остановка, либо вычисление трех переменных. Первая переменная указывает символ, который должен находиться непосредственно слева от регистрируемой в настоящий момент клетки; вторая переменная задает состояние машины, в которое она должна перейти, прежде чем переместиться на другую клетку; третья переменная указывает, в каком направлении переместится машина: влево или вправо.

стая; ничего не меняет, если там уже есть 1; и, если в клетке другой символ, стирает его и заменяет единицей.

Во второй части команды указывается следующее состояние машины. Как и в первом случае, в зависимости

от того, какое состояние указано, машина сможет изменить его или остаться в прежнем состоянии. В третьей части команды указывается, куда должна сдвинуться печатающая головка: на одну позицию влево или вправо вдоль

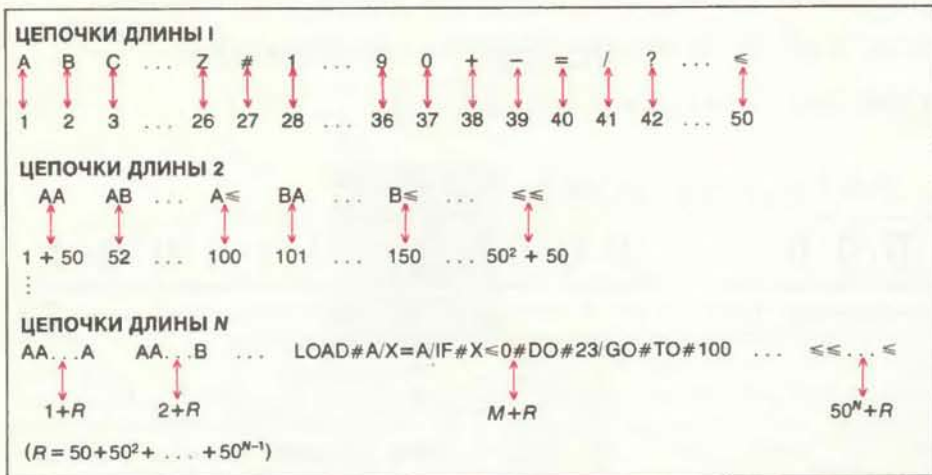
ленты. Целиком всю команду можно кратко представить набором из трех значений переменных: символа алфавита, состояния машины и направления движения печатающей головки. Например, если при заданной паре начальных условий машина помещает 1 в просматриваемую в настоящий момент клетку, переходит в состояние S_2 и перемещает печатающую головку на одну позицию влево, то такая команда записывается как $(1, S_2, Л)$.

Лучший способ понять, как работает машина Тьюринга — попытаться ее построить. В данном контексте «построить» означает образовать таблицу команд, предопределяющих действия машины Тьюринга для каждой возможной пары, составленной из одного состояния машины и одного символа алфавита. На практике при построении такой таблицы также учитывается, что число состояний машины должно быть достаточным для решения задачи вручную.

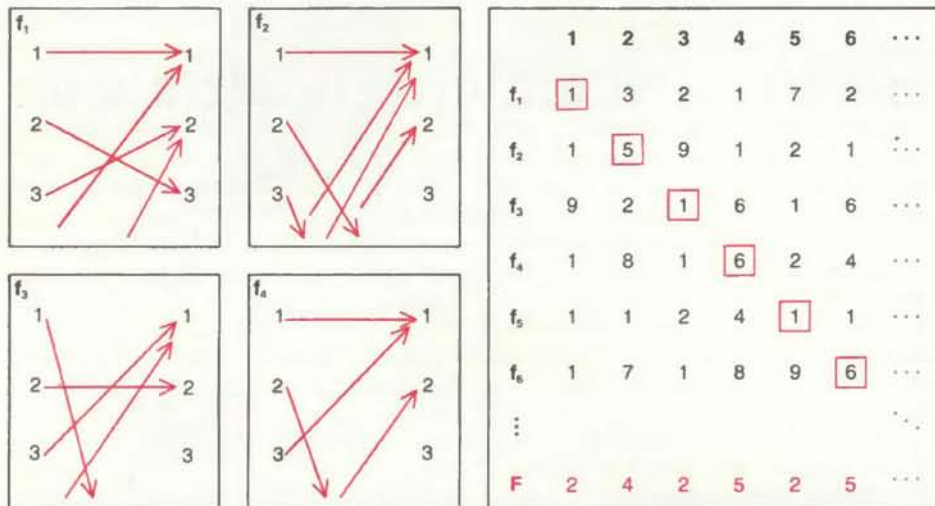
Машина, выполняющая сложение

Как же построить машину Тьюринга, которая складывает два числа и останавливается? Принято считать, хотя это и не очень существенно, что на ленте разрешается печатать только два символа, например 0 и 1. Тогда любое заданное целое N можно представить цепочкой из N единиц. Если мы хотим напечатать два числа M и N , то их можно представить в виде цепочки из M единиц, справа завершающейся 0, за которым следует цепочка из N единиц. Пусть машина Тьюринга пребывает в начальном состоянии S_1 и ее печатающая головка находится над самой левой 1 в цепочке из M единиц. Чтобы построить машину Тьюринга для сложения, надо составить таблицу команд, по которым машина напечатает в результате цепочку из $M + N$ единиц и остановится.

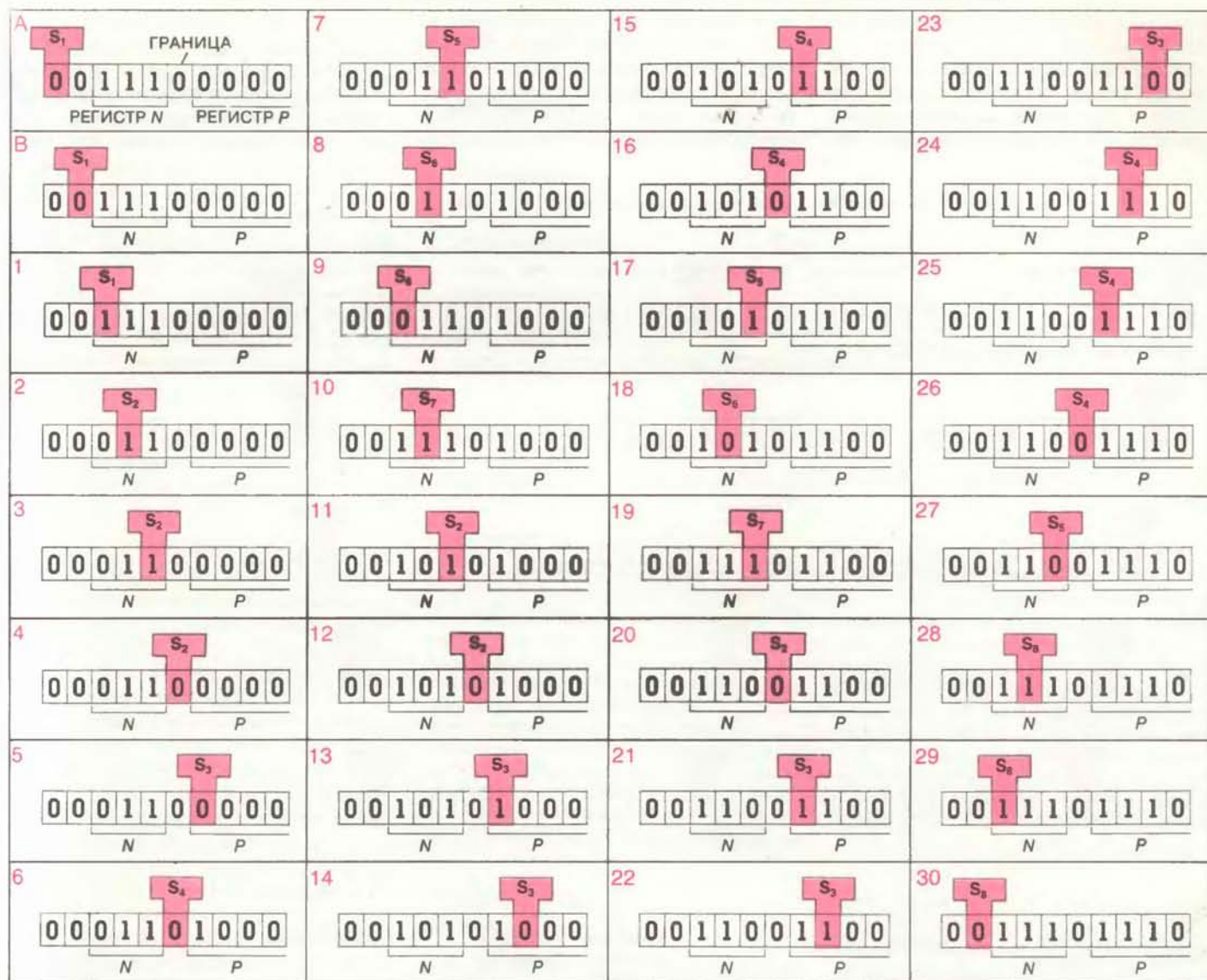
Есть очень простой способ решить эту задачу: сдвинуть всю левую цепочку единиц, которыми записано число M , на одну позицию вправо. Если сдвиг выполнен правильно, то 0 больше не будет разделять две цепочки и мы получим единственную цепочку из единиц длиной $M + N$. Но сдвинуть цепочку единиц всю целиком одновременно для машины Тьюринга невозможно: печатающая головка способна перемещаться только на одну позицию в единицу времени. Так что мы сможем получить результат, лишь создав последовательность команд с тремя состояниями. В первом состоянии печатающая головка просматривает ленту слева направо по одной клетке в единицу времени, пока не достигнет самой левой 1. Заменяя эту 1 на 0, она переходит во второе со-



ЦЕПОЧКАМ ЛИТЕР любой конечной длины можно взаимно-однозначным образом поставить в соответствие положительные целые числа при условии, что каждая литера цепочки выбирается из некоторого конечного множества. Согласно определению, данному немецким математиком Георгом Кантором, возможность такого взаимно-однозначного соответствия указывает на то, что эти множества равного размера, хотя оба они и бесконечны. Любое множество, элементы которого можно взаимно-однозначно поставить в соответствие целым числам, называется счетным. Поскольку каждая программа и каждая возможная таблица команд для машины Тьюринга кодируется конечной цепочкой символов, взаимно-однозначное соответствие между цепочками и целыми числами означает, что и возможные программы для ЭВМ, и возможные машины Тьюринга представляют собой бесконечные счетные множества.



МНОЖЕСТВО МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ, определенных на множестве положительных целых чисел и принимающих целые значения, представляет собой несчетное множество, т.е. таких функций слишком много, чтобы их можно было взаимно-однозначно сопоставить бесконечному множеству целых чисел. Предположим противное, т.е. что все эти функции можно снабдить нижним индексом и затем выписать их в определенном порядке. Множество значений функции, соответствующей каждому целому числу, можно тогда выписать в виде бесконечной строки цифр. Поскольку функция определяется своей бесконечной строкой цифр, рассмотрим функцию, которая получится, если изменить первую цифру первой строки, вторую цифру второй строки и т.д. Строка из полученных цифр, определяющая построенную функцию (выделена цветом), должна отличаться от любой другой строки первоначального списка хотя бы в одном разряде. Следовательно, предположение, что можно перечислить все функции, приводит к противоречию, так как всегда можно построить новую функцию, которой не было в первоначальном списке.



СОСТО- ЯНИЕ	НА ЛЕНТЕ СИМВОЛ 0	КОММЕНТАРИИ	ВЫБОРКА ПЕРЕМЕ- ЩЕНИЙ	НА ЛЕНТЕ СИМВОЛ 1	КОММЕНТАРИИ	ВЫБОРКА ПЕРЕМЕ- ЩЕНИЙ
S_1	$0, S_1, П$	Начинаем со сдвига вправо до левого конца регистра N	A, B	$0, S_2, П$	Помечаем левый конец регистра N маркером 0	1
S_2	$0, S_3, П$	Сдвиг вправо через границу	$4, 12, 20$	$1, S_2, П$	Сдвиг вправо вдоль регистра N от маркера, отмечающего границу	$2, 3, 11$
S_3	$1, S_4, Л$	Запись единицы в правый конец регистра P	$5, 14, 23$	$1, S_3, П$	Сдвиг вправо вдоль единиц регистра P	$13, 21, 22$
S_4	$0, S_5, Л$	Сдвиг влево через границу	$6, 16, 26$	$1, S_4, Л$	Сдвиг влево вдоль регистра P	$15, 24, 25$
S_5	$1, S_8, Л$	Обнаруженный непосредственно слева от границы маркер 0 указывает на то, что в регистре N получена полная копия регистра P	27	$1, S_6, Л$	Сдвиг влево от границы на одну позицию в регистре N . Состояние не может оставаться S_5 ; в противном случае неожиданно встретившийся маркер 0 послужил бы причиной преждевременной остановки машины Тьюринга	$7, 17$
S_6	$1, S_7, П$	Начало перемещения маркера 0 на одну позицию вправо	$9, 18$	$1, S_6, Л$	Продолжение сдвига влево вдоль регистра N до маркера 0	8
S_7		Такая ситуация не встречается; можно вписать любую бессмысленную команду или не вписывать ничего		$0, S_2, П$	Перемещение маркера 0 на одну позицию вправо; повторение цикла копирования	$10, 19$
S_8	$0, —, —$	Программа копирования завершена; остановка или ожидание новой команды	30	$1, S_8, Л$	Сдвиг влево до левого конца регистра N	$28, 29$

КОПИРУЮЩАЯ МАШИНА ТЬЮРИНГА — это составная часть более сложных устройств. По цепочке единиц на ленте машина справа от нуля, отмечающего конец первой це-

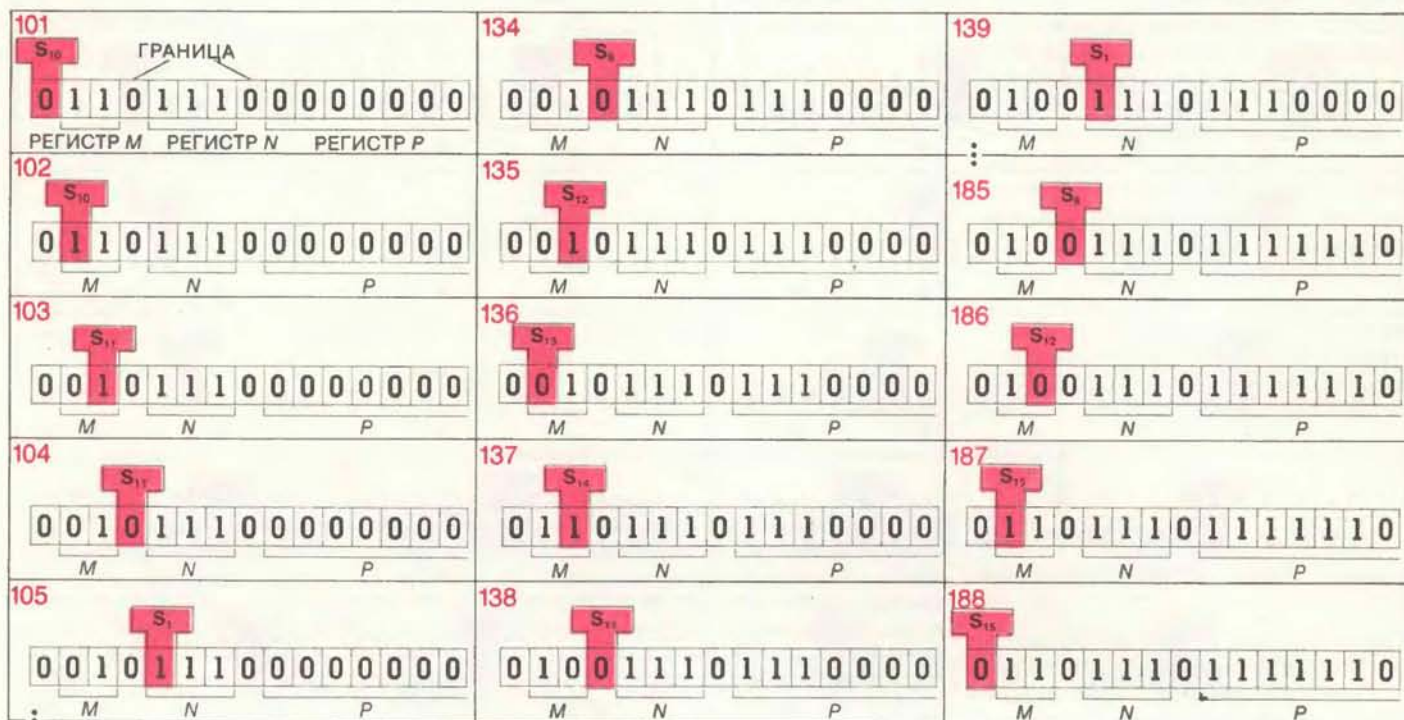
почки, печатает вторую — с тем же количеством единиц, в данном случае с тремя.

стояние и продолжает двигаться вправо. Когда, находясь во втором состоянии, головка обнаруживает 1 в текущей клетке, она не совершает никаких действий — не меняет ни напечатанного символа, ни состояния машины, — ес-

ли не считать того, что сдвигается на одну позицию вправо. Таким образом печатающая головка просматривает все $M - 1$ оставшихся в первой цепочке единиц. Когда, наконец, будет найден 0, головка получает команду заме-

нить его на 1 и остановиться.

Теперь предлагаем читателю самому построить машину Тьюринга, которая находила бы произведение двух целых чисел. Начальные условия те же, что и для складывающей машины: сомножи-



СОСТОЯНИЕ	НА ЛЕНТЕ СИМВОЛ 0	КОММЕНТАРИИ	ВЫБОРКА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ	НА ЛЕНТЕ СИМВОЛ 1	КОММЕНТАРИИ	ВЫБОРКА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
S_{10}	0, S_{10} , П	Начинаем со сдвига вправо до левого конца регистра M	101	0, S_{11} , П	Помечаем левый конец регистра M маркером 0	102
S_{11}	0, S_{11} , П	Сдвиг вправо через границу между регистрами M и N ; начинается программа копирования (см. рис. на с. 39)	104, 138	1, S_{11} , П	Сдвиг вправо вдоль регистра M от маркера, отмечающего границу	103
S_8	0, S_{12} , Л	Сдвиг влево через границу между регистрами N и M ; программа копирования завершается	134, 185	1, S_8 , Л	Сдвиг влево до левого конца регистра N	Не указано
S_{12}	1, S_{15} , Л	Маркер 0, обнаруженный непосредственно слева от границы между регистрами N и M , указывает на то, что произведение чисел, записанных в регистрах M и N , уже получено в регистре P	186	1, S_{13} , Л	Сдвиг влево от границы между регистрами N и M на одну позицию в регистре M . Состояние не может оставаться S_{12} ; в противном случае неожиданно встретившийся маркер 0 послужил бы причиной преждевременной остановки машины Тьюринга	135
S_{13}	1, S_{14} , П	Начинаем перемещение маркера 0 в регистре M на одну позицию вправо	136	1, S_{13} , П	Продолжение сдвига влево вдоль регистра M до маркера 0	Не указано
S_{14}		Такая ситуация не встречается; можно вписать любую бессмысленную команду или не вписывать ничего		0, S_{11} , П	Перемещение маркера 0 в регистре M на одну позицию вправо; повторение цикла умножения	137
S_{15}	0, —, —	Программа умножения завершена; остановка или ожидание новой команды	188	1, S_{15} , Л	Сдвиг влево до левого конца регистра M	187

УМНОЖЕНИЕ можно произвести на машине Тьюринга, в которую встроена другая машина Тьюринга, копирующая цепочки единиц. В нашем примере для того, чтобы получить произведение 2×3 , машине потребовалось 188 циклов; пропущенные в последовательности циклы соответствуют состояниям, определенным для копирующей машины Тью-

ринга (см. предыдущий рисунок). В последнем цикле произведение 2×3 изображается в виде цепочки из 6 единиц и помещается в регистре P , соответствующем участку ленты непосредственно за нулем, отделяющим результат от сомножителей.

тели представляются двумя последовательными цепочками единиц, разграниченных нулем. В результате должна получиться цепочка единиц, длина которой равна произведению двух исходных; ее можно расположить в виде третьей цепочки справа от первых двух. Один из рабочих проектов представлен на с. 40. С самого начала надо честно предупредить, что эта конструкция весьма замысловата и поэтому необходимо все аккуратно записывать. По-видимому, не мешает чуть-чуть подсказать, но любители головоломок могут и не воспользоваться помощью, если пропустят следующий абзац.

Построение сложных программ

Произвести умножение будет значительно легче, если сначала составить вспомогательную программу для получения непосредственно справа от заданного места копии цепочки единиц. На машине, имеющей N состояний, всегда можно получить копию цепочки из N единиц: эти состояния позволяют эффективно подсчитывать количество единиц в цепочке. Но, поскольку число состояний не должно расти до бесконечности, необходимо найти способ копирования без подсчета элементов цепочки. Можно, например, передавать слева направо по цепочке маркер: он равен 0 в каждой из идущих друг за другом единиц цепочки. При каждом продвижении маркера на следующую позицию печатающая головка получает команду пробежать правый конец цепочки, перескочить через 0, обозначающий границу, и заменить следующий обнаруженный 0 единицей. Если печатающая головка будет двигаться, как челнок, туда и обратно при каждом продвижении маркера, то рядом с первой справа появится новая цепочка из N единиц (см. рис. на с. 39).

Немного попрактиковавшись, вы быстро научитесь строить машины Тьюринга, способные выполнять простые вычислительные программы, и поймете, как можно объединять эти машины для более сложных вычислений. Например, для того, чтобы вычислить значение многочлена, нужно воспользоваться совокупностью программ сложения, получения копии и умножения. Еще более универсальны такие короткие элементарные программы манипулирования с символами, как «Перемещать печатающую головку вправо до тех пор, пока она не встретит 0» и «Продвигать маркер вправо по самой левой цепочке единиц на одну позицию». Разновидности таких коротких программ реализованы и в машинах Тьюринга для копирования цепочки единиц, и в машинах для умножения.

ОДИН СИМВОЛ

1 2 3 9 π

ДВА СИМВОЛА

11 99 $9! (=1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8 \times 9 = 362,880)$ $9^9 (=387,420,489)$

ТРИ СИМВОЛА

ДВА $9+9$ $3 \uparrow 4 (=3 \times [3 \times (3 \times 3)] = 3^4 = 81)$ $9^9 (=9^{387,420,489} \approx 10^{369,700,000})$

ЧЕТЫРЕ СИМВОЛА

СЕМЬ 10^{99} $3 \uparrow \uparrow 4 (=3 \uparrow [3 \uparrow (3 \uparrow 3)] = 3^{3^3} = 3^{27} = 3^{7,625,597,484,987} \approx 10^{3,638,000,000,000})$

ПЯТЬ СИМВОЛОВ

ШЕСТЬ $3 \uparrow \uparrow \uparrow 4 (=3 \uparrow \uparrow [3 \uparrow \uparrow (3 \uparrow \uparrow 3)] = 3 \uparrow \uparrow \uparrow [3 \uparrow \uparrow 3^3] = 3 \uparrow \uparrow \uparrow 3^{3^3})$ } 3^{3^3} УРОВНЕЙ =

$= 3^{3^{3^3}}$ } 3^{3^3} УРОВНЕЙ)

⋮

58 СИМВОЛОВ

НА#1#БОЛЬШЕ#САМОГО#БОЛЬШОГО#ЧИСЛА#ВЫРАЖЕННОГО#58#СИМВОЛАМИ

ПАРАДОКС РИШАРА, названный в честь французского математика Ж. Ришара, возникает, если предположить, что положительные числа можно упорядочить, или перечислить, в соответствии с количеством символов, необходимых для их выражения. Отдельные колоссальные числа можно представить при помощи специальных символов, например используя стрелочную систему обозначений, введенную Д. Кнотом из Станфордского университета. Тем не менее, согласно собственному описанию числа, записанного как 58-символьное, оно якобы больше любого числа, представленного при помощи 58 символов. В этом и состоит парадокс. Мы столкнемся с аналогичным явлением, если попытаемся найти машину Тьюринга в списке, упорядоченном по максимальным длинам цепочек, которыми способна оперировать каждая машина.

Универсальная машина Тьюринга

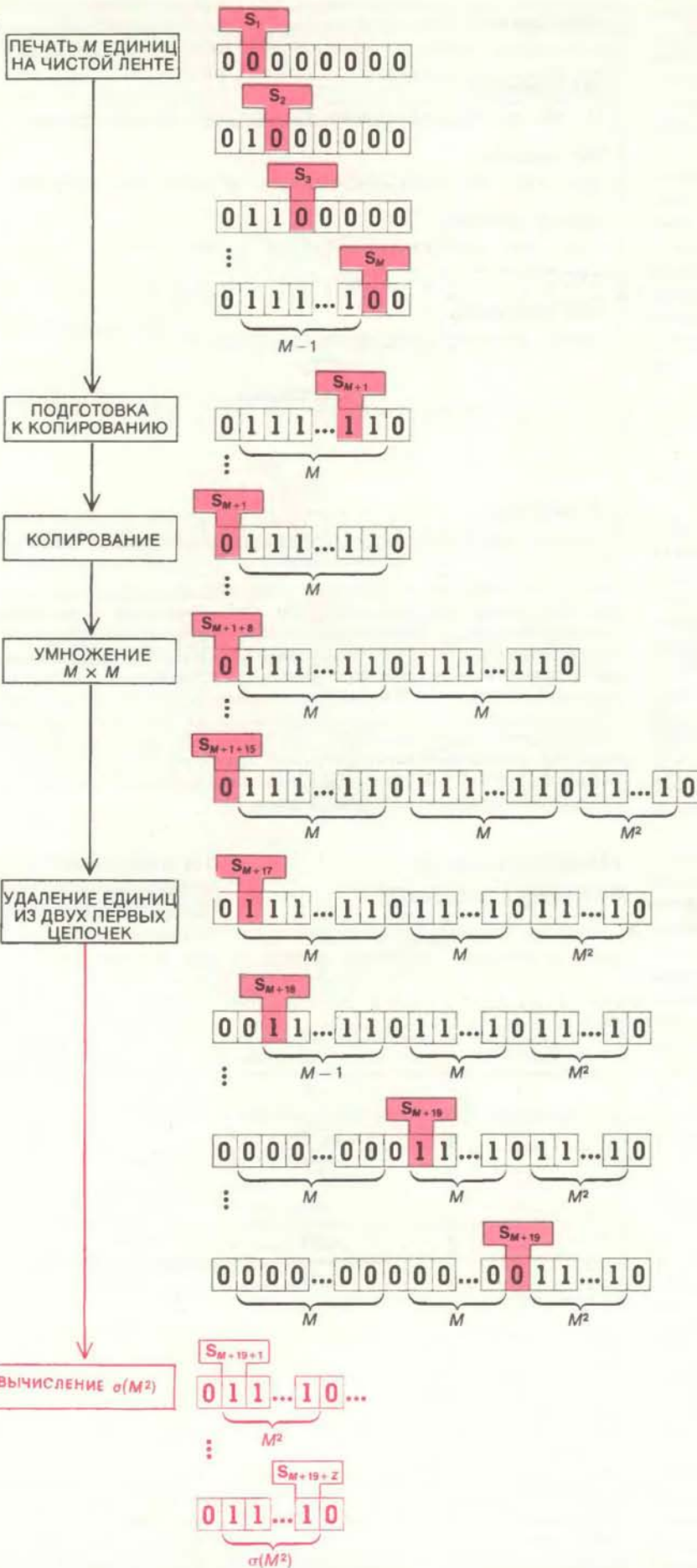
Если вы решите попробовать построить машину Тьюринга, скажем,

для умножения, то довольно скоро сможете оценить те трудности, с которыми сталкивается тот, кто составляет какую-нибудь реальную программу для компьютера. Большинство ма-

ЧИСЛО СОСТОЯНИЙ	МАКСИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО НАПЕЧАТАННЫХ ЕДИНИЦ	НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИИ σ
3	$\sigma(3)$	6
4	$\sigma(4)$	12
5	$\sigma(5)$	17
6	$\sigma(6)$	35
7	$\sigma(7)$	22,961
8	$\sigma(8)$	$3^{92} \approx 7.9 \times 10^{43}$
9	$\sigma(9)$	$3^{92} + 1$
10	$\sigma(10)$	$a^{\{a^{\{a^{\dots\}}}\}}$

«НЕУТОМИМЫЙ РАБОТЯГА» — так называется задача нахождения максимального числа единиц, которое может напечатать машина Тьюринга с N состояниями, начинающая работу с пустой лентой и в конце концов останавливающаяся. Это число, зависящее от N , представляет собой значение функции $\sigma(N)$. В 1962 г. Т. Радо из Университета шт. Огайо доказал, что эта функция растет слишком быстро, чтобы быть вычислимой. Приводятся нижние границы функции, полученные для малых значений N . В выражении нижней границы для $\sigma(10)$ входит число a , примерно равное $\sqrt{8}$; это выражение представляет собой многоступенчатую систему степеней a , где количество ступеней в системе выражается другой многоступенчатой системой степени a . Процесс выражения количества ступеней одной системы через другую повторен 10 раз.

ОБЩЕЕ ЧИСЛО СОСТОЯНИЙ



СОСТОЯНИЕ	СЧИТЫВАЕМЫЙ С ЛЕНТЫ СИМВОЛ	
	0	1
S_1	$1, S_2$ П	
S_2	$1, S_3$ П	
\vdots		
S_M	$1, S_{M+1}$ Л	

	0	1
S_{M+1}	$0, \dots$	$1, S_{M+1}$ Л

ПРОГРАММА КОПИРОВАНИЯ

ПРОГРАММА УМНОЖЕНИЯ

СОСТОЯНИЕ	СЧИТЫВАЕМЫЙ С ЛЕНТЫ СИМВОЛ	
	0	1
S_{M+17}	$0, S_{M+17}$ П	$0, S_{M+18}$ П
S_{M+18}	$0, S_{M+19}$ П	$0, S_{M+18}$ П
S_{M+19}	$0, S_{M+19+1}$ П	$0, S_{M+19}$ П

СОСТОЯНИЕ	СЧИТЫВАЕМЫЙ С ЛЕНТЫ СИМВОЛ	
	0	1
S_{M+19+1}	?	?
\vdots		
S_{M+19+Z}	ОСТАНОВ	ОСТАНОВ

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ТОГО, ЧТО ФУНКЦИЯ $\sigma(N)$ НЕВЫЧИСЛИМА, начинается с оценки числа шагов для порождения цепочки из M^2 единиц на чистой ленте. Копирующая и умножающая машины Тьюринга, изображенные на с. 39 и 40, объединены в одну машину с $M + 16$ состояниями. Три допол-

нительных состояния удаляют две самые левые цепочки единиц и оставляют M^2 единиц. Предполагается, что существует машина с Z состояниями (выделена цветом), порождающая по заданной цепочке из N единиц цепочку из $\sigma(N)$ единиц.

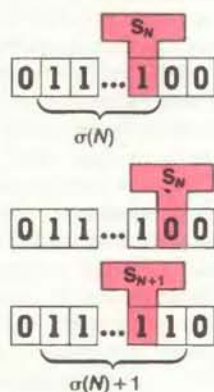
леньких машин Тьюринга, т.е. имеющих только несколько возможных состояний, не способно справиться ни с одной реальной или даже просто осмысленной задачей. Многие из них попадают в бесконечные замкнутые циклы и безостановочно снуют по ленте туда и обратно. Из тех машин, которые выполняют осмысленные задачи, вам следует выбрать их совокупность так, чтобы они могли эффективно работать вместе. Сначала может сложиться впечатление, что и наипростейшие задачи невероятно трудны, а реальные вычисления и вовсе безнадежны. Эти трудности, наверное, вас обескуражат, но они чисто технические: с несколькими хорошо подобранными программами способность машины Тьюринга решать задачи резко возрастет, и вы уже будете удивляться не слабости машины, а ее силе. Как показал Тьюринг, простые машины Тьюринга можно объединить в одну, которой под силу любая задача, лишь бы она была корректно поставлена.

Электронная вычислительная машина, отчасти обязанная своим существованием теоретическим машинам Тьюринга, теперь, по-видимому, наиболее убедительно демонстрирует вычислительные возможности последних. В своей работе Тьюринг отмечал, что любую машину Тьюринга M можно закодировать на ленте последовательностью из 0 и 1. Такое кодирование в принципе возможно, так как любая машина Тьюринга однозначно определяется своей таблицей команд; таблица будет конечной, поскольку состояний машины и символов алфавита конечное число.

Тьюринг показал, что операцию над любой последовательностью символов X , производимую на машине M , можно промоделировать на другой машине Тьюринга, которая называется универсальной. Символы на ленте, регистрируемые универсальной машиной Тьюринга, сгруппированы в два основных множества: слева — закодированное описание машины Тьюринга M , а справа — последовательность символов X , с которой встретилась бы M , сканируя собственную ленту. Универсальная машина устроена так, что ее печатающая головка то и дело проходит между левым и правым множествами на ленте. Благодаря тщательно продуманной системе маркеров универсальная машина следит за закодированным состоянием машины M , которое в данный момент находится в ее поле зрения. Тьюринг показал, что результат обработки последовательности символов X на универсальной машине точно такой же, какой получился бы после обработки этой последовательности на машине M .

Насколько успешным будет моделирование машины Тьюринга M на универсальной машине Тьюринга, цели-

Прежде всего заметим, что σ постоянно растет, т.е. если $X > Y$, то $\sigma(X) > \sigma(Y)$. Как бы много единиц ни могла печатать машина Тьюринга с N состояниями, имеющая остановку, всегда можно построить такую останавливающуюся машину Тьюринга с $N + 1$ состояниями, что она будет добавлять 1 к первоначальной цепочке единиц и затем останавливаться.



	0	1
S_N	1, S_{N+1}	1, S_N
S_{N+1}		

Предположим, имеется машина Тьюринга с Z состояниями, на которой вычисляется $\sigma(M^2)$.

По определению функции σ и процесса вычислений (см. рис. на с. 42) имеем

$$\sigma(M + 19 + Z) \geq \sigma(M^2). \quad (1)$$

Однако если M достаточно велико, то неравенство (1) противоречит тому факту, что σ непрерывно растет.

Чтобы проиллюстрировать это, положим $M = Z + 20$, или $Z = M - 20$.

Тогда $M + 19 + Z = M + 19 + M - 20 = 2M - 1$.

Элементарными выкладками получаем $2M - 1 = M^2 - M(-1)^2$ и стало быть

$$M + 19 + Z = M^2 - (M - 1)^2.$$

Поскольку $(M - 1)^2 > 1$, имеем $M^2 - 1 > M^2 - (M - 1)^2$.

Следовательно, в силу непрерывного роста σ

$$\sigma(M^2 - 1) > \sigma(M^2 - (M - 1)^2) = \sigma(M + 19 + Z) \geq \sigma(M^2).$$

Поскольку, однако, $\sigma(M^2 - 1) > \sigma(M^2)$, функция σ не может непрерывно расти, так что предположение о том, что существует машина Тьюринга с Z состояниями, способная вычислять $\sigma(M^2)$, приводит к противоречию.

ЗАВЕРШАЮЩИЙ ЭТАП ДОКАЗАТЕЛЬСТВА того, что функция $\sigma(N)$ невычислима, приводит к противоречию с предположением, что существует машина Тьюринга с Z состояниями, которая по заданной цепочке из M^2 единиц вычисляет $\sigma(M^2)$.

ком зависит от того, можно ли полностью описать машину M , используя лишь конечное число символов. Во всяком случае, в принципе любую цифровую вычислительную машину таким образом описать можно. Компьютер имеет большое, но конечное число внутренних состояний, и его реакция на входные данные целиком зависит от конечного множества операторов, из которых составлена программа. Следовательно, описание любой цифровой вычислительной машины можно закодировать на ленте в виде последовательности из нулей и единиц, а любые входные данные закодировать справа от описания ЦВМ. Поочередно обращаясь к описанию ЦВМ и к цепочке входных данных на ленте, универсальная машина Тьюринга может шаг за шагом промоделировать действия ЦВМ над входными данными.

Обладая достаточной памятью, которую можно рассматривать как ленту для записи символов, предназначенных для обработки, любой реальный компьютер может играть роль универсальной машины Тьюринга. Если, например, бытовой микрокомпьютер запрограммировать так, чтобы он работал, как универсальная машина Тьюринга, и если описание большого, «всеобъем-

лющего» компьютера закодировать на его языке, то при помощи такого микрокомпьютера можно было бы промоделировать действия большого компьютера над любой цепочкой входных символов. В этом смысле любая ЦВМ способна вычислять одни и те же математические функции, а именно класс всех функций, вычисляемых на машине Тьюринга. Существование только одного такого класса функций строго обосновано данным Тьюрингом формальным определением вычислимости: математическая функция вычислима, если ее можно вычислить на некой машине Тьюринга. Тьюринг привел убедительные доводы в пользу того, что его определение эквивалентно любой разумной интерпретации интуитивного понятия вычислимости. Все же, по-видимому, стоит заметить, что нелепо требовать строгого математического доказательства того, что некое формальное определение вроде данного Тьюрингом полностью совпадает с любым индивидуальным интуитивным представлением.

Программа Гильберта

Для того чтобы понять, почему Тьюринг был так поглощен определением

вычислимости, необходимо иметь некоторое представление о состоянии математической логики до 1936 г. Теперь мы знаем, что строгая формализация в математике стала развиваться сравнительно недавно. Первая серьезная попытка свести математические утверждения к высказываниям формальной логики была предпринята Готлобом Фреге в 1879 г. в работе "Begriffsschrift" («Система обозначений для понятий»). Так что выдвинутая Гильбертом проблема была исключительно важной: если бы схема Фреге оказалась действительно реализуемой и если бы можно было найти метод для определения, является ли любое высказывание формальной логики истинным или ложным, тем самым можно было бы определять истинность любого математического утверждения, каким бы сложным оно ни было. Если бы такой метод можно было найти, то с математическими гипотезами, такими, как «последняя теорема» Пьера Ферма, на протяжении столетий сопротивляющаяся всем попыткам доказать ее или опровергнуть, удалось бы немедленно справиться. Положительный ответ на дерзкий вызов Гильберта означал бы сведение всей математики к механическим вычислениям.

В первые десятилетия нашего века в математической логике были получены два значительных результата, которые сильно нарушили стройность программы Гильберта. В 1901 г. Бертран Рассел открыл неопровержимый парадокс в элементарной теории множеств — теории, на которую в основном опиралась программа Фреге сведения математики к логике. О своем открытии Рассел сообщил Фреге накануне выхода в свет второго тома его фундаментального труда "Grundgesetze der Arithmetik" («Основные законы арифметики»). Фреге заключил этот том удручающей сентенцией: «Вряд ли с ученым может случиться большая неприятность, чем оказаться в ситуации, когда у него есть все основания, накануне завершения своего труда, сложить оружие. В таком положении очутился я после письма г-на Рассела, которое пришло перед самым выходом в свет моей книги». Несмотря на обнаруженные изъяны, Фреге не смог отказаться от своей работы. Позже Рассел и Уайтхед несколько реабилитировали программу Фреге и разрешили парадокс в теории множеств*.

Второе важное открытие в логике сделал Курт Гёдель, работавший тогда в Венском университете. В программе Гильберта неявно подразумевалось,

что должен существовать какой-то метод для определения, будет ли то или иное высказывание формальной логики истинным или ложным; задача состояла в том, чтобы найти этот метод. В 1931 г. Гёдель опроверг это предположение, доказав, что любая непротиворечивая система высказываний формальной логики, достаточно богатая, чтобы на ее языке можно было формулировать утверждения теории чисел, должна содержать истинные высказывания, которые недоказуемы. Поскольку непротиворечивые системы аксиом, как, например, разработанная Расселом и Уайтхедом, не могут охватить все истинные утверждения того предмета исследований, который с их помощью пытаются формализовать, эти системы называются неполными.

Понятие вычислимости

Своей работой Гёдель нанес сокрушительный удар программе Гильберта. Не могло существовать общего метода для определения, истинно или ложно произвольное математическое утверждение. Если бы такой метод существовал, с его помощью можно было бы доказать все истинные утверждения, и Гёдель продемонстрировал, что внутри непротиворечивой системы аксиом, охватывающей аксиомы обычной арифметики, провести такое доказательство невозможно. Внимание логиков переместилось с понятия истинности на понятие доказуемости. В этом контексте оставалась простая аналогия с проблемой Гильберта, которая еще не была решена: существует ли единственный метод, при помощи которого, исходя из множества логических акси-

ом, можно доказать все доказуемые логические утверждения?

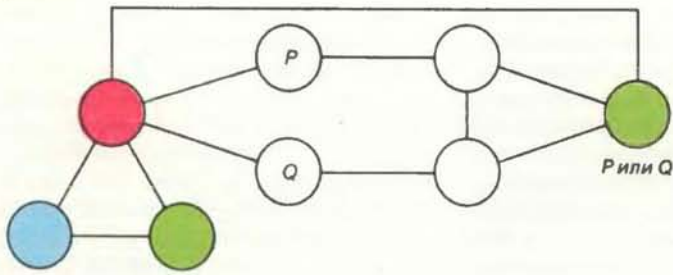
В период после открытия Гёделя самый большой вклад в исследование вопроса логической доказуемости внес Алонсо Чёрч из Принстонского университета. С двумя своими студентами С. Клини и Б. Россером он разработал непротиворечивый формальный язык, который назвал лямбда-исчислением: этот язык оказался полезным для рассмотрения математических функций, таких, как квадратный корень, логарифм и более сложные аналитические функции. [Лямбда — греческая буква, соответствующая латинской букве *L*, была выбрана Чёрчем для того, чтобы подчеркнуть, что эта система — язык (*Language*)]. Современный язык программирования *Lisp* (язык для обработки списков — *List processing*) был создан на основе лямбда-исчисления. Клини показал, что при помощи лямбда-исчисления можно представить большую класс математических функций, в том числе и все функции, использованные Гёделем в его доказательстве.

Чёрч сделал и следующий значительный шаг в этом направлении. Он рассуждал: если математическая функция может быть выражена числом, т.е. для каждого значения из области определения данной функции ее можно выразить числом, то такую функцию можно представить в лямбда-исчислении. В своей работе Чёрч показал, что если есть такие объекты, как представимые в лямбда-исчислении функции, которые невычислимы, то не существует метода определения, доказуемо ли данное математическое утверждение, не говоря уж об его истинности.

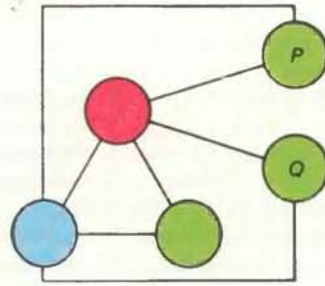
ДВЕ ЗАДАЧИ СЧИТАЮТСЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫМИ, если решение одной немедленно дает решение другой. Здесь задача определения условий, при которых сложное булево выражение (или логическое высказывание) истинно, была преобразована, или отображена, в другую задачу — задачу раскраски вершин графа тремя красками так, чтобы никакие две вершины, связанные одним ребром, не оказались окрашены в один и тот же цвет. Будет булево выражение истинным или ложным, зависит от того, истинными или ложными будут элементарные, или простые, высказывания, входящие в рассматриваемое высказывание, и от того, каким образом они объединены при помощи связок «или», «и» и «не». Любому возможному булеву выражению соответствует простой граф, который можно раскрасить тремя красками тогда и только тогда, когда простые высказывания таким образом принимают значение истинности, что все сложное выражение примет значение «истина». Рассмотрим, например, сложное выражение *P* или *Q*, составленное из простых высказываний *P* и *Q*. Выражение *P* или *Q* истинно, только если либо *P* истинно, либо *Q* истинно, либо *P* и *Q* оба истинны. Эти условия нашли отражение в раскрашенном графе сверху слева (*a*), в котором зеленый цвет соответствует значению «истина», а синий — «ложь». Раскрашивание можно считать выполненным в том смысле, что самая правая вершина зеленая («истина») тогда, когда одна или обе помеченные вершины (*b* — *e*) зеленые. Точно так же сложное выражение *P* и *Q* истинно только тогда, когда оба простых высказывания *P* и *Q* истинны, и такое положение дел можно изобразить на графе, в котором вершина, соответствующая *P*, и вершина, соответствующая *Q*, окрашены в зеленый цвет (*f*). Наконец, формула не *P* истинна, только если вершина, помеченная *P*, окрашена в синий цвет (*g*), а формула *P* истинна, если вершина, соответствующая не *P*, окрашена в синий (*h*). Внизу справа изображен граф, соответствующий более сложному булеву выражению (*P* или *Q*) и (не *R*); раскраска (*i*) соответствует ограничениям, накладываемым связками «или», «и» и «не», а (*j*) — одному из четырех способов раскраски этого графа; ему соответствует один из способов сделать все булево выражение истинным.

* Точнее, был построен оригинальный вариант аксиоматической теории множеств, а затем предпринята последующая попытка сведения математики к формальной логике. — *Прим. перев.*

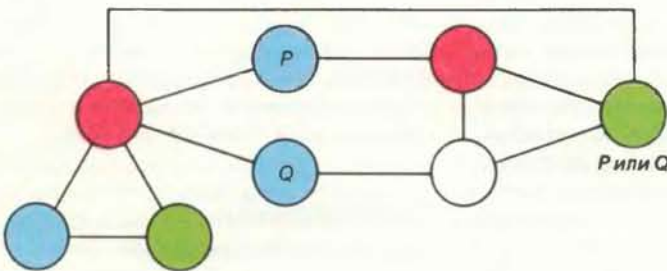
или
а



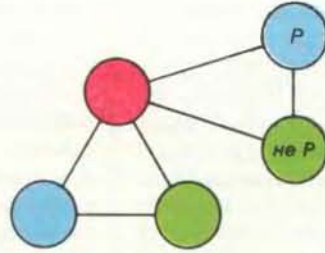
и
f



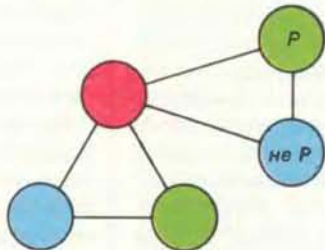
b



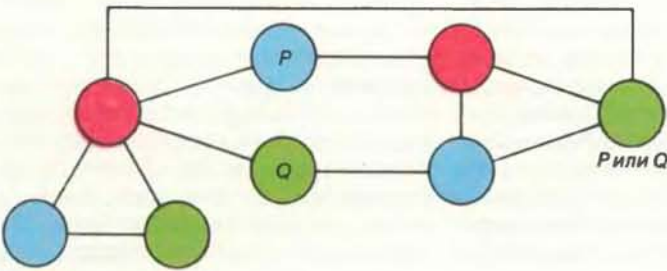
НЕ
g



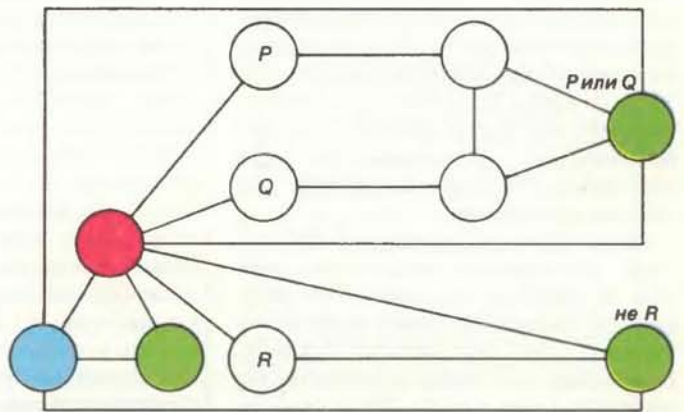
h



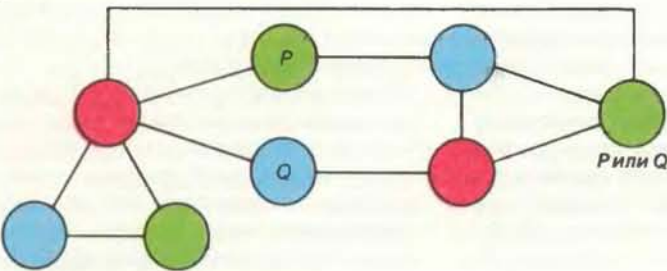
с



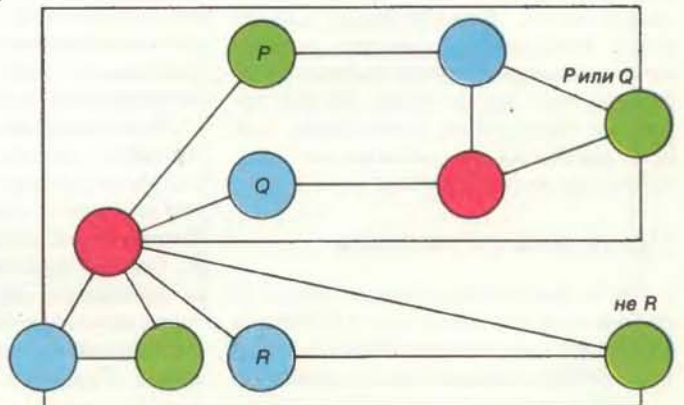
(P или Q) и (не R)
i



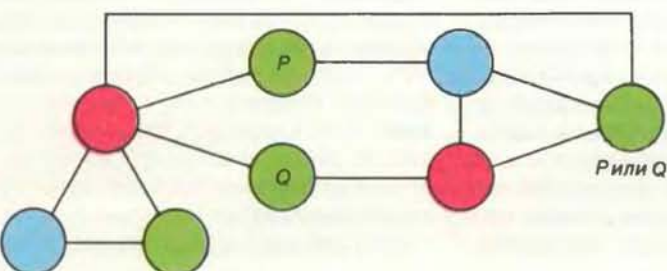
d



j



е



Последняя уцелевшая гипотеза программы Гильберта вот-вот должна была быть опровергнута. В апреле 1936 г. Чёрч опубликовал логическое выражение, которое в его системе было недоказуемо.

Тьюринг независимо от Чёрча также уловил определенную связь между проблемой Гильберта и идеей вычислимости функции. Однако в отличие от Чёрча его подход к этой проблеме был более прямым и конкретным. Нужна была простая, но точная модель процесса вычисления, и построенная Тьюрингом машина как раз и отвечала этим требованиям. Как только ее свойства были четко сформулированы, Тьюринг блестяще увязал идею вычислимой функции с результатами немецкого математика Георга Кантора, полученными за 50 лет до этого. Кантор рассуждал так: хотя наибольшего целого числа не существует, любое бесконечное множество объектов, которые можно сосчитать (или сопоставить каждому объекту положительное целое число), представляет собой множество того же самого размера (мощности), что и множество целых чисел. Поскольку любую машину Тьюринга можно представить цепочкой литер конечной длины, все возможные машины Тьюринга вместе со всеми вычислимыми на них функциями можно перечислить в алфавитном порядке или по возрастанию номеров: иначе говоря, им можно взаимно-однозначно поставить в соответствие множество целых чисел (верхний рис. на с. 38). При этом, разумеется, нет точного верхнего предела ни для размера машин Тьюринга, ни для их количества. Тем не менее, используя идею Кантора, можно показать, что множество всех вычислимых функций имеет ту же мощность, что и множество всех целых чисел: оба они счетные множества.

Кантор также показал, что существуют бесконечные множества, которые не являются счетными: они больше, чем множество целых чисел в том смысле, что им нельзя взаимно-однозначно поставить в соответствие множество целых чисел. Примером такого несчетного множества может служить множество всех целочисленных функций, определенных на множестве целых чисел. Внимательный анализ этого множества позволяет заключить, что таких функций должно быть больше, чем целых чисел. Вывод такой: не все функции вычислимы, т.е. нет достаточного количества программ для их вычисления.

Проблема остановки

Какие же функции невычислимы? К сожалению, из доказательств Чёрча и Тьюринга сразу нельзя было построить примеры невычислимых функций.

Однако по прошествии 20 лет программисты-теоретики использовали машину Тьюринга для получения нескольких таких функций. Один из первых примеров невычислимой функции привел в 1962 г. Т. Радло (Университет шт. Огайо). Рассмотрим все машины Тьюринга, имеющие заданное число состояний N . Предположим, что все они начинают работать с «чистой» лентой, иначе говоря с лентой, на которой в каждой клетке записан 0. Представим на время, что из этого множества исключены все машины Тьюринга, которые никогда не останавливаются. Среди оставшихся выделим машину или группу машин, которые печатают на чистой ленте самое большое число идущих подряд единиц и затем останавливаются. Число единиц при каждом заданном значении N и есть значение функции Радло; ее обычно изображают как $\sigma(N)$. Подробное доказательство того, что $\sigma(N)$ невычислима, проводится от противного: предполагаем, что функция вычислима, и приходим к противоречию. Идея очень проста, но реализуется перегруженным техническим подробностями доказательством; с ним можно ознакомиться по рис. на с. 42 и 43.

Вы можете сказать, что построение некорректно по той причине, что предполагается возможным заранее удалить из машин Тьюринга те, что не останавливаются. Возражение серьезное. Посмотрим, что получится, если попытаться вычислить $\sigma(N)$ «в лоб». Тем или иным способом пронумеруем все машины Тьюринга с N состояниями и составим их список. Затем промоделируем одну за другой и выберем машину или группу машин, печатающих самое большое число единиц. Хотя кажется, что такой метод вычисления позволяет избежать указанной некорректности, трудность здесь в том, что неостанавливающиеся машины Тьюринга очень плохо поддаются описанию. Некоторые машины, не имеющие остановки, можно исключить простым алгоритмом, но останутся другие, для которых такого простого алгоритма нет. Если вы не можете твердо сказать о конкретной машине, что она не останавливается, то ее нельзя исключить из списка машин с N состояниями и моделирование должно продолжаться. А так как машина фактически может никогда не остановиться, нет никакой гарантии, что функция $\sigma(N)$ будет полностью вычислена.

Хотя первый свой вклад машина Тьюринга внесла в логику, с начала 60-х годов она стала играть основополагающую роль в теории вычислений и кибернетике. В 1965 г. Ю. Хартманис и Р. Стирнз, работавшие тогда в исследовательской лаборатории (г. Скенектади, шт. Нью-Йорк) фирмы General Electric, показали, что при помощи машины Тьюринга можно установить

строгие границы сложности вычислений. Позже исследователи стали классифицировать задачи по длительности их выполнения (или, что эквивалентно, количеству шагов вычисления), зависящей от размера задачи. Пусть, например, некоторое число точек, связанных между собой линиями, образуют граф из вершин и ребер. Требуется так раскрасить вершины, чтобы никакие две связанные одним ребром вершины не были одинакового цвета. Предположим далее, что наискорейший известный метод решения этой задачи требует времени, пропорционального некой степени N , скажем N^2 . Тогда говорят, что эта задача относится к классу задач, которые можно решить за полиномиальное время, — к классу P . Важность класса P столь возросла, что многие вычислители стали считать те задачи, которые не принадлежат классу P , не поддающимися решению.

Современная теория сложности

Заметим, что задача относится к классу P лишь в том случае, если не существует конкретного ее примера, для решения которого требуется более чем полиномиальное время. Иначе говоря, метод для решения данной задачи детерминирован в том смысле, что он гарантирует решение за время, меньшее определенной степени размера N задачи. Можно также определить недетерминированную машину Тьюринга: дается предполагаемый ответ задачи, и затем эта гипотеза проверяется. Например, для того, чтобы выяснить, является ли целое число составным, на недетерминированной машине задается предполагаемый делитель, производится деление, и если при делении не получится остатка, значит, число составное. На детерминированной машине, напротив, делитель ищется систематической процедурой.

Время, необходимое для решения задачи на недетерминированной машине, измеряется длительностью самого короткого вычисления, поэтому может сложиться впечатление, что недетерминированная машина имеет неоспоримые преимущества перед детерминированной. Да и обычный житейский опыт нам подсказывает, что проверить решение легче, чем его искать. Тем не менее пока еще никто не смог доказать, что задачи, разрешимые за полиномиальное время на недетерминированной машине (этот класс задач обозначается NP), сколько-нибудь труднее задач класса P . Вопрос о том, отличается ли класс P от класса NP , стал сейчас одним из самых важных открытых вопросов математики, носящим название «проблема $P-NP$ ».

Большой сдвиг в решении проблемы

$P-NP$ был сделан в 1970 г. С. Куком из Университета в Торонто. Кук рассмотрел вопрос определения условий, при которых сложное логическое высказывание истинно. Например, сложное логическое высказывание, образованное двумя простыми высказываниями, соединенными связкой «или», истинно, если истинно одно из них или истинны оба простых высказывания. Вообще говоря, описать множество условий истинности простых высказываний, при которых выполняется сложное высказывание, иными словами, сделать сложное высказывание истинным — задача весьма непростая. Кук показал, что эта задача, называемая проблемой выполнимости, так же трудна, как и любая другая задача из класса NP . Эффективный алгоритм решения проблемы выполнимости существует, если существует алгоритм решения любой другой задачи класса NP . Любая задача, обладающая этим свойством относительно всего класса задач, называется полной относительно этого класса.

Прошел год, прежде чем большинство исследователей смогли оценить значение результата Кука. Р. Карп из Калифорнийского университета в Беркли в 1971 г. заинтересовался вопросом существования других естественных задач, которые могли бы играть ту же самую роль по отношению к классу NP , что и проблема выполнимости. Карп обнаружил, что многие важные задачи исследования операций, в частности задача о раскраске графа тремя красками, так же трудны, как и любая задача из класса NP , т.е. эти задачи NP -полные. Можно показать непосредственным отображением одной задачи в область определения другой, что задача о раскраске графа и проблема выполнимости эквивалентны (см. рис. на с. 45).

Теперь аналогичным образом доказано, что сотни задач, ранее считавшихся различными, в сущности не что иное, как переформулировки в разных системах обозначений одной и той же задачи. Все они эквивалентны проблеме выполнимости, и, значит, они NP -полные. Обнаружено несколько других групп таких полных задач — как относительно класса P , так и относительно тех классов труднорешаемых задач, для которых число шагов их решения на машине Тьюринга растет как экспонента от размера задачи. Пока, однако, открытый штурм проблемы $P-NP$, по-видимому, преждевременно. Последние достижения теории вычислимости помогут в полной мере оценить возникающие здесь препятствия.

Относительная вычислимость

Идею вычислимости функции на машине Тьюринга можно развить даль-

ше, если ввести зависимость вычислимости от вида цепочки символов, которая может встретиться машине на ленте. Если расположенная на ленте цепочка принадлежит некоторому заранее определенному множеству A , то машина Тьюринга получает команду перейти в особое состояние, в котором продолжается вычисление искомой функции. Если же цепочка не принадлежит множеству A , то машина выдает решение, что функция невычислима. Такая функция называется вычислимой относительно множества A . Если бы множество A охватывало все цепочки, которые можно получить на машинах Тьюринга, рано или поздно останавливающих и работающих с исходными данными в виде чистой ленты, то функция Радо $\sigma(N)$ была бы вычислимой относительно этого множества A .

В 1974 г. Т. Бейкер из Корнеллского университета, Дж. Гилл из Станфордского университета и Р. Соловей из Калифорнийского университета в Беркли задались следующим вопросом: может ли быть доказана неэквивалентность классов P и NP для относительной вычислимости? В процессе работы они сделали ошеломляющее открытие: выделили два множества A и B , которые демонстрировали противоречивую взаимосвязь между классами P и NP . Иначе говоря, для вычислений относительно множества A классы P и NP эквивалентны, тогда как относительно множества B они неэквивалентны. Более того, было установлено, что для любой непротиворечивой формальной системы существуют относительные вычисления, при которых вы можете предполагать, что либо P и NP эквивалентны, либо нет, и это никак не отразится на непротиворечивости системы. После этого многие другие исследователи обнаружили ряд иных задач, которые можно было соотносить с множествами таким образом, что любой из возможных исходов оказывался истинным.

Такое запутанное положение дел нельзя, разумеется, считать удовлетворительным. Нет задачи, для которой существуют две взаимоисключающие возможности и которая тем не менее решена. Этот факт обычно выдается за свидетельство того обстоятельства, что решения таких задач современной математике не по силам. Следует, однако, напомнить, что простые формулировки этих, на вид не поддающихся решению, задач оказались возможны, благодаря простому решению одной задачи, казавшейся предыдущему поколению непостижимой. Возможно, грядущее фундаментальное открытие в ретроспективе будет восприниматься столь же простым, как умозрительная машина Тьюринга.

Издательство МИР предлагает:

ПРОМЫШЛЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И УСПЕХИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Перевод с английского

Эта книга — сборник статей в основном американских авторов из журнала «Сайентифик Америкн», выпущенных в США отдельным изданием. Обсуждаются следующие вопросы: история применения микроорганизмов для превращения одних веществ в другие с целью их промышленного получения; промышленные микроорганизмы (дрожжи, грибы, бактерии, актиномицеты), а также некоторые виды культуры животных клеток, продукты их жизнедеятельности; основы ряда промышленных процессов, использующих микроорганизмы; генетическое программирование промышленных микроорганизмов (пути изменения геномов, способы введения генов инсулина, интерферона и гормона роста в геном кишечной палочки); микробиологическое получение пищевых продуктов и напитков (сыра, вина, пива); микробиологическое производство лекарственных препаратов (антибиотиков, инсулина, интерферона, гормона роста); микробиологическое производство промышленных химикатов (растворителей, спиртов, кислот и других); методы производства в промышленной микробиологии; сельскохозяйственная микробиология; роль симбиоза растений и микроорганизмов и повышение его эффективности методами мутагенеза.

Книга предназначена для микробиологов, генетиков, специалистов в области биотехнологии и микробиологической промышленности.

1984, 17 л. Цена 3 р. 50 к.

Паразиты, которые изменяют поведение своего хозяина

Изменяя поведение своего хозяина, паразиты делают его более уязвимым для нападения со стороны хищника, являющегося их следующим хозяином.

Колючеголовые черви представляют собой таких паразитов: они заражают мокриц, а тех поедает певчие птицы

ДЖЕНИС МУР

Одна из наиболее известных в научно-фантастической литературе фабул такова: чужеродные паразиты внедряются в человека, заставляют его выполнять свои приказания, размножаются в нем и переходят в другого столь же беспомощного землянина. Однако представление о том, что паразит может изменять поведение другого организма, — совсем не фантастика. Достаточно внимательно понаблюдать за жизнью обитателей озера, поля или леса, и станет ясно, что это не такое уж редкое явление.

Большинство экологов долгое время предпочитали изучать свободноживущих представителей природных сообществ, оставляя исследование паразитических организмов паразитологам. Между тем было хорошо известно, что многим паразитам свойствен сложный жизненный цикл: они проводят часть жизни в одном животном (промежуточном хозяине), а затем переходят в другое (дефинитивного хозяина), где становятся половозрелыми. Понемногу накапливались сведения о том, что некоторые паразиты отнюдь не пассивно ожидают случая, чтобы достичь конечной цели своего жизненного пути, а активно повышают вероятность того, что их первый хозяин станет жертвой второго. Иногда влияние паразита выражается только в том, что изменяются размеры или окраска его промежуточного хозяина, что делает его более заметным. В других случаях, однако, паразит изменяет поведение хозяина таким образом, что тот становится более уязвимым для хищников. Так, еще в 1931 г. Элоиза Б. Крэм (министерство сельского хозяйства США) обратила внимание на то, что кобылки, зараженные личинками нематоды *Tetrameres americana*, легко становятся добычей цыплят, в организме которых нематода живет во взрослом состоянии: из-за того, что личинки нематоды образуют в мышечной ткани кобылок

цисты, снижается двигательная активность насекомых.

Позже было установлено, что некоторые паразиты влияют на поведение своих промежуточных хозяев, проникая в их центральную нервную систему. Существует такая болезнь — вертячка, при которой больные жвачные животные, например овцы, ходят пошатываясь, кругами и в конце концов отбиваются от стада. Вертячку вызывает проникновение в головной или спинной мозг животного личинки собачьего ленточного червя *Taenia multiceps*. Дефинитивными хозяевами гельминта являются волки и дикие собаки, которые охотятся за отделившимися от стада животными.

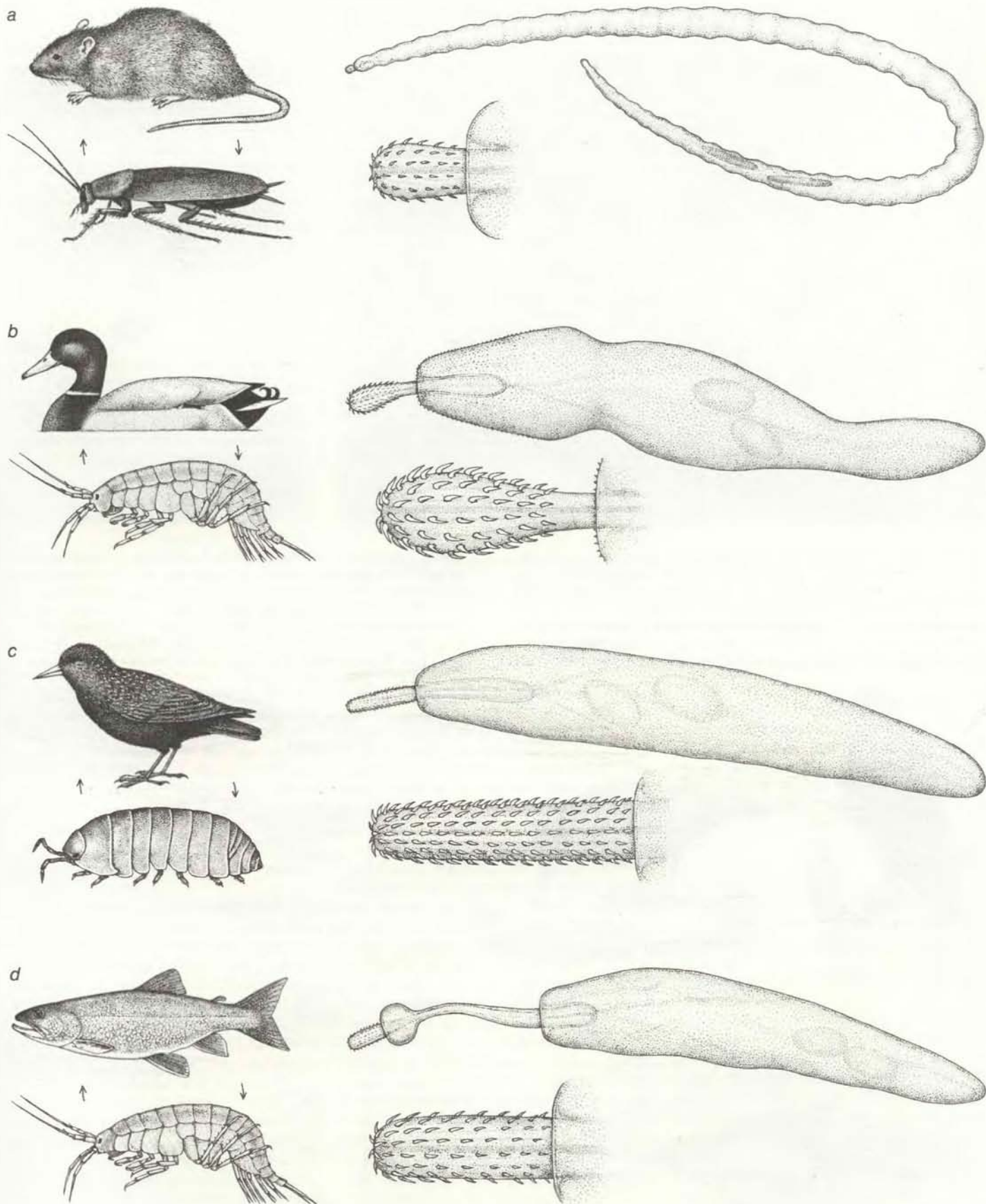
Ланцетовидная двуустка *Dicrocoelium dendriticum* влияет на поведение своего промежуточного хозяина весьма оригинальным способом. Эта трематода достигает зрелости в организме овцы, а начальную часть жизненного цикла проводит в муравьях — и ей нужно как-то обойти тот факт, что овцы обычно не едят муравьев. Когда несколько неполовозрелых червей попадают в муравья, один из них инцистируется в подглоточном ганглии нервной системы насекомого, который контролирует работу ротового аппарата и локомоторную функцию. В. Гохорст и его коллеги (Hoechst A.G., Франкфурт, ФРГ) выяснили, что зараженный муравей заползает на верхушку какого-нибудь растения и, если температура достаточно низкая, прикрепляется к нему мандибулами; благодаря этому становится вполне вероятным, что теперь он будет съеден пасущейся овцой.

Есть по крайней мере одна группа паразитов, которые вызывают изменения в поведении своего хозяина, не повреждая его мышечной или нервной ткани. Речь идет о представителях типа *Acanthocephala*, называемых обычно колючеголовыми, или скребнями.

Скребни не проникают ни в мышечную, ни в нервную ткань хозяина. По-видимому, механизм их влияния на его поведение имеет биохимическую природу; пока, однако, об этом мало что известно. Способность скребней вызывать у своих хозяев поведенческие реакции, которые были бы вполне естественными, если бы не проявлялись в неподходящее для хозяина время, привлекла в последнее время внимание многих исследователей. Полученные данные, в том числе и мои работы, показали, что такой способностью обладают представители всех трех классов *Acanthocephala*. Вполне возможно, что это вообще одна из характерных черт всего типа скребней.

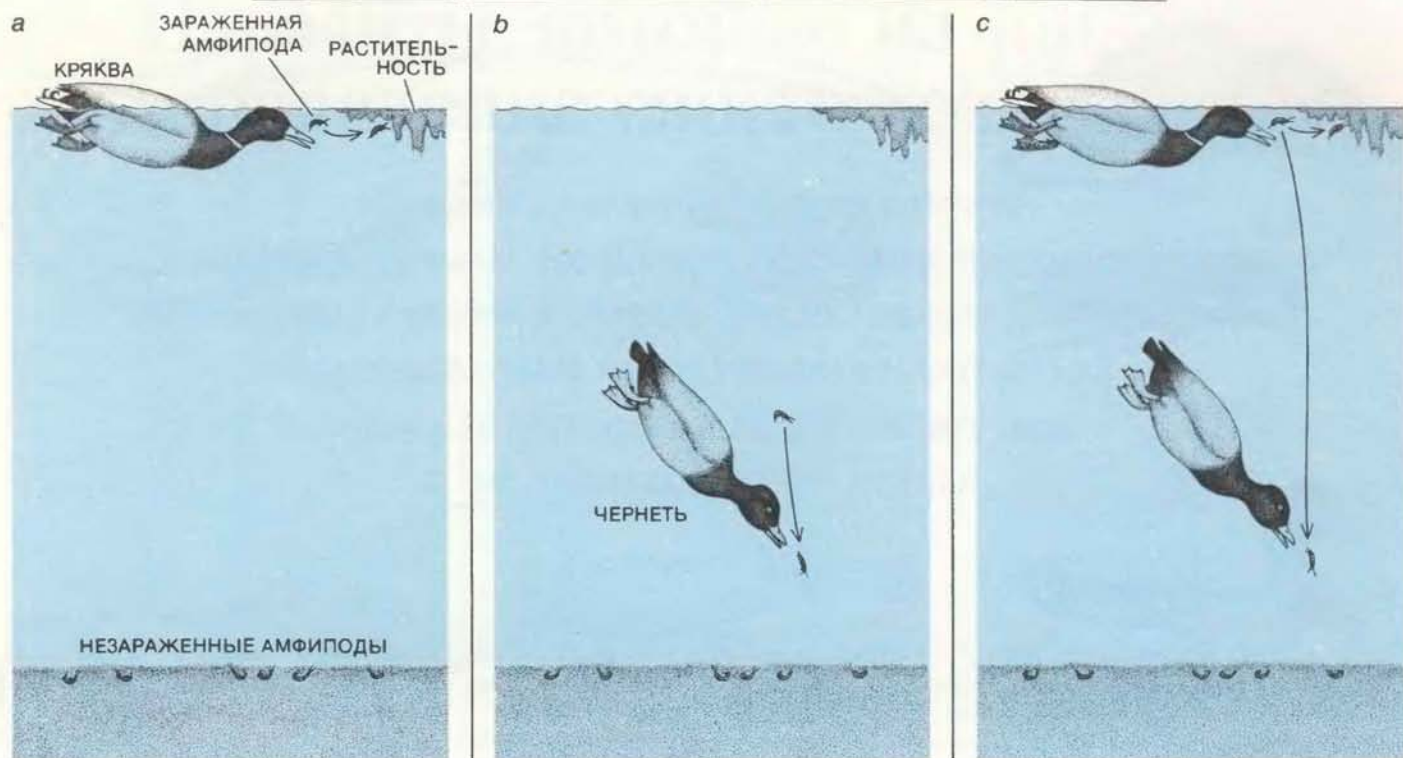
СКОЛЬКО в точности видов входит в стип *Acanthocephala*, не известно; согласно самой высокой оценке, их число не превышает 1200. Жизненный цикл изучен лишь у немногих видов. У всех у них взрослые особи живут в тонком кишечнике позвоночных животных, главным образом птиц и рыб. Там самки откладывают яйца, которые вместе с экскрементами хозяина попадают во внешнюю среду, где становятся пищей промежуточного хозяина. Промежуточными хозяевами скребням служат членистоногие — насекомые или ракообразные. В пищеварительном тракте членистоногого яйцо созревает и вылупляется личинка, которая проделывает ход сквозь стенку кишечника и попадает в полость тела, где происходит ее дальнейшее развитие до стадии, называемой акантеллой. Акантелла уже способна заразить позвоночное животное. Когда подходящее животное съедает зараженное членистоногое, акантелла поселяется в тонком кишечнике нового хозяина, где жизненный цикл паразита завершается появлением половозрелой взрослой особи, которая откладывает яйца.

По своему внешнему облику и внут-



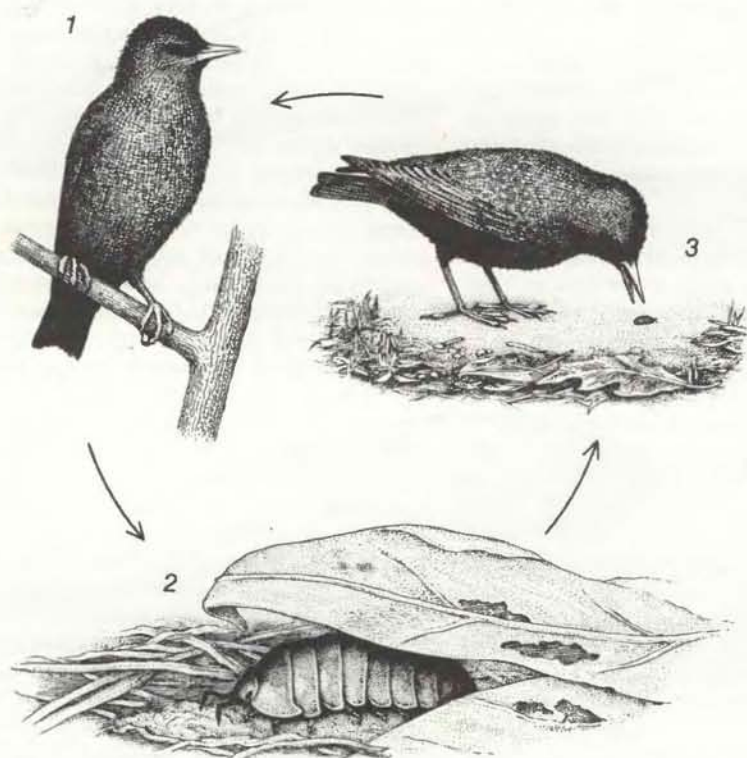
КОЛЮЧЕГОЛОВЫЕ ЧЕРВИ, или скребни (тип *Acanthocephala*), и их хозяева — промежуточный (членистоногое), в котором развивается личинка, и дефинитивный (позвоночное), в котором паразит достигает половой зрелости. Изображенные здесь виды паразитов изменяют поведение своих промежуточных хозяев. *Moniliformis moniliformis* (a) живет сначала в тараканах, а затем передается крысам, которые поедают тараканов. *Polymorphus paradoxus* (b) переходит от амфипод (небольших водных рачков) к диким уткам и

некоторым другим хищникам. *Plagiorhynchus cylindraceus* (c) вначале паразитирует в мокрицах, а достигает зрелости в скворцах и других певчих птицах, питающихся мокрицами. *Pomphorhynchus laevis* (d) заражает амфипод, а через них рыб, например форель. Колючие хоботки, с помощью которых взрослые паразиты прикрепляются к стенке кишечника в теле позвоночного-хозяина, показаны с увеличением и в одном масштабе; длина *Moniliformis* до 30 см, а других видов — до 2,5 см.



ВЛИЯНИЕ СКРЕБНЕЙ НА ПОВЕДЕНИЕ амфипод. Незараженные паразитами амфиподы избегают света; если их потревожить, они зарываются в ил на дне. Амфиподы, зараженные *Polymorphus paradoxus* (a), движутся к свету, а в случае опасности стремятся прицепиться к плавающей растительности или носятся по поверхности, где легко становятся добычей плавающих (настоящих) уток типа кряквы.

Рачки, зараженные *Polymorphus marilis* (b), также предпочитают освещенные места, однако они не поднимаются к поверхности, и их поедают нырковые утки, например чернеть. вспугнутые амфиподы, в которых паразитирует *Corynosoma constrictum* (c), подплывают к поверхности либо ныряют в глубину; на них охотятся и плавающие, и нырковые утки. В кишечнике уток паразиты достигают зрелости.



ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ *PLAGIORHYNCHUS CYLINDRACEUS* начинается в тонком кишечнике скворца, где самки паразита откладывают яйца, которые выходят во внешнюю среду с экскрементами птицы (1). Птичий помет едят мокрицы и другие изоподы (2); в их пищеварительном тракте яйца уже за несколько часов созревают, затем молодая личинка (она всего 0,1 мм длиной), вооруженная крошечными шипиками, продлевает ход через стенку кишечника и попадает в полость тела изоподы, оставаясь, однако, прикрепленной

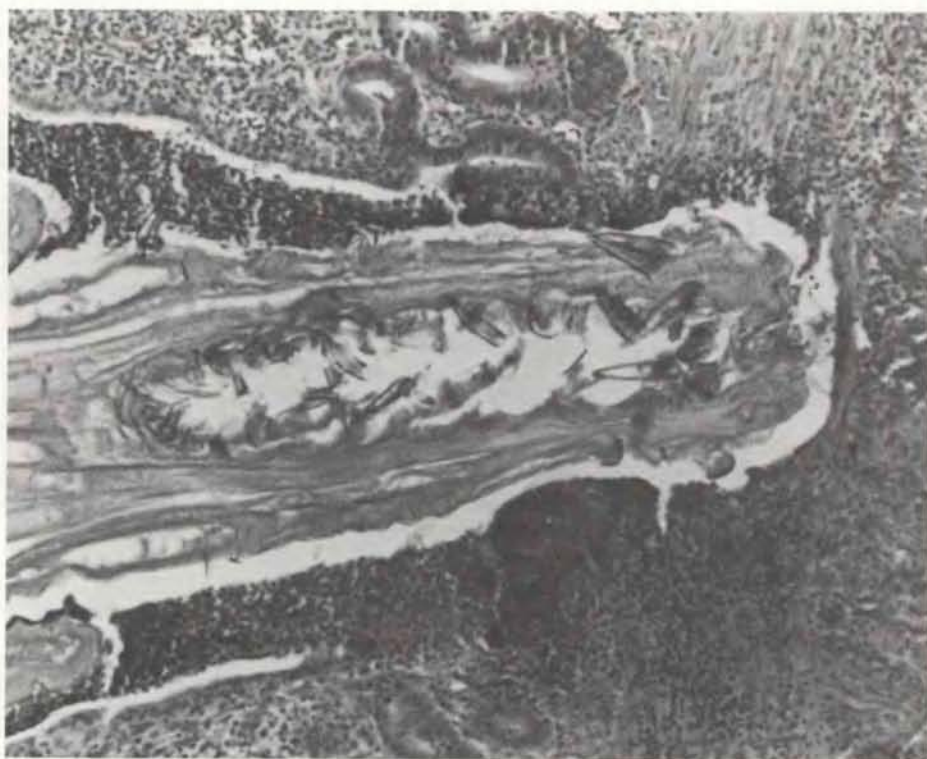


«стебельком» к стенке кишечника. Через 60—65 дней после вылупления она вырастает до 4 мм в длину. В это время личинка уже может заразить птицу и влияет на поведение изоподы, делая ее легкой добычей. Колющий хоботок обычно остается ввернутым внутрь тела скребня до тех пор, пока изоподу не проглотит птица (3), тогда хоботок выпячивается и прикрепляется к стенке кишечника нового хозяина. Паразит продолжает расти, достигая в конце концов 15 мм в длину. (По данным Дж. Шмидта и О. Уилфорда Олсена.)

ренному строению скребни изумительно приспособлены к паразитическому образу жизни. Тело взрослой особи — это, по существу, мешок с органами размножения. «Мешок» прикреплен к хоботку, покрытому загнутыми назад крючьями. С помощью этого колючего хоботка паразит прикрепляется к стенке кишки позвоночного. Сам паразит не имеет ни кишечника, ни даже его rudimentов. Да ему и не нужен пищеварительный тракт, так как окружающая его среда полна переваренных питательных веществ, которые паразит просто абсорбирует через покровы тела. В природе нет других живых существ, близко похожих на скребней, и поэтому об их происхождении, эволюции и родственниках среди ныне живущих животных остается только гадать.

Рассматривая жизненный цикл гельминта, разумно думать, что его эволюция шла путем естественного отбора на те признаки, которые увеличивали шансы попасть в организм дефинитивного хозяина. В 70-е годы У. Бетел и Дж. Холмс из Университета провинции Альберта в Эдмонтоне (Канада) проделали серию экспериментов с целью выяснить, действительно ли скребни изменяют реакции своих промежуточных хозяев на факторы внешней среды. Они выбрали три вида скребней, промежуточными хозяевами которых являются амфиподы (разноногие рачки, или бокоплавцы) — небольшие водные ракообразные, а дефинитивными хозяевами — различные позвоночные животные. Было установлено, что каждому виду свойственно вызывать определенные изменения в поведении амфипод, повышающие вероятность того, что рачок станет жертвой соответствующего дефинитивного хозяина.

Незараженные амфиподы избегают света и редко появляются у поверхности воды озера или пруда. Потребленные, они опускаются на дно и зарываются в ил. Бетел и Холмс показали, что амфиподы, зараженные акантеллами *Polymorphus paradoxus*, идут на свет, а если их вспугнуть, начинают носиться по поверхности воды, прицепляясь иногда к плавающей растительности или другим предметам. Это увеличивает вероятность того, что они станут жертвой хищника, питающегося в поверхностном слое воды, — кряквы, бобра или ондатры, в тонком кишечнике которых *P. paradoxus* достигает взрослого состояния. Рачки, в которых поселился *Polymorphus marilis*, также идут на свет, но не поднимаются к самой поверхности воды; дефинитивными хозяевами этого паразита являются нырковые утки, например малая черныш. Наконец, амфиподы, представляющие «убежище» *Corynosoma constrictum*, идут на свет, но, если их потре-



КОЛЮЧИЙ ХОБОТОК *P. cylindraceus*, погруженный в ткань кишечной стенки скворца. Повреждение, причиняемое паразитом, не так уж велико: оно заметно лишь в радиусе 90 мкм от хоботка, толщина которого примерно 0,25 мм.

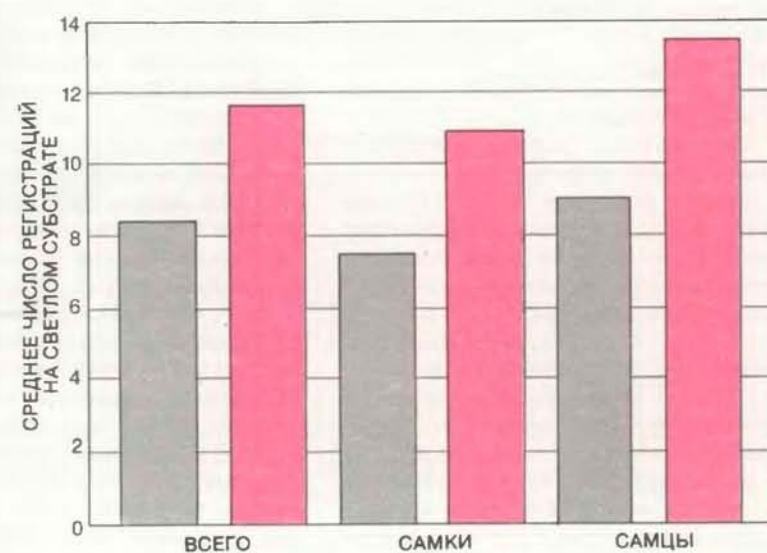
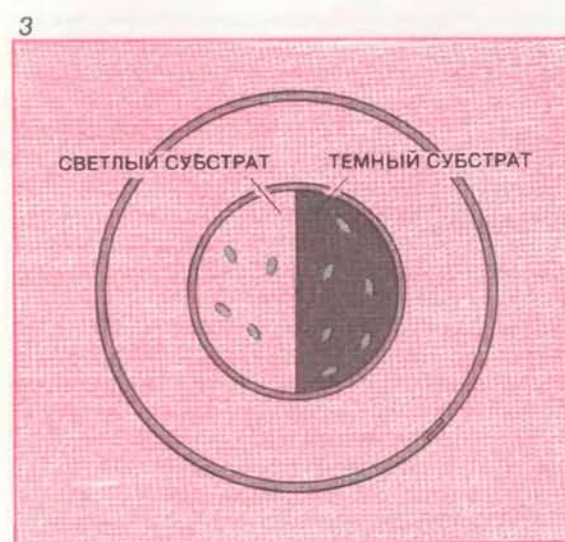
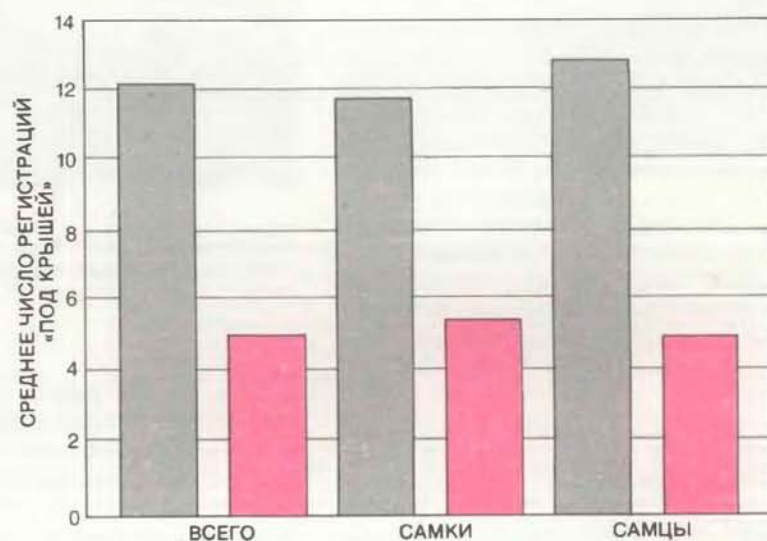
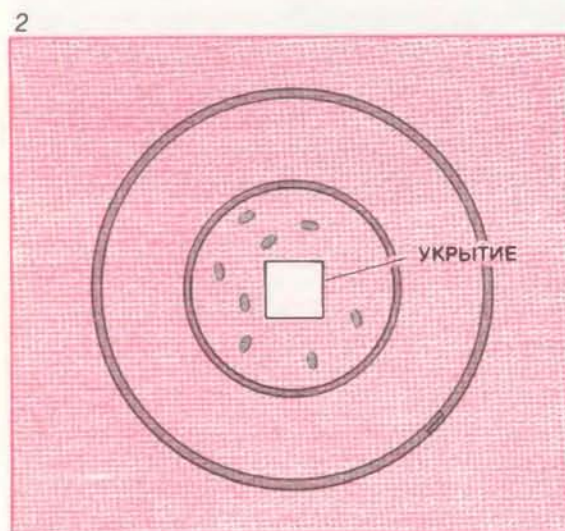
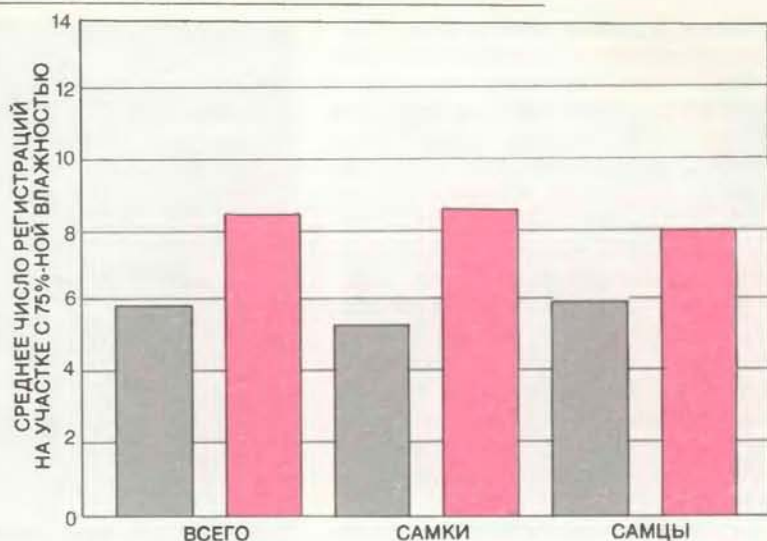
вожить, ныряют в более глубокие слои воды. Дефинитивным хозяином *S. constrictum* могут служить как нырковые, так и питающиеся на поверхности утки.

В опытах, которые Бетел и Холмс провели с кряквами и ондатрами в лаборатории в большом баке с водой, подтвердилось, что наблюдаемые изменения в поведении рачков связаны с особенностями питания позвоночных животных. Кряквы, питающиеся в поверхностном слое воды, съели большое число амфипод, зараженных *P. paradoxus*, меньше, но все-таки довольно много рачков, зараженных *S. constrictum*, и не съели ни одной особи, зараженной *P. marilis*. Ондатры съели много амфипод с *P. paradoxus* и ни одной с *P. marilis*. Исследователи обнаружили при этом, что поведение рачка изменяется, только когда паразит достигает стадии акантеллы, т.е. когда становится возможным заражение позвоночных животных. Если рачок съеден дефинитивным хозяином тогда, когда паразит находится на более ранней стадии развития, последний неизбежно погибнет.

В 1979 г. было установлено, что семь видов скребней из класса Palaeacanthocephala изменяют поведение пяти видов водных ракообразных, среди которых и амфиподы (разноногие рачки) и изоподы (равноногие рачки). С 6 видами паразитов были поставлены опыты в лабораторных условиях, которые

подтвердили, что во всех случаях зараженные ракообразные гораздо чаще становились жертвой позвоночного животного, чем незараженные контрольные особи. Мне хотелось исследовать таким же образом наземных представителей класса Palaeacanthocephala и изучить в природных условиях и в лаборатории, как влияет паразит на взаимоотношения своих хозяев. Я надеялась также выяснить, не развивается ли у хозяина способность избегать паразита: дело в том, что существовало предположение, будто скребни являются причиной заболевания основного хозяина, хотя ни один из изученных раньше видов не был известен как патогенный.

Plagiorhynchus cylindraceus, который упоминался в ряде статей не слишком серьезного характера и даже в некоторых учебниках как паразит, необычайно патогенный для певчих птиц, представлялся именно тем видом, который я искала. Во взрослом состоянии этот гельминт встречается у скворцов, а промежуточным хозяином ему служат наземные изоподы, например обычная мокрица. Были все основания полагать, что *P. cylindraceus* изменяет поведение мокриц. Длина тела у этих изопод составляет 8 мм, а акантелла скребня может достигать почти 3 мм в длину и 1 мм в толщину. Кроме того, как сообщалось ранее Дж. Шмидтом из Университета северного Колорадо, у самок мокриц, зараженных *P. cylindraceus*,



ИЗМЕНЕНИЯ В ПОВЕДЕНИИ МОКРИЦ. Сравнивались мокрицы, зараженные *P. cylindraceus* (цветные столбики), и незараженные особи (серые столбики). Десять мокриц поместили на нейлоновую сетку, натянутую над прозрачной тарелкой, и прикрыли второй такой же тарелкой, так что получилась замкнутая камера. Каждое животное было помечено, чтобы их можно было различать. Мокрицы свободно передвигались по сетке в течение получаса (ежеминутно регистрировалось положение каждой особи). В первом опыте мокрицам предлагалось выбрать между двумя значениями относительной влажности: в одной части камеры

она составляла 98%, а в другой 75% (1). На участке с более низкой влажностью зараженные изоподы находились в среднем 8,5 раза из 30, а незараженные — менее 6 раз из 30. Более явная разница была обнаружена в реакции мокриц на укрытие, роль которого играл приподнятый над сеткой кусок черепицы, он занимал 9,5% площади сетки (2). Незараженные особи прятались «под крышу» более 12 раз из 30, тогда как зараженные — лишь ненамного чаще, чем если бы их перемещение носило случайный характер. Наконец, зараженные животные гораздо чаще регистрировались на светлом субстрате, где они были хорошо заметны (3).

ВИД ПАРАЗИТА	ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ХОЗЯИН	ИЗМЕНЕНИЕ В ПОВЕДЕНИИ	ДЕФИНИТИВНЫЙ ХОЗЯИН
<i>ARCHIACANTHOCEPHALA</i>			
<i>MONILIFORMIS MONILIFORMIS</i>	ТАРАКАН <i>PERIPLANETA AMERICANA</i>	ПОВЫШЕННАЯ АКТИВНОСТЬ; ДВИЖЕТСЯ К СВЕТУ	КРЫСА
<i>PALAEACANTHOCEPHALA</i>			
<i>POLYMORPHUS PARADOXUS</i>	АМФИПОДА <i>GAMMARUS LACUSTRIS</i>	ИДЕТ НА СВЕТ; ЕСЛИ ВСПУГНУТЬ ЦЕПЛЯЕТСЯ К РАСТИТЕЛЬНОС- ТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ	ВИДЫ, ПИТАЮЩИЕСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ (КРЯКВА, ОНДАТРА, БОБЕР)
<i>POLYMORPHUS MARILIS</i>	<i>GAMMARUS LACUSTRIS</i>	ПРЕДПОЧИТАЕТ ОСВЕЩЕННЫЕ УЧАСТКИ, НО НЕ ПОДНИМАЕТСЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ	НЫРКОВЫЕ УТКИ (ЧЕРНЕТЬ)
<i>CORYNOSOMA SONSTRICTUM</i>	АМФИПОДА <i>HYALELLA AZTECA</i>	ИДЕТ НА СВЕТ И К ПОВЕРХНОС- ТИ; НЕКОТОРЫЕ ОСОБИ, ЕСЛИ ИХ ВСПУГНУТЬ, НЕ НЫРЯЮТ	ВИДЫ, ПИТАЮЩИЕСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ, И НЫРКОВЫЕ УТКИ (КРЯКВА И ЧЕРНЕТЬ)
<i>POLYMORPHUS MINUTUS</i>	<i>GAMMARUS LACUSTRIS</i>	ИДЕТ НА СВЕТ	УТКИ, ПИТАЮЩИЕСЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ
<i>PLAGIORHYNCHUS CYLINDRACEUS</i>	МОКРИЦА <i>ARMADILLIDIUM VULGARE</i>	ПРОВОДИТ БОЛЬШЕ ВРЕМЕНИ В УСЛОВИЯХ МЕНЬШЕЙ ВЛАЖ- НОСТИ, ВНЕ УКРЫТИЙ И НА СВЕТОМ СУБСТРАТЕ	ПЕВЧИЕ ПТИЦЫ
<i>POMPHORHYNCHUS LAEVIS</i>	АМФИПОДА <i>GAMMARUS PULEX</i>	ПРОВОДИТ БОЛЬШЕ ВРЕМЕНИ В ТОЛЩЕ ВОДЫ; ИДЕТ НА СВЕТ, ДЕРЖИТСЯ НА РАСТИТЕЛЬНОС- ТИ У ПОВЕРХНОСТИ; ПЛАВАЕТ ПО СПИРАЛИ	РЫБА (ФОРЕЛЬ)
<i>ACANTHOCEPHALUS DIRUS</i>	ВОДНАЯ ИЗОПОДА <i>ASELLUS INTERMEDIUS</i>	БОЛЕЕ АКТИВНА	РЫБА (ГОЛАВЛЬ)
<i>ACANTHOCEPHALUS JACKSONI</i>	ВОДНАЯ ИЗОПОДА <i>LIRCEUS LINEATUS</i>	БОЛЕЕ АКТИВНА; ЧАЩЕ ПРОПОЛ- ЗАЕТ НАД ПРЕПЯТСТВИЯМИ, ЧЕМ ПОД НИМИ	РЫБА
<i>EOACANTHOCEPHALA</i>			
<i>NEOECHINORHYNCHUS CYLINDRATUS</i>	ОСТРАКОДА <i>PHYSOCYPRIA PUSTULOSA</i>	ИДЕТ К ПОВЕРХНОСТИ	РЫБА (ГАМБУЗИЯ)
<i>OSTROSPINIFEROIDES CHANDLERI</i>	ОСТАКОДЫ <i>CYPRIDOPSIS VIDUA</i> И <i>PHYSOCYPRIA PUSTULOSA</i>	ИДЕТ К ПОВЕРХНОСТИ; ПРЕДПО- ЧИТАЕТ ОСВЕЩЕННЫЕ УЧАСТКИ	РЫБА

ОДИННАДЦАТЬ ВИДОВ ACANTHOCEPHALA, в числе которых представители всех трех классов, составляющих этот тип, могут влиять на поведение своих промежуточных хозя-

ев. Оно меняется так, что промежуточный хозяин паразита становится более легкой добычей для питающегося им дефинитивного хозяина.

не развиваются яичники. Наконец, полевые исследования показали, что в некоторых районах, где 40% и более птиц было заражено этим паразитом, *P. cylindraceus* встречался у изопод с частотой менее 1%. Поскольку известно, что для птиц изоподы вовсе не основная часть рациона, эти данные можно было объяснить, лишь допустив, что паразиты каким-то образом повышали привлекательность изопод для птиц.

Чтобы изучать поведение мокриц в лабораторных условиях, я сделала простое приспособление — камеру из двух прозрачных тарелок. В нижнюю тарелку наливали насыщенный раствор соли для создания желаемой относительной

влажности, тарелку покрывали нейлоновой сеткой, по которой мокрицы могли свободно передвигаться, а сверху помещали вверх дном другую тарелку, и место стыка заклеивали водонепроницаемой лентой. Во всех опытах поддерживалась температура 24-25°C.

Мокриц кормили кусочками моркови, на которые предварительно наносили яйца *P. cylindraceus*. Через 3 месяца, в течение которых в мокрицах должны были развиваться акантеллы, я смешала зараженных и контрольных (незараженных) особей. Поскольку в присутствии паразита темная окраска изопод не изменяется, на протяжении всего опыта я не знала, какие животные

заражены гельминтом, а какие нет; это выяснялось только при вскрытии мокриц по окончании наблюдений. Чтобы можно было одновременно следить за несколькими мокрицами, я метила их красками разного цвета. В серии опытов я исследовала влияние заражения *P. cylindraceus* на различные аспекты поведения мокриц: реакции на влажность, наличие укрытия, освещенность и цвет субстрата, на котором они находятся; от этих реакций могла зависеть доступность мокриц для птиц.

СНАЧАЛА я проверила реакцию мокриц на влажность: им была предоставлена возможность выбрать

между двумя значениями относительной влажности — 98 и 75%; эти условия создавались на противоположных сторонах разделенной пополам камеры с помощью разных растворов солей. Стеклопанель перегородка, разделявшая камеру надвое, не прилегала к сетке, так что мокрицы могли свободно передвигаться под ней. Ежеминутно на протяжении получаса регистрировалось положение каждой особи. По сравнению с незараженными мокрицами зараженные изоподы значительно чаще находились на участке с более низкой влажностью.

Обычно, если относительная влажность меньше 98%, мокрицы высыхают и в конце концов погибают. Поскольку зараженные *P. cylindraceus* животные меньше избегали условий пониженной влажности, можно думать, что в присутствии паразита у них либо увеличивается сопротивляемость высыханию, либо ослабляется способность ощущать влажность, либо происходит и то и другое вместе. Механизм, с помощью которого наземные изоподы чувствуют степень влажности, неизвестен, так что невозможно представить себе, как именно паразит может влиять на него. Высказывалось предположение, что зараженные *P. cylindraceus* изоподы лучше переносят сухость воздуха благодаря тому, что каким-то образом уменьшается проницаемость кутикулы ракообразного и организм теряет меньше воды; однако эксперименты, которые я проделала, пытаюсь проверить эту гипотезу, дали неубедительные результаты. Так или иначе, по крайней мере один вывод не вызывает возражений: мокрицы, часто посещающие сухие участки, тем самым проводят больше времени там, где для них выше риск стать жертвой птиц.

Затем я определяла реакцию изопод на наличие укрытия. В центр нейлоновой сетки были поставлены четыре камешка, а на них положен кусочек черепицы; раз в минуту отмечалось местонахождение каждой изоподы. Черепица закрывала 9,5% площади сетки, и если бы передвижение мокриц было чисто случайным, то каждая мокрица примерно в 3 случаях из 30 находилась бы в укрытии. Незараженные мокрицы заползали под «крышу» гораздо чаще — напрашивался вывод, что они предпочитают укрытие. Зараженные животные вели себя совершенно иначе: они явно игнорировали убежище. Физиологический механизм, лежащий в основе этого явления, опять же неизвестен. Удивительно здесь то, что происшедший под влиянием паразита сдвиг в поведении, по-видимому, никак не связан с изменением реакции на свет: в специальном опыте, когда половину камеры затемняли и мокрицы могли свободно перемещаться, не было установлено разницы между зараженными

и незараженными особями. Каков бы ни был неизвестный нам механизм, совершенно очевидно, что для успешного избегания хищников реакция мокриц на укрытие не может носить случайный характер.

В третьей серии опытов я исследовала реакцию мокриц на цвет субстрата. В отличие от некоторых своих водных родственников наземные изоподы, зараженные паразитом, имеют нормальную окраску. Однако, заставив их предпочитать субстрат иного цвета, можно сделать их столь же бросающимися в глаза, как и изменив окраску покровов. Так, например, темная мокрица гораздо лучше видна на асфальте, чем на земле. Для того чтобы создать подобную альтернативу в лаборатории, я на одной стороне тарелки положила черный гравий, а на другой — белый. Результаты получились совершенно однозначные: зараженные особи регистрировались на белом гравии намного чаще, чем незараженные. Поскольку сухой субстрат часто выглядит светлее, чем мокрый, реакции на влажность и цвет субстрата могут взаимно усиливать друг друга.

ТАКИМ образом, эксперименты в условиях лаборатории показали, что *P. cylindraceus* изменяет поведение мокриц, повышая вероятность того, что их заметят птицы: зараженное животное проводит больше времени вне укрытия и на светлом субстрате. Теперь предстояло выяснить, повышаются ли при этом шансы паразита попасть в организм скворца.

Ответить на поставленный вопрос можно было бы, наблюдая за взрослыми птицами в природных условиях с последующим их отловом и вскрытием. Однако осуществить это на практике довольно трудно, и я решила работать с более «послушными» объектами — птенцами. В эксперименте мне помогал Д. Белл и М. Фрилинг. На территории Университета Нью-Мексико были развешены скворечники. Когда появились птенцы, мы обвязали каждому шейку тонкой проволокой так, что он не мог глотать пищу, но не слишком плотно, чтобы не задушить; в таком положении птенец находился не более двух часов. Собрав принесенную за это время родителями пищу, я, во-первых, оценила частоту отлова мокриц взрослыми скворцами: они приносили в гнездо примерно по одной особи каждые 10 часов, а во-вторых, узнала в точности весь рацион птенцов и установила, что мокрицы были единственным источником *P. cylindraceus*. Одновременно вокруг скворечников, т.е. там, где взрослые птицы находили корм, мы собрали 250 мокриц и определили степень их пораженности паразитами. Как выяснилось, примерно 0,4% особей в данной попу-

ляции было заражено личинками *P. cylindraceus*.

При вскрытии птенцов (всего было вскрыто 22 молодых скворца) я обнаружила, что 7 из них, т.е. около трети от общего числа, содержали как минимум одну личинку паразита. Зная степень пораженности популяции мокриц паразитом, частоту отлова мокриц взрослыми скворцами и учитывая тот факт, что вскрытые птенцы были не старше 18 дней, можно подсчитать, что, если бы скворцы собирали корм случайным образом, заражено было бы вдвое меньше птенцов, чем оказалось на самом деле. Значит, поведение зараженных мокриц было таким, что они сделались более привлекательной для скворцов жертвой — это и нарушило случайный характер собранного птицами корма. На самом деле взрослые скворцы приносили птенцам мокриц даже реже, чем каждые 10 часов, а большинство вскрытых птенцов были моложе 18 дней. Если бы я пользовалась при подсчетах не максимальными, а средними значениями этих показателей, то степень передачи паразита при случайном сборе корма была бы еще ниже. В то же время она получилась бы выше, если бы зараженность птенцов оценивалась по фактическому числу паразитов в каждом из них, а не просто по их наличию или отсутствию. Таким образом, моя оценка дает минимальную разницу между наблюдаемым показателем передачи и рассчитанным при условии случайного сбора корма, а реальное влияние паразита на поедание мокриц скворцами намного сильнее.

Сходные результаты были получены в трех проведенных один за другим полевых опытах, в ходе которых было вскрыто 96 птенцов и 3 тыс. мокриц. Чтобы подкрепить сделанные на этом основании выводы, я провела еще и лабораторный эксперимент, в котором непосредственно наблюдала за реакцией скворцов на изменившееся поведение зараженных мокриц. Дно специального контейнера было наполовину покрыто влажным черным песком, а наполовину — более сухим белым. В контейнер поместили поровну зараженных и незараженных *P. cylindraceus* мокриц. Дав возможность мокрицам свободно передвигаться на протяжении ночи, утром в контейнер впустили скворца. Наблюдение за ним продолжалось до тех пор, пока он не съел примерно 50% мокриц. Черные мокрицы были очень хорошо заметны на фоне белого песка. Естественно, что именно здесь птица их и клевала, неизбежно поглощая значительно больше зараженных мокриц. Опыт повторили несколько раз с тем же результатом.

ТОТ — теперь уже можно считать, установленный — факт, что *P. cylindraceus* существенно увеличивает веро-

ятность передачи самого себя от моксицы к скворцу, выдвигает следующий интересный вопрос: если верно предположение, что паразит патогенен для своего хозяина, то почему же скворцы все-таки поедают зараженных моксиц и скормливают их своему потомству? Может быть, птицы не отличаются зараженных особей от незараженных (ведь для человека те и другие выглядят одинаково)? Но тогда почему скворцы вообще не исключили моксиц из своего рациона, тем более что они обычно составляют лишь незначительную его часть. Ответ, мне кажется, заключается в следующем: хотя не исключено, что *P. cylindraceus* оказывает некоторый неблагоприятный эффект на отдельных птиц, этот паразит вовсе не является патогенным вопреки сообщениям некоторых авторов.

Общепринятым показателем болезненного состояния особи служит потеря ею веса. Я же не нашла связи между весом птицы и присутствием (и числом) в них скребней ни у осмотренных мной птенцов, ни у 103 взрослых скворцов, пойманных в ловушки. Более того, при исследовании ткани зараженных птиц под микроскопом следы поражения обнаруживались не далее чем в радиусе 90 мкм от хоботка скребня. Если паразит вызывает болезнь лишь изредка у отдельных птиц или если вызываемый им неблагоприятный эффект, как правило, невелик, то, может быть, скворцам нет смысла отказываться от питания моксицами? А если учесть, что изменившееся поведение делает зараженных моксиц еще и более доступной жертвой, то высокая пораженность скворцов *P. cylindraceus* вовсе не удивительна.

Конечно же, моксица платит более высокую цену за то, что предоставляет убежище паразиту. Во-первых, повышается вероятность стать жертвой птиц, а во-вторых, у самки, зараженной *P. cylindraceus*, не развиваются яичники, и она не оставляет потомства. Низкую зараженность природных популяций моксиц *P. cylindraceus* можно было бы объяснить тем, что изоподы избегают паразита, если бы не то простое соотношение, что зараженных моксиц птицы уничтожают в первую очередь. Для того чтобы определить, избегают ли моксицы, особенно самки, поесть яйца скребней, я поставила специальный опыт. Группе из 26 моксиц были предъявлены на выбор две порции высушенных (и взвешенных) птичьих экскрементов: одна порция была покрыта водной суспензией яиц *P. cylindraceus*, а другая просто смочена водой. Через неделю несъеденные остатки высушили и взвесили. Можно говорить о некоторой тенденции к избеганию «зараженных» экскрементов, но результаты не были статистически достоверны. Во всяком случае, эта тенденция не столь

существенна, чтобы иметь ощутимый эффект. По-видимому, моксицы, как и прочие всеядные животные, не способны быть слишком разборчивыми в пище. Возможно даже, что преимущество, которое дает питание птичьими экскрементами, богатыми питательными веществами, перевешивает риск стать жертвой птиц.

ИЗМЕНЯТЬ поведение хозяина способны не только представители класса Palaeacanthocephala вроде *P. cylindraceus*; это явление наблюдается и у двух других классов скребней. Д. Монт и К. Коркум из Университета шт. Луизиана показали недавно, что оно свойственно двум видам из класса Eoacanthocephala, которые достигают зрелого состояния в рыбах, а в качестве промежуточных хозяев используют живущих в воде остракод, или ракушковых рачков. Эти паразиты делают остракод более уязвимыми, по-видимому, путем усиления у них положительного фототаксиса.

Тараканы, зараженные *Moniliformis moniliformis*, представителем третьего класса скребней Archiacanthocephala, также идут на свет. Более того, они отличаются повышенной активностью; это мне удалось установить с помощью специального приспособления, регистрирующего частоту движений. Такие особо активные тараканы, к тому же привлекаемые светом, вряд ли остаются в укрытии, и соответственно велика вероятность того, что их поймут крысы — дефинитивные хозяева *M. moniliformis*.

Вообще говоря, влияние скребней и других паразитов на поведение своих хозяев вовсе не такое уж мистическое явление, как может показаться с первого взгляда. Паразиты не индуцируют каких-то новых типов поведения, не присущих данному животному, а просто вызывают те или иные нормальные по сути реакции в неподходящее для животного время. Тем не менее это, конечно же, удивительное приспособление, физиология которого пока что непонятна. Объяснение того, как скребням удается, находясь в полости тела хозяина, влиять на его поведение, еще ждет своего часа.

Представление о том, что паразиты могут изменять поведение своих хозяев, приводит к некоторым интересным соображениям. Биологи, изучающие животных в природе, должны принимать во внимание возможность того, что наблюдаемое поведение на самом деле «фальшивое». Паразиты, вероятно, влияют на эволюцию своих хозяев точно так же, как многие хищники влияют на эволюцию их жертв. Хотя в случае *P. cylindraceus* этот феномен неочевиден, истинно патогенный паразитический организм вынудил бы хозяина искать способов избежать паразита

или выработать резистентность к его патогенному действию. Особи животного-хозяина, обладавшие такими способностями, получили бы преимущества над другими представителями своего вида. У. Хамилтон и М. Зак из Мичиганского университета высказали недавно предположение, что у певчих птиц устойчивость к паразитарным болезням находит свое отражение во внешнем виде и в поведении при уходе за птенцами, возможно, влияя на выбор «супруга». Чтобы выяснить, так ли это, необходимы дальнейшие исследования. Но сам факт, что подобные работы уже ведутся, говорит о том, что биологи начали осознавать, до какой степени паразиты могут влиять на поведение других организмов.

Издательство МИР предлагает:

**И. Костов,
И. Минчева-Стефанова**
**СУЛЬФИДНЫЕ
МИНЕРАЛЫ.**
**Кристаллохимия,
парагенезис и
систематика**

Перевод с английского

Новая книга известного болгарского минералога академика И. Костова и И. Минчевой-Стефановой посвящена важному классу минералов — сульфидам и их аналогам (арсенидам, селенидам, теллуридам и т.п.). Детально рассмотрены кристаллохимические особенности сульфидов, изложены оригинальные представления об их образовании и ассоциациях и на этой основе предложена классификация сульфидов. Табличное приложение к книге содержит важнейшие химические и кристаллохимические данные 515 минеральных видов.

Для минералогов, геохимиков, кристаллохимиков, специалистов по изучению рудных месторождений, технологии минерального сырья, преподавателей, аспирантов и студентов геологических вузов.

1984 г., 19 л.
Цена 3 р. 15 к.



Раздувающаяся Вселенная

Согласно новой космологической теории,
наблюдаемая Вселенная вкраплена
в гораздо более протяженную область пространства.
Эта область за доли секунды после начала расширения
из сингулярного состояния претерпела
грандиозное увеличение размеров

АЛАН Г.ГУТ, ПОЛ ДЖ. СТЕЙНХАРДТ

В ПОСЛЕДНИЕ годы для преодоления некоторых недостатков стандартной космологической модели — теории расширяющейся Вселенной — была разработана новая модель ранних стадий эволюции Вселенной. Эта модель, называемая раздувающейся Вселенной, точно совпадает с общепринятым описанием наблюдаемого мира начиная с 10^{-30} с после начала расширения (иногда называемого «Большим взрывом»). Но в первую крошечную долю секунды эти две модели сильно различаются. Согласно модели раздувающейся Вселенной, в ее эволюции была кратковременная «инфляционная фаза» (фаза раздувания) — чрезвычайно быстрое расширение, при котором диаметр Вселенной увеличился в 10^{30} раз больше, чем предполагалось. В ходе этого грандиозного «спурта» все вещество и вся энергия могли образоваться практически «из ничего». Последствия процесса раздувания играют также важную роль для современной Вселенной: если новая модель верна, то наблюдаемая Вселенная — это всего лишь очень небольшая доля Вселенной в целом.

Модели раздувающейся Вселенной присущи многие свойства стандартной космологической модели. Согласно обеим моделям, расширение Вселенной началось 10—15 млрд. лет назад из сингулярного — сверхгорячего и сверхплотного — состояния и продолжается поныне, сопровождаясь охлаждением. Эта картина успешно объяснила многие свойства наблюдаемой Вселенной, такие, как красное смещение в спектрах далеких галактик, микроволновое фоновое (реликтовое) излучение и первоначальное содержание легких элементов. Все эти предсказания связаны только с теми событиями, которые, вероятно, имели место не менее чем через секунду после начала расширения (т.е. когда обе модели совпадают).

До недавнего времени не делалось никаких попыток описать Вселенную в первую секунду после ее рождения. Считается, что температура в тот пе-

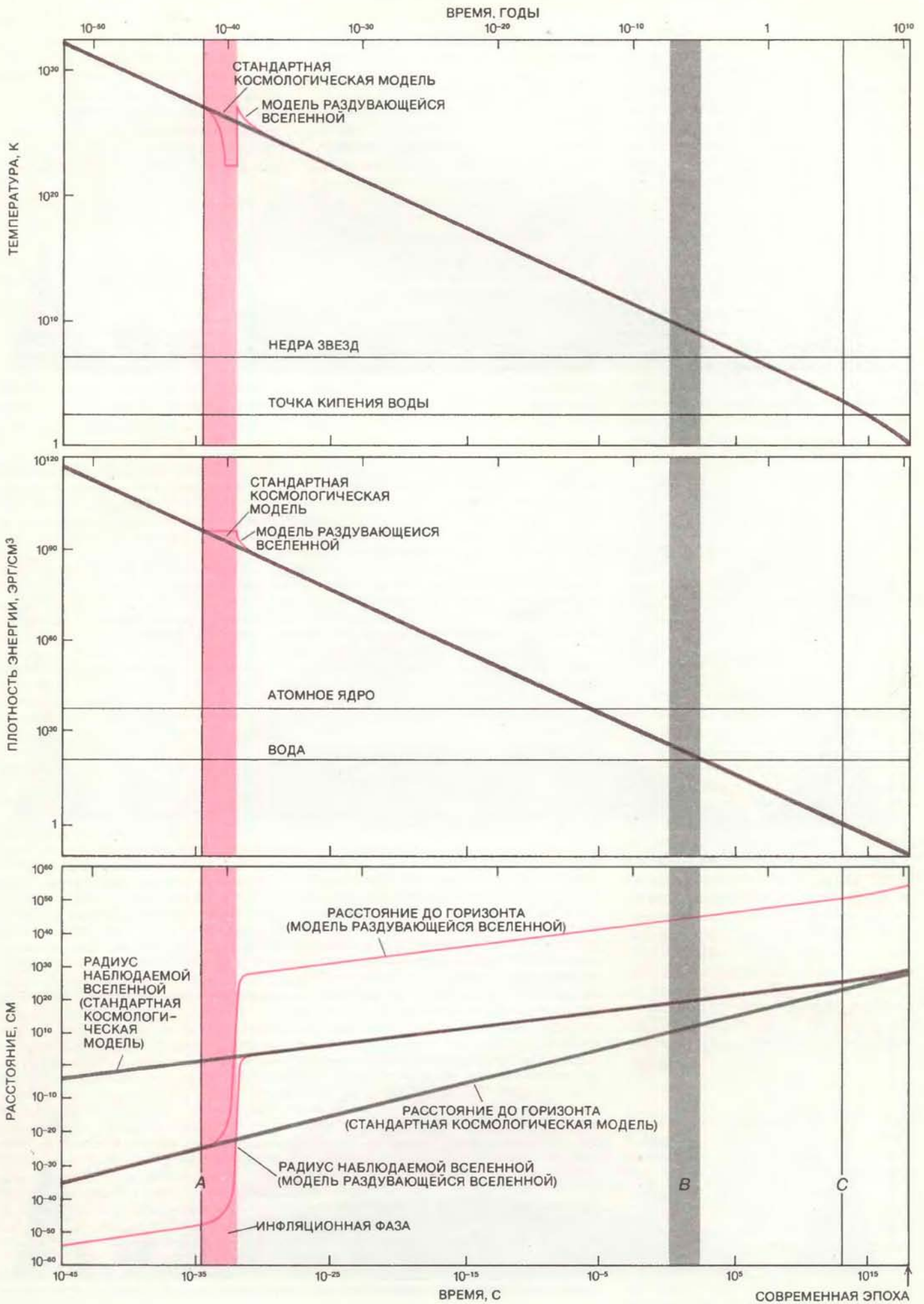
риод превышала 10 млрд. кельвинов; о свойствах вещества в таких условиях известно крайне мало. Исходя из последних достижений физики элементарных частиц, космологи пытаются понять эволюцию Вселенной начиная с 10^{-45} с после начала расширения. (Еще раньше плотность энергии была настолько велика, что вместо общей теории относительности Эйнштейна следует использовать квантовую теорию гравитации, которая пока еще не разработана окончательно.) При экстраполяции стандартной космологической модели на столь раннюю эпоху возникают различные проблемы. Прежде всего стало ясно, что в этой модели требуется постулировать ряд предположений о начальных условиях во Вселенной. К тому же из большинства новых теорий элементарных частиц следует, что стандартная космологическая модель должна привести к огромному «перепроизводству» экзотических частиц, назы-

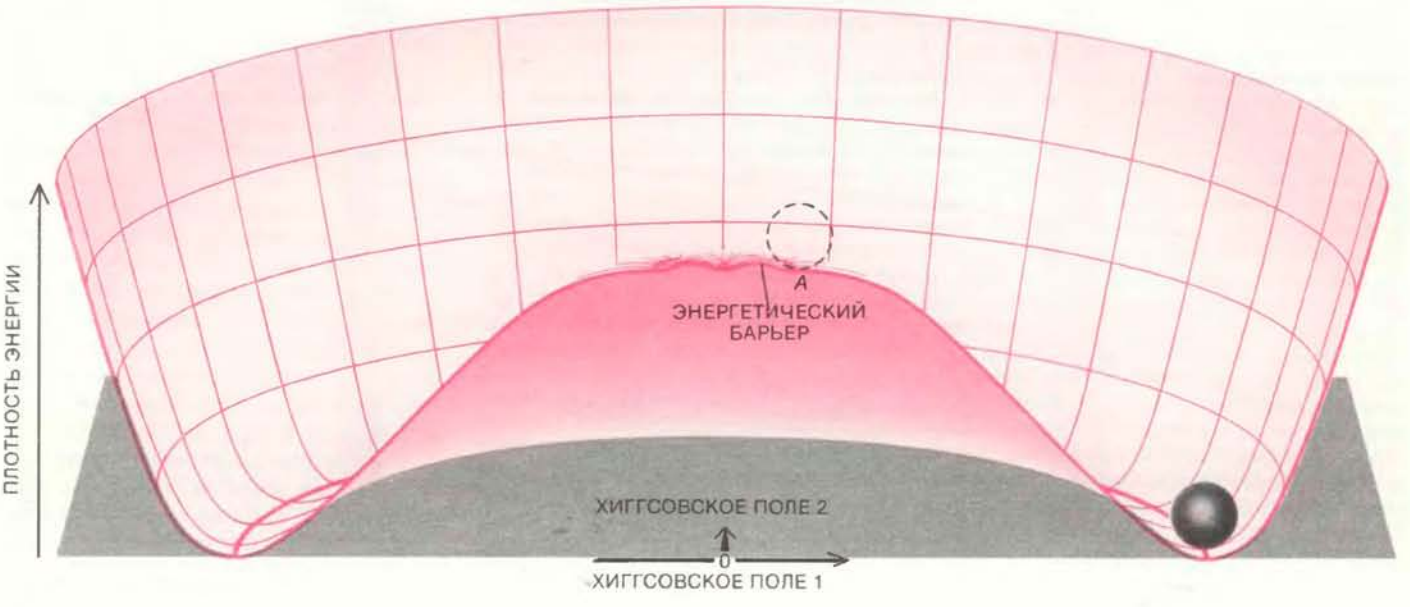
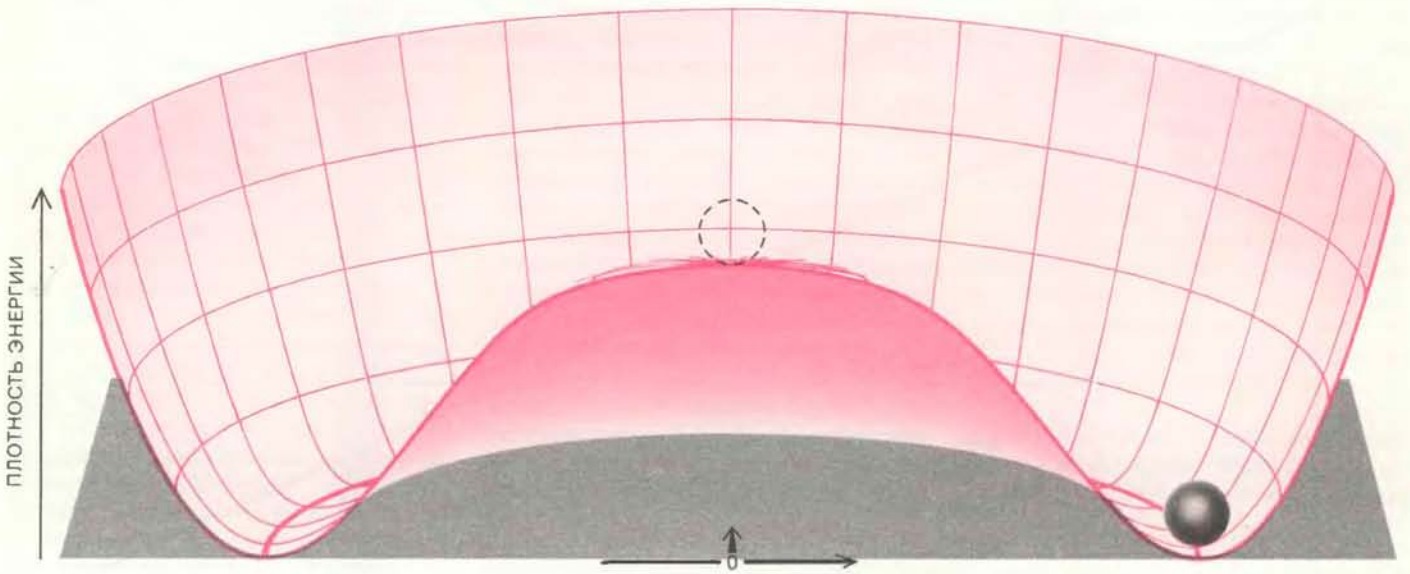
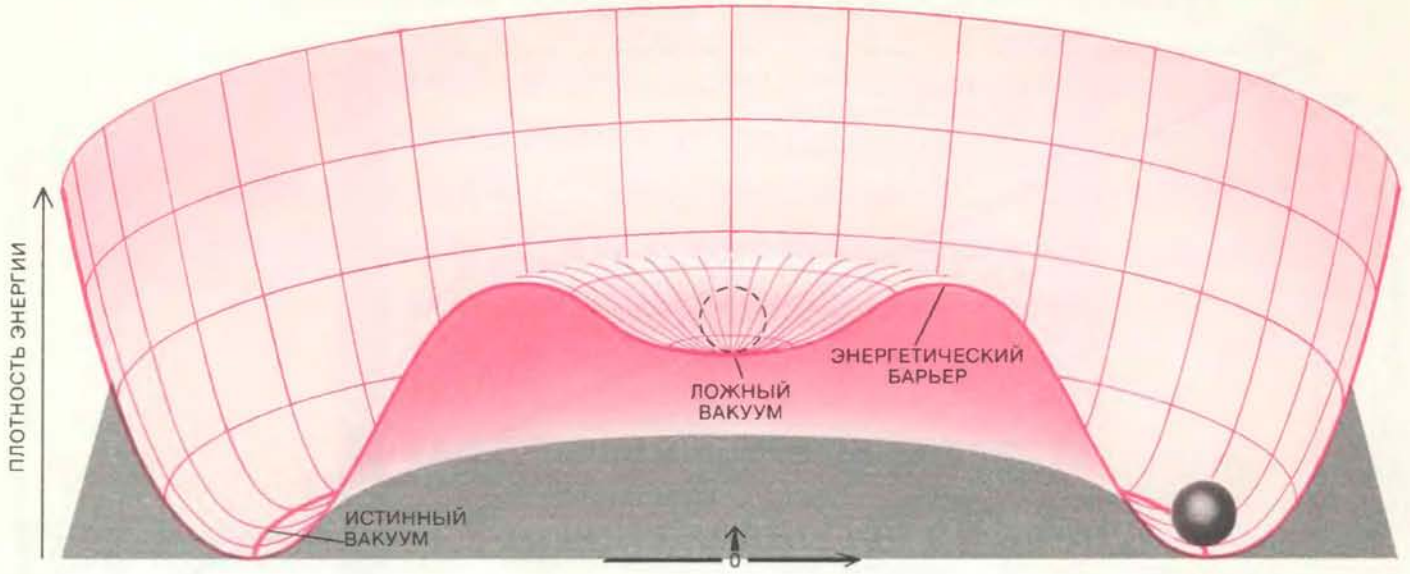
ваемых магнитными монополями.

Модель раздувающейся Вселенной была разработана именно для того, чтобы преодолеть эти трудности. Уравнения, описывающие инфляционную фазу, имеют одно очень привлекательное свойство: практически при любых начальных условиях Вселенная эволюционирует как раз в то состояние, которое следовало бы принять за начальное в стандартной космологической модели. Кроме того, предсказываемая концентрация магнитных монополей становится достаточно малой, чтобы согласовываться с наблюдениями. В рамках достижений теории элементарных частиц модель раздувающейся Вселенной, видимо, позволяет решить многие проблемы стандартной космологической модели.

СТАНДАРТНАЯ модель расширяющейся Вселенной основана на нескольких предположениях. Прежде

МОДЕЛЬ РАЗДУВАЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ представлена цветными кривыми на графиках, показывающих, как некоторые свойства наблюдаемой Вселенной могли изменяться во времени начиная с 10^{-45} с после Большого взрыва. *Серые кривые* соответствуют стандартной космологической модели, которая начиная с момента 10^{-30} с совпадает с моделью раздувающейся Вселенной. Для сравнения на кривой температуры (*вверху*) отмечены также точка кипения воды (373 К) и температура в центре типичной звезды (10^6 К). На графике плотности энергии (*в середине*) указана плотность энергии для воды (10^{21} эрг/см³) и для атомного ядра (10^{36} эрг/см³). *Внизу* двумя кривыми представлена эволюция масштабов в каждой космологической модели: одна кривая показывает область пространства, которая в ходе эволюции превращается в наблюдаемую Вселенную, другая — расстояние до горизонта, т.е. полное расстояние, которое успел пройти световой сигнал за время расширения Вселенной. Одна из проблем стандартной космологической модели — проблема горизонта — связана с тем, что расстояние до горизонта меньше радиуса наблюдаемой Вселенной на протяжении большей части ее эволюции. В раздувающейся Вселенной расстояние до горизонта значительно превышает радиус наблюдаемого мира. На оси времени отмечено несколько важных событий. Точка А указывает момент фазового перехода, предсказываемого в стандартной космологической модели теориями великого объединения. При высоких температурах, господствовавших до этого момента, различные негравитационные взаимодействия между частицами объединились симметрией, которая спонтанно нарушилась, когда температура упала до критического значения — около 10^{27} К. Особенностью модели раздувающейся Вселенной является затянутый фазовый переход, который охватывает период, называемый инфляционной фазой (*цветная полоса*). В течение этой фазы Вселенная подверглась грандиозному расширению, возможно в 10^{50} раз (или более). При этом температура падает, но вследствие квантовых эффектов в рамках общей теории относительности она стабилизируется при 10^{22} К. Серая полоса В — период образования легких ядер, С — время, когда Вселенная стала прозрачной для излучения.





всего принимается, что фундаментальные законы физики не меняются во времени и что эффекты гравитации описываются общей теорией относительности Эйнштейна. Далее предполагается, что на ранних стадиях эволюции Вселенная была заполнена в высшей степени однородным расширяющимся очень горячим газом элементарных частиц, находящихся в тепловом равновесии. Этот газ заполнял все пространство и расширялся вместе с ним. При усреднении по большим областям распределение плотности вещества и энергии в ходе эволюции Вселенной оставалось почти однородным. Кроме того, считается, что любые изменения состояния вещества и излучения происходили настолько медленно, что их влиянием на «термодинамическую историю» Вселенной можно пренебречь. Отказ от этого предположения и является ключом к модели раздувающейся Вселенной.

Модель расширяющейся Вселенной ведет к трем важным предсказаниям, которые можно проверить путем наблюдений. Во-первых, согласно этой модели, по мере расширения Вселенной галактики удаляются друг от друга со скоростью, пропорциональной расстоянию между ними. Именно такой закон расширения открыл в 20-х годах Эдвин Хаббл на основе своих наблюдений красных смещений далеких галактик. Во-вторых, модель расширяющейся Вселенной предсказывает существование микроволнового фонового излучения, пронизывающего всю Вселенную и являющегося «реликтовым остатком» ее сверхгорячего состояния в начале расширения. Спустя несколько сотен тысяч лет после начала расширения Вселенная стала прозрачной для излучения. С тех пор в результате сжатия вещества образовались звезды, галактики и т.д., но излу-

чение продолжало расширяться, подвергаясь красному смещению и охлаждаясь. В 1964 г. А. Пензиас и Р. Уилсон из Bell Telephone Laboratories открыли изотропное микроволновое фоновое излучение с эффективной температурой около 3 К. В-третьих, модель успешно предсказывает образование легких химических элементов из протонов и нейтронов в первую минуту после начала расширения. Таким путем успешно предсказываются наблюдаемые распространенности гелия-4, дейтерия, гелия-3 и лития-7. (Полагают, что более тяжелые ядра образовались гораздо позднее в недрах звезд.)

Итак, теория расширяющейся Вселенной успешно объясняет события, происшедшие через секунду (или более) после начала расширения, но при описании более ранних этапов ее эволюции возникает немало проблем. Ряд вопросов относится также к особым условиям, которые необходимо постулировать на ранних этапах расширения Вселенной.

ПЛОТНОСТЬ ЭНЕРГИИ ВСЕЛЕННОЙ представлена на трехмерных диаграммах как функция двух хиггсовских полей. Эти поля принадлежат к специальному набору полей, введенных в теории великого объединения для объяснения спонтанного нарушения симметрии. Каждая поверхность, показанная в поперечном сечении, симметрична относительно вертикальной оси, соответствующей состоянию, в котором значения обоих полей равны нулю. В отсутствие тепловых возмущений это состояние с ненарушенной симметрией, называемое ложным вакуумом, имело бы плотность энергии около 10^{95} эрг/см³, или в 10^{59} раз больше плотности энергии атомного ядра. Как только одно (или оба) хиггсовское поле приобретает отличное от нуля значение, осевая симметрия нарушается. Теория сформулирована так, что состояния с самой низкой плотностью энергии — истинный вакуум — являются состояниями с нарушенной симметрией, образующими окружность на горизонтальной плоскости в основании каждой диаграммы. Можно провести аналогию между эволюцией Вселенной и шариком, скатывающимся по этой поверхности плотности энергии. Смещение шарика по радиусу определяет комбинированное значение хиггсовских полей, а его высота над горизонтальной поверхностью — плотность энергии Вселенной. Когда значения обоих хиггсовских полей равны нулю, шарик находится на оси симметрии. Когда хиггсовские поля соответствуют минимальной возможной плотности энергии, шарик находится в желобе, который определяет состояние с нарушенной симметрией, или истинный вакуум. В первоначальном варианте модели раздувающейся Вселенной принималось, что функция плотности энергии имеет форму, показанную на диаграмме *вверху*. В этом случае инфляционная фаза будет иметь место, когда Вселенная находится в состоянии ложного вакуума. Если применимы законы классической физики, то это состояние будет абсолютно устойчивым из-за отсутствия энергии, необходимой для преодоления энергетического барьера хиггсовскими полями. Однако, согласно законам квантовой физики, поля в малой области пространства способны «просачиваться» через энергетический барьер, образуя «пузырьки» фазы с нарушенной симметрией, которые затем начинают увеличиваться. В новой модели раздувающейся Вселенной (*в середине*) энергетический барьер отсутствует; ложный вакуум соответствует вершине довольно плоского плато. При этих условиях переход от ложного вакуума к фазе с нарушенной симметрией происходит путем механизма типа медленного скатывания. Хиггсовские поля выводятся из нулевого состояния в результате тепловых или квантовых флуктуаций и достигают истинного вакуума посредством перехода, подобного скатыванию шарика с поверхности рассматриваемой формы. На ранних стадиях скатывания происходит ускоренное расширение Вселенной, причем плотность энергии остается примерно постоянной. Отдельный домен фазы с нарушенной симметрией может достичь размеров, достаточных, чтобы вместить всю наблюдаемую Вселенную. Когда хиггсовские поля достигают «дна желоба», они осциллируют относительно минимального значения плотности энергии, приводя к повторному разогреву Вселенной. В новой модели раздувающейся Вселенной (*внизу*) ложный вакуум окружен низким энергетическим барьером. Как и в первоначальном варианте этой модели, ложный вакуум распадается на случайно возникшие «пузырьки» в результате «просачивания» хиггсовских полей через энергетический барьер. Поскольку в этом случае энергетический барьер невелик, хиггсовские поля вынуждены «просачиваться» только за пределы области, отмеченной кружком А. Вблизи А наклон плато очень мал, поэтому хиггсовские поля очень медленно эволюционируют к состоянию истинного вакуума. До тех пор пока хиггсовские поля остаются вблизи области А, Вселенная расширяется очень быстро и отдельный «пузырек» может приобрести размеры, достаточные для того, чтобы вместить всю наблюдаемую Вселенную.

Так, в рамках стандартной модели трудно объяснить крупномасштабную однородность наблюдаемой Вселенной, которая прежде всего проявляется в изотропии реликтового излучения, характеризующейся постоянной температурой на небесной сфере с точностью до 1/10000. Согласно стандартной космологической модели, Вселенная эволюционирует слишком быстро, чтобы необходимая однородность установилась в процессе приближения системы к термодинамическому равновесию. Дело в том, что никакая информация и никакой физический процесс не могут распространяться быстрее светового сигнала. В любой данный момент времени существует максимальное расстояние, называемое горизонтом, на которое успел распространиться световой сигнал за время от начала расширения Вселенной. В стандартной космологической модели расстояние между источниками реликтового излучения, находящимися в противоположных направлениях на небесной сфере, в 90 раз превышало расстояние до горизонта в тот момент, когда излучение было испущено. Поскольку эти области не могли быть причинно связаны, трудно понять, каким образом в них могли установиться почти одинаковые условия.

ПОЧЕМУ Вселенная кажется однородной на больших масштабах, сравнимых с расстоянием до горизонта? Эта загадка называется проблемой горизонта. Это не есть подлинное противоречие стандартной космологической модели: если принять однородность в качестве начального условия, то Вселенная в ходе эволюции будет оставаться однородной. Проблема состоит в том, что одна из наиболее оче-

видных особенностей наблюдаемой Вселенной — однородность на больших масштабах — не поддается объяснению в рамках стандартной космологической модели; ее приходится принимать в качестве начального условия.

Кроме того, в теории расширяющейся Вселенной требуется еще одно предположение для объяснения неоднородности на малых масштабах. Чтобы объяснить сгущение вещества в галактики, скопления галактик, сверхскопления скоплений и т.д., задание спектра первичных неоднородностей также следует включить в начальные условия. Тот факт, что спектр неоднородностей не имеет объяснения, сам по себе является недостатком, но задача усложняется еще в большей степени при экстраполяции модели назад во времени — на эпоху более раннюю, чем 10^{-45} с после начала расширения. Зародившиеся неоднородности вещества быстро развиваются во времени под действием самогравитации, и поэтому модель, эволюция которой начинается в самую раннюю эпоху, должна содержать только очень небольшие неоднородности. К моменту 10^{-45} с вещество должно быть в особом состоянии необычайно высокой, но не идеальной однородности. Обычный газ в тепловом равновесии слишком неоднороден из-за хаотического движения частиц.

Эта особенность начального состояния вещества, требуемая в стандартной космологической модели, называется проблемой сглаживания.

Еще одно «слабое место» стандартной космологической модели связано с плотностью энергии во Вселенной. Согласно общей теории относительности, пространство может быть искривлено, причем тип кривизны зависит от плотности. Если плотность энергии превышает некоторое критическое значение, определяемое темпом расширения, то говорят, что Вселенная замкнута: пространство замкнуто само на себя и образует конечный объем, не имеющий границ. (Известная аналогия — поверхность сферы, площадь которой конечна, а граница отсутствует.) Если плотность энергии меньше критической, то Вселенная открыта: пространство искривлено, но не замыкается само на себя и его объем бесконечен. При плотности, точно равной критической, Вселенная плоская: геометрия пространства евклидова (а объем бесконечен).

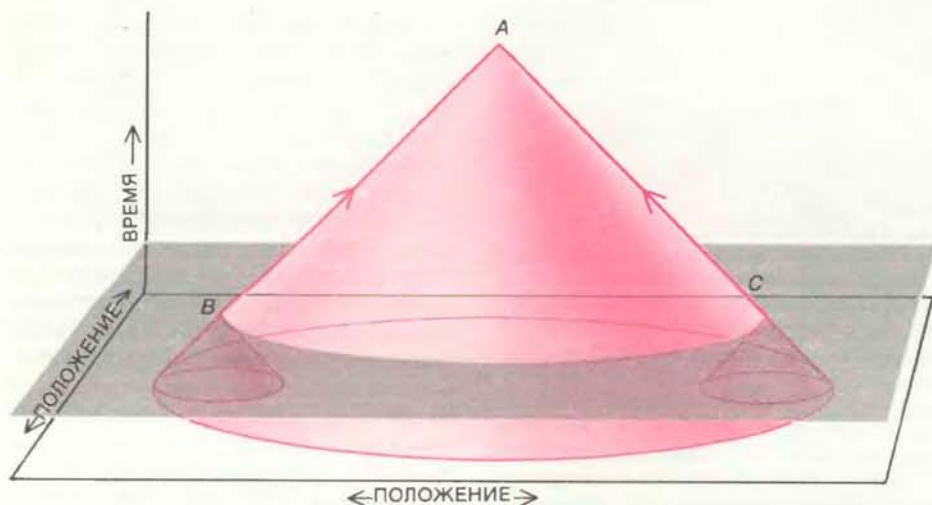
Отношение плотности Вселенной к критической плотности космологи обозначают греческой буквой Ω (омега) и называют параметром плотности. Значение $\Omega = 1$ (плоская Вселенная) соответствует состоянию неустойчивого равновесия. Если Ω точно равно 1, то это равенство сохранится навсегда. Ес-

ли же сразу после начала расширения Ω слегка отличалось от 1, то это отклонение быстро бы росло со временем. С учетом такой неустойчивости вызывает удивление тот факт, что по современным данным значение Ω лежит в диапазоне от 0,1 до 2. (Космологи еще не установили окончательно, является ли Вселенная открытой, замкнутой или плоской.) Чтобы значение Ω попало сегодня в столь узкий диапазон, через секунду после начала расширения оно должно было равняться 1 с точностью $1 : 10^{15}$. Стандартная космологическая модель не дает никакого объяснения этому факту, а принимает его как начальное условие. На этот ее недостаток, называемый проблемой кривизны, впервые указали Р. Дикке и Ф. Пиблс из Принстонского университета.

ПРЕИМУЩЕСТВА и недостатки модели расширяющейся Вселенной, рассмотренные выше, тесно связаны с такими областями науки, как космология, астрофизика и ядерная физика. Однако если экстраполировать эту модель назад во времени, то в конце концов мы достигнем эпохи, для описания которой необходим новый подход. В тот период все вещество состояло из отдельных элементарных частиц, поэтому космологи обратились к последним достижениям физики элементарных частиц для его описания. Одним из важнейших достижений минувшего десятилетия было объединение некоторых проблем физики элементарных частиц, астрофизики и космологии.

По-видимому, наиболее важным достижением теории элементарных частиц за прошедшее десятилетие стала разработка теорий великого объединения, прототип которых был предложен в 1974 г. Г. Джорджи и Ш. Глешоу из Гарвардского университета. Эти теории трудно проверить экспериментально, поскольку их наиболее специфические предсказания относятся к энергиям, сильно превосходящим энергии, которых можно достичь на современных ускорителях элементарных частиц. Тем не менее некоторые экспериментальные подтверждения есть, и в этих теориях объединение взаимодействий элементарных частиц проводится настолько элегантно способом, что многие физики считают их чрезвычайно интересными.

Основная идея теорий великого объединения состоит в том, что взаимодействия трех типов — сильное, слабое и электромагнитное, — которые ранее считались независимыми, являются различными проявлениями единого взаимодействия и объединены симметрией. Поскольку проявления этих взаимодействий очень различны по силе и по характеру, теории великого объединения строятся так, что в современной



ПРОБЛЕМА ГОРИЗОНТА — серьезный недостаток стандартной космологической модели. На этой трехмерной пространственно-временной диаграмме шкалы нелинейны, поэтому траектория светового сигнала представляется линией, составляющей угол 45° с вертикальной осью. Наше положение в пространстве-времени отмечено буквой А. Поскольку ни один сигнал не может распространяться быстрее света, мы можем принять сигнал только из окрашенной области, называемой световым конусом прошлого. События, происходящие за пределами конуса прошлого для данной точки, не могут оказать никакого влияния на события в этой точке. Горизонтальная плоскость (серого цвета) — эпоха генерации реликтового излучения. Излучение, которое сегодня приходит к нам с противоположных направлений, распространялось из точек В и С в световом конусе прошлого к точке А. Световые конусы точек В и С не пересекаются, и поэтому точки В и С не оказывают друг на друга взаимного влияния. Проблема горизонта сводится к вопросу о том, почему излучение, приходящее с двух противоположных направлений, имеет одинаковую температуру. В стандартной космологической модели крупномасштабная изотропия температуры, выявляемая по наблюдениям микроволнового фонового излучения, принимается в качестве начального условия.

Вселенной симметрия спонтанно нарушается.

Понятие спонтанного нарушения симметрии подразумевает, что симметрия присутствует в основной теории, описывающей систему, но не проявляется в ее равновесном состоянии. Например, жидкость, описываемая физическими законами, которые обладают симметрией относительно любого поворота в пространстве, сама характеризуется такой же симметрией, т.е. распределение молекул одинаково — независимо от того, как повернута жидкость. Но когда жидкость превращается в кристалл, атомы располагаются определенным образом вдоль кристаллографических осей и симметрия нарушается. При повышении температуры система, находящаяся в состоянии с нарушенной симметрией, может подвергнуться своего рода фазовому переходу в состояние, в котором симметрия восстановится, точно так же как кристалл может расплавиться и превратиться в жидкость. Теории великого объединения предсказывают такой фазовый переход при температуре около 10^{27} К.

Одно новое предсказание теорий великого объединения относится к частицам, называемым барионами. Наиболее важные представители этого класса элементарных частиц — протоны и нейтроны. Во всех физических процессах, наблюдавшихся до настоящего времени, разность числа барионов и антибарионов не изменяется, или, как говорят физики, полное барионное число системы сохраняется. Из такого закона сохранения следует, что протон должен быть абсолютно стабильной частицей. Поскольку протон — легчайший из барионов, он не может распадаться на другие частицы без изменения полного барионного числа. Из экспериментов известно, что время жизни протона превышает 10^{31} лет.

Из теорий великого объединения следует, что барионное число сохраняется не точно. При низких температурах в фазе с нарушенной симметрией закон сохранения — прекрасное приближение, и следующий из наблюдений предел времени жизни протона согласуется со многими вариантами теорий великого объединения. Однако при высоких температурах происходят процессы, способные изменить число барионов в рассматриваемой системе.

УСПЕШНОЕ предсказание асимметрии вещества и антивещества во Вселенной — непосредственный результат сочетания теорий великого объединения с моделью расширяющейся Вселенной. Считают, что все звезды, галактики и межзвездная материя с большой вероятностью состоят из вещества, а не из антивещества, а ядра их атомов — из барионов, а не из антиба-

ТИП ВСЕЛЕННОЙ	ОТНОШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ К КРИТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ Ω	ГЕОМЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА	ОБЪЕМ	ЭВОЛЮЦИЯ
ЗАМКНУТАЯ	> 1	ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ КРИВИЗНА (СФЕРИЧЕСКАЯ)	КОНЕЧНЫЙ	ЧЕРЕДОВАНИЕ РАСШИРЕНИЯ И СЖАТИЯ
ОТКРЫТАЯ	< 1	ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ КРИВИЗНА (ГИПЕРБОЛИЧЕСКАЯ)	БЕСКОНЕЧНЫЙ	БЕСКОНЕЧНОЕ РАСШИРЕНИЕ
ПЛОСКАЯ	1	НУЛЕВАЯ КРИВИЗНА (ЕВКЛИДОВА)	БЕСКОНЕЧНЫЙ	БЕСКОНЕЧНОЕ РАСШИРЕНИЕ СО СКОРОСТЬЮ, СТРЕМЯЩЕЙСЯ К 0

ТРИ ТИПА ГЕОМЕТРИИ ВСЕЛЕННОЙ — замкнутая, открытая и плоская — возможны в стандартной космологической модели (при обычном предположении, что в уравнении общей теории относительности не вводится космологический член). Геометрия определяется величиной Ω — отношением плотности энергии Вселенной к критической плотности, которая зависит от темпа расширения. По современным данным, Ω лежит между 0,1 и 2, следовательно, секунду спустя после начала расширения $\Omega = 1$ с точностью $1:10^{15}$. В рамках стандартной космологической модели невозможно объяснить, почему в начале расширения Ω так близко к 1; эту проблему называют проблемой горизонта.

рионов. Отсюда следует, что полное число барионов в наблюдаемой Вселенной составляет около 10^{78} . До появления теорий великого объединения полное барионное число с определенным значением приходилось постулировать в качестве еще одного начального условия. Теперь же наблюдаемый избыток вещества над антивеществом получается естественным образом в результате взаимодействия элементарных частиц при температуре чуть ниже критической температуры фазового перехода. Расчеты в теориях великого объединения зависят от слишком многих произвольных параметров, чтобы можно было делать надежные количественные предсказания, но наблюдаемая асимметрия вещества и антивещества достигается разумным выбором значений этих параметров.

Сложной проблемой, возникающей при сочетании теорий великого объединения и стандартной космологической модели, является образование большого числа «дефектов» при переходе от симметричной фазы к фазе с нарушенной симметрией. Аналогично при кристаллизации жидкости различные области могут начать кристаллизоваться с разной ориентацией кристаллографических осей. Домены (области) с различной ориентацией осей растут и приходят в соприкосновение друг с другом, причем энергетически выгодно, чтобы на их границах ориентации осей совпадали. Однако часто сглаживание оказывается незавершенным и остаются локальные дефекты.

В теориях великого объединения главные проблемы связаны с «точечными дефектами», которые соответствуют магнитным монополям, и с «поверхностными дефектами», называемыми стенками доменов. Оба типа дефектов должны быть чрезвычайно

устойчивыми и чрезвычайно массивными. (Можно показать, что масса монополей в 10^{16} раз превосходит массу протонов.) Домен, соответствующий фазе с нарушенной симметрией, не может быть заметно больше, чем расстояние до горизонта в эпоху фазового перехода, и поэтому можно оценить минимальное число возникающих дефектов. По оценкам, число дефектов после фазового перехода должно быть так велико, что их масса будет определять плотность Вселенной и в итоге ускорять ее последующую эволюцию. В таком случае микроволновое фоновое излучение охладилось бы до современной температуры 3 К всего лишь через 30 тыс. лет после начала расширения, а не через 10 млрд. лет, и все успешные предсказания теории расширяющейся Вселенной были бы несостоятельны. Таким образом, любой плодотворный союз теорий великого объединения и теории расширяющейся Вселенной должен включать некоторый механизм, подавляющий рождение магнитных монополей и образование стенок доменов.

ВВЕДЕНИЕ модели раздувающейся Вселенной, по-видимому, может обеспечить удовлетворительное решение этих проблем. Но прежде чем переходить к ее описанию, рассмотрим более подробно нарушение симметрии и фазовые переходы в рамках теорий великого объединения.

Все современные теории элементарных частиц, включая теории великого объединения, являются примерами квантовой теории поля. Лучшее всего известна теория поля, описывающая электромагнетизм. Согласно классической (неквантовой) теории электромагнетизма, разработанной в 1860-х годах Джеймсом Клерком Максвел-

лом, электрическое и магнитное поля имеют вполне определенные значения в каждой точке пространства и их изменения во времени описываются определенной системой уравнений. В начале XX в. теория Максвелла была модифицирована для приведения в согласие с квантовой теорией. В классической теории энергию электромагнитного поля можно увеличивать без всяких ограничений, в квантовой теории это увеличение может осуществляться только дискретными порциями — квантами, которые называют фотонами. Фотоны обладают как волновыми, так и корпускулярными свойствами, но в терминах современной физики их обычно считают частицами. В основе квантовой теории поля лежит классическая теория поля, и, когда применяются законы квантовой теории поля, она становится теорией частиц.

Как мы уже указывали, важной составной частью теорий великого объединения является спонтанное нарушение симметрии. Детальный механизм спонтанного нарушения симметрии в этих теориях во многих отношениях проще, чем при рассмотрении кристаллов. В теориях великого объединения для осуществления таких переходов вводится специальный набор полей, называемых хиггсовскими полями (в честь Р.У. Хиггса из Эдинбургского университета). Если значения всех хиггсовских полей равны нулю, то симметрия существует, но если хотя бы одно такое поле приобретает отличное от нуля значение, симметрия спонтанно нарушается. Кроме того, можно сформулировать теорию так, чтобы хиггсовские поля имели отличное от нуля значение в состоянии с самой низкой плотностью энергии, называемом истинным вакуумом. При температурах выше 10^{27} К в результате тепловых флуктуаций равновесное значение хиггсовского поля обращается в нуль и про-

исходит переход в симметричную фазу.

Теперь у нас достаточно информации, чтобы перейти к изложению модели раздувающейся Вселенной, начиная с той формы, в которой она была впервые предложена одним из нас (Гутом) в 1980 г. В основе любой космологической модели должны лежать некоторые предположения о начальных условиях, но в модели раздувающейся Вселенной они могут быть довольно произвольными. Однако необходимо принять, что в ранней Вселенной было по крайней мере несколько областей газа, горячего по сравнению с критической температурой фазового перехода, и что имело место расширение. В таких горячих областях значение соответствующего хиггсовского поля должно обращаться в нуль. По мере снижения температуры в ходе расширения термодинамически выгодно, чтобы хиггсовское поле приобрело отличное от нуля значение и система перешла в фазу с нарушенной симметрией.

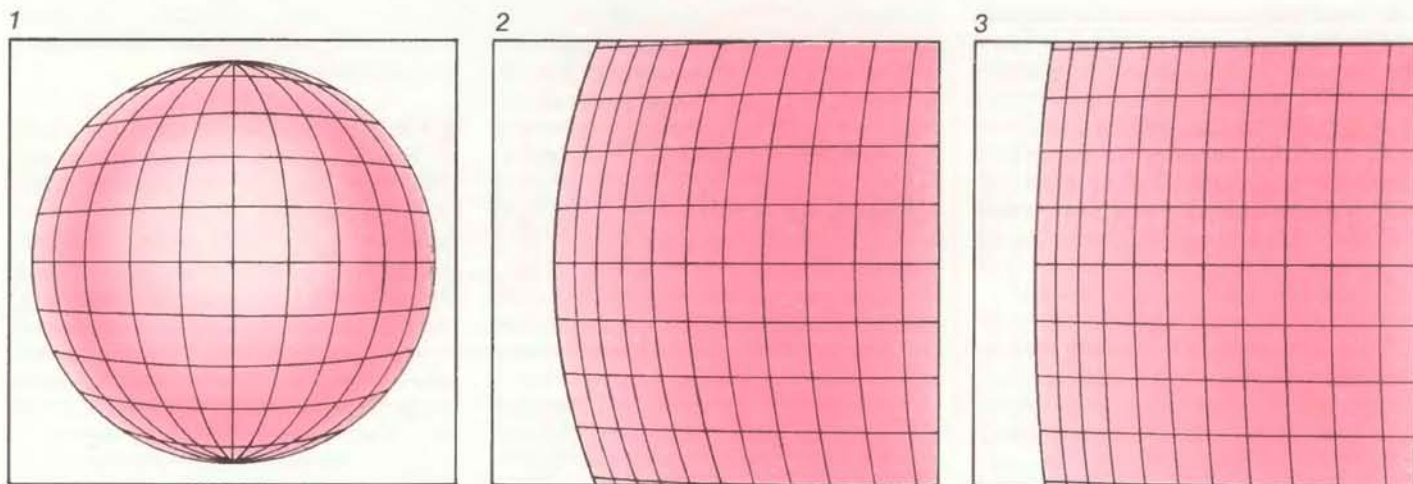
ПРИ НЕКОТОРЫХ значениях неизвестных параметров теорий великого объединения этот фазовый переход должен происходить очень медленно по сравнению со скоростью охлаждения. В результате система может охладиться до температуры значительно ниже 10^{27} К и значение хиггсовского поля останется равным нулю. Это явление называется переохлаждением и хорошо известно в физике. Например, воду можно переохладить на 20° ниже точки замерзания.

По мере переохлаждения вещество в рассматриваемой области будет приближаться к особому состоянию, называемому ложным вакуумом. Это состояние никогда не наблюдалось, но его свойства однозначно предсказываются квантовой теорией поля. Температура, а значит, и тепловая составля-

ющая плотности энергии быстро уменьшаются, и энергия данного состояния концентрируется в хиггсовском поле. Нулевое значение хиггсовского поля означает высокую плотность энергии в состоянии ложного вакуума. В классической теории это состояние было бы абсолютно устойчивым, хотя оно и не было бы состоянием с самой низкой плотностью энергии. Состояния с более низкой плотностью энергии были бы отделены от ложного вакуума энергетическим барьером и хиггсовское поле не обладало бы энергией для преодоления этого барьера (см. рисунок вверху на с. 58).

В квантовой теории ложный вакуум не будет абсолютно устойчивым. Согласно квантовой теории, все поля должны непрерывно флуктуировать. Как впервые показал С.Р. Коулмен из Гарвардского университета, квантовые флуктуации будут вызывать случайное «просачивание» хиггсовского поля через энергетический барьер и образование «пузырьков» фазы с нарушенной симметрией. Затем эти «пузырьки» начнут интенсивно расти со скоростью, быстро приближающейся к скорости света, превращая ложный вакуум в фазу с нарушенной симметрией. Скорость образования «пузырьков» чувствительна к значениям неизвестных параметров в используемой теории великого объединения. В модели раздувающейся Вселенной эта скорость принимается очень низкой.

По-видимому, самое необычное свойство ложного вакуума — его давление, которое велико и имеет отрицательную величину. Чтобы понять, почему это так, рассмотрим снова процесс, при котором «пузырек» истинного вакуума развивается в области ложного вакуума. Рост такого «пузырька» выгоден энергетически, поскольку энергия истинного вакуума ниже, чем ложного. Однако рост указывает еще и



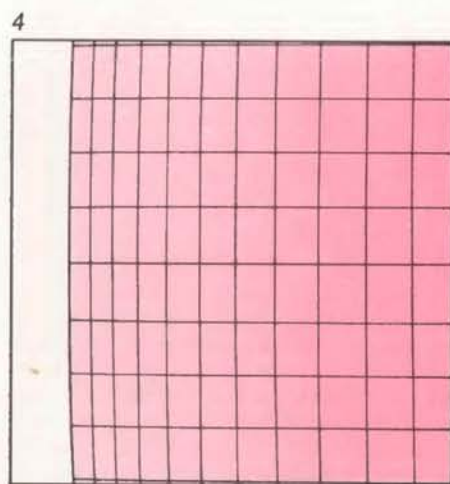
РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ КРИВИЗНЫ иллюстрируется последовательностью рисунков раздувающейся сферы. Показано, как в рамках модели раздувающейся Вселенной можно

прийти к плоскому пространству ($\Omega = 1$). На каждом последующем фрагменте сфера раздувается в три раза (и число линий сетки на ней увеличивается во столько же раз). Кри-

на то, что давление истинного вакуума должно быть выше, чем ложного вакуума, и заставлять стенку «пузырька» растягиваться. Поскольку давление истинного вакуума равно нулю, давление ложного вакуума должно быть отрицательным. Более детальное рассмотрение показывает, что давление ложного вакуума равно плотности энергии, взятой со знаком минус (если обе величины измеряются в одних и тех же единицах).

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ давление не может привести к появлению механических сил в ложном вакууме, поскольку они вызываются только разностью давлений. Тем не менее должны иметь место гравитационные эффекты. При обычных условиях расширение области, содержащей газ, должно замедлиться под влиянием взаимного гравитационного притяжения вещества. В ньютоновской теории сила притяжения пропорциональна плотности, которая в релятивистских теориях равна плотности энергии, деленной на квадрат скорости света. Согласно общей теории относительности, давление также вносит вклад в силу гравитации, точнее, сила гравитации пропорциональна сумме плотности энергии и утроенного давления. В ложном вакууме вклад давления будет превышать вклад плотности энергии и иметь противоположный знак. Отсюда необычное отрицательное давление приводит к еще более необычному эффекту гравитации — эффективному расталкиванию. В результате темп расширения рассматриваемой области увеличивается и ее размеры будут расти экспоненциально, причем ее диаметр будет удваиваться примерно каждые 10^{-34} с.

Этот период грандиозного расширения называют «инфляционной фазой», которая и является ключевым элементом модели раздувающейся Вселенной.



4
визна поверхности в масштабе рисунка быстро становится необнаружимой.

ной. Согласно этой модели, инфляционная фаза продолжалась в течение около 10^{-32} с (или больше), но за этот период диаметр Вселенной увеличился в 10^{50} раз (или больше). Считается, что после колоссального расширения окончательно установилась фаза с нарушенной симметрией. Это привело к выделению плотности энергии ложного вакуума и как следствие — к рождению огромного числа частиц. Область подверглась повторному нагреванию до температуры почти 10^{27} К. (В термодинамике выделяющуюся при этом энергию называют скрытой теплотой; ее аналог — энергия, выделяющаяся при замерзании воды.) Начиная с этого момента область продолжает расширяться и охлаждаться в соответствии со стандартной космологической моделью. Объем размерами с наблюдаемую Вселенную легко уместится в пределах такой области.

Здесь автоматически исчезает проблема горизонта. В этой модели эволюция наблюдаемой Вселенной начинается из области, диаметр которой много меньше (по порядку величины примерно в 10^{50} раз), чем в рамках стандартной космологической модели. Перед началом инфляционной фазы эта область много меньше расстояния до горизонта, и у нее есть время, чтобы стать однородной и прийти в тепловое равновесие. Затем маленькая однородная область раздувается, достигая достаточных размеров, чтобы включить в себя всю наблюдаемую Вселенную. Таким образом, источники изотропного микроволнового фонового излучения когда-то были близкими соседями и успели приобрести одинаковую температуру до начала инфляционной фазы.

Проблема кривизны также устраняется простым и естественным путем. Уравнения, описывающие эволюцию Вселенной в течение инфляционной фазы, иные, чем в стандартной космологической модели, и оказывается, что безразмерный параметр плотности Ω быстро стремится к 1 (независимо от его значения до инфляционной фазы). Это поведение легче всего понять, вспомнив, что $\Omega = 1$ соответствует пространству с плоской геометрией. В ходе быстрого расширения пространство становится плоским, подобно тому как становится все более плоской поверхность воздушного шарика по мере того, как его надувают. Этот механизм столь эффективен, что позволяет сделать почти строгое предсказание: в современную эпоху с большой степенью точности Ω должно быть равно 1. Многие астрономы считают, что значение $\Omega = 1$ согласуется с данными наблюдений, но более точное определение Ω обеспечило бы решающую проверку модели раздувающейся Вселенной.

В первоначальном виде эта модель имела один крупный недостаток: при

описанных условиях сам фазовый переход должен приводить к появлению гораздо больших неоднородностей, чем наблюдаемые в современную эпоху. Как было описано выше, фазовый переход происходит при случайном зарождении «пузырьков» новой фазы. Можно показать, что такие «пузырьки» будут всегда образовывать скопления конечной величины, не связанные друг с другом, и что в каждом скоплении будет преобладать один самый большой «пузырек». Первоначально почти вся энергия скопления должна концентрироваться на поверхности самого большого «пузырька», и не существует никакого очевидного механизма, способного привести к однородному перераспределению энергии. Такая конфигурация не имеет ничего общего с наблюдаемой Вселенной.

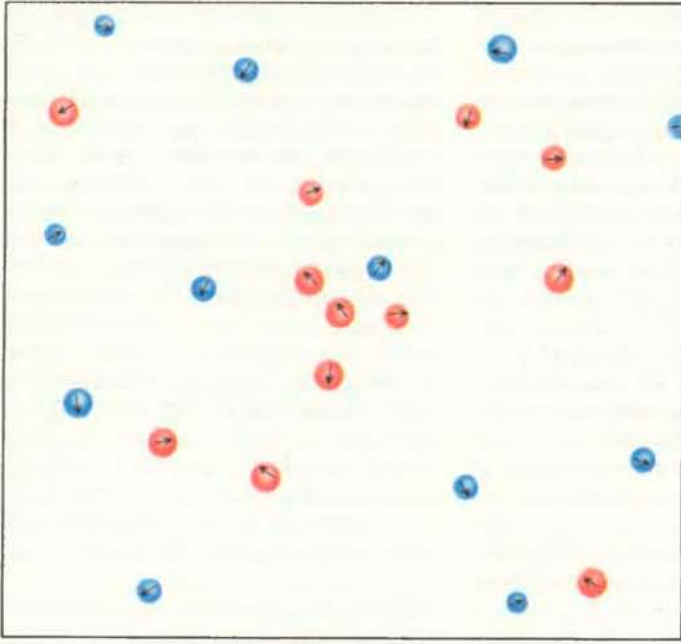
СНАЧАЛА модель раздувающейся Вселенной оставалась очень привлекательным, хотя и несовершенным решением ряда важных космологических проблем. Однако в конце 1981 г. А. Д. Линде из Физического института АН СССР им. П. Н. Лебедева в Москве и независимо А. Альбрехт и один из нас (Стейнхардт) из Пенсильванского университета разработали новый подход*. Это приближение, называемое новой моделью раздувающейся Вселенной, позволяет преодолеть все трудности первоначальной модели, сохраняя ее преимущества.

Суть нового подхода состоит в использовании функции плотности энергии особого типа для описания хиггсовского поля (см. рисунок в середине на с. 58). Квантовые теории поля с такой функцией плотности были впервые исследованы Коулменом, работающим в сотрудничестве с Э. Вайнбергом из Колумбийского университета. В отличие от более типичного случая, показанного на верхнем рисунке на с. 58, здесь отсутствует энергетический барьер, разделяющий ложный и истинный вакуумы, а ложный вакуум лежит на вершине довольно плоского плато. В рамках теорий великого объединения такая функция плотности энергии достигается определенным выбором параметров и ведет к особому фазовому переходу, который иногда называют переходом типа медленного скатывания.

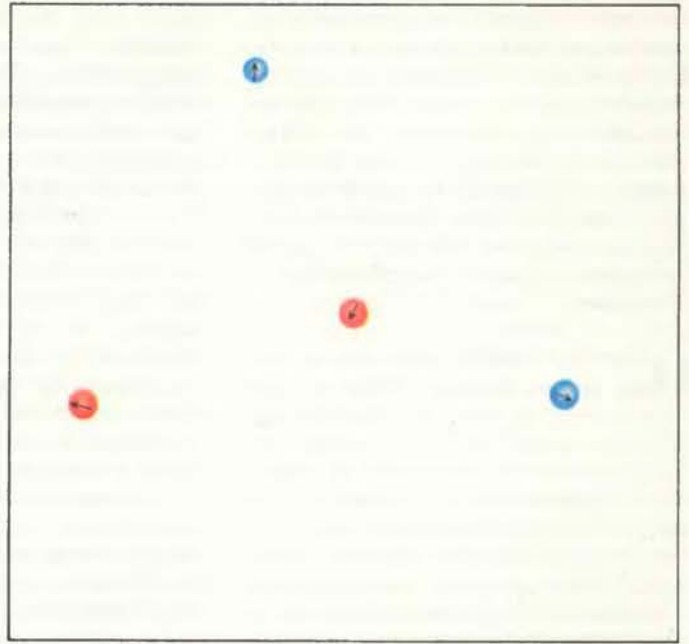
Начало сценария совпадает с моделью раздувающейся Вселенной. Снова принимается, что в ранней Вселенной были расширяющиеся области с температурой выше 10^{27} К. В этих областях под действием тепловых флуктуаций значение по крайней мере одного из хиггсовских полей должно обращаться в нуль, так что в системе будет

* Работа А. Д. Линде опубликована в октябре 1981 г., а П. Стейнхардта и А. Альбрехта — в январе 1982 г. — Прим. ред.

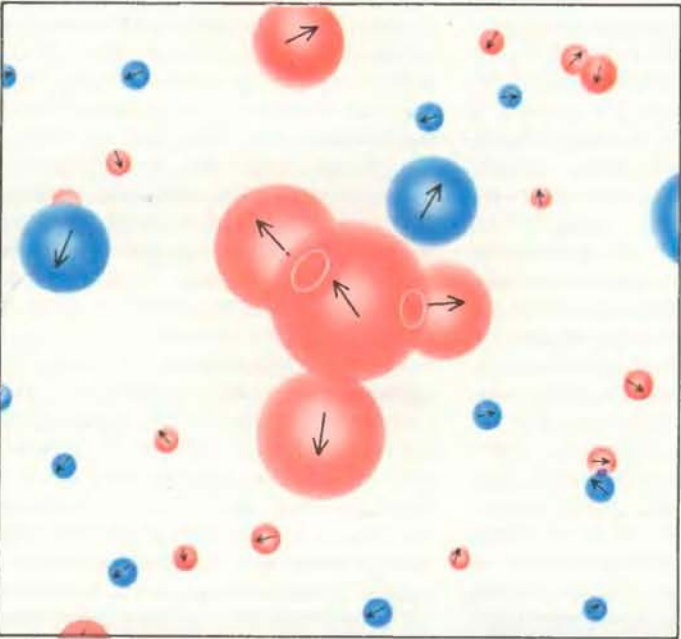
1a



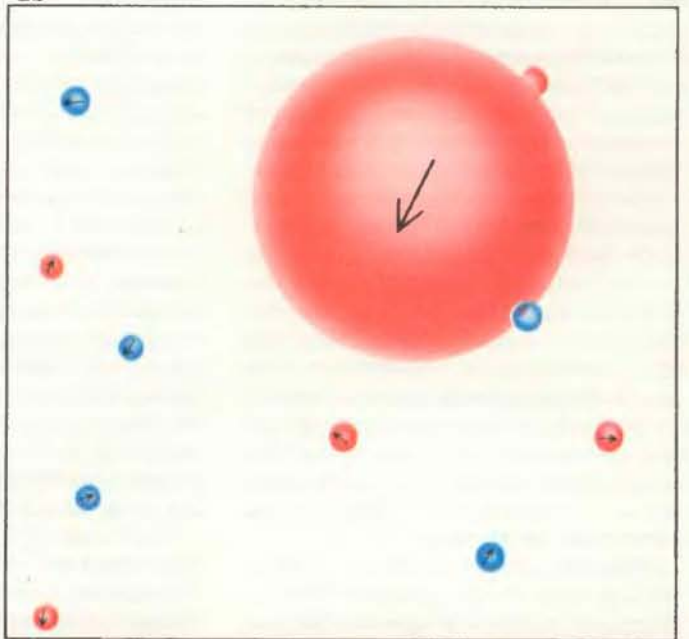
2a



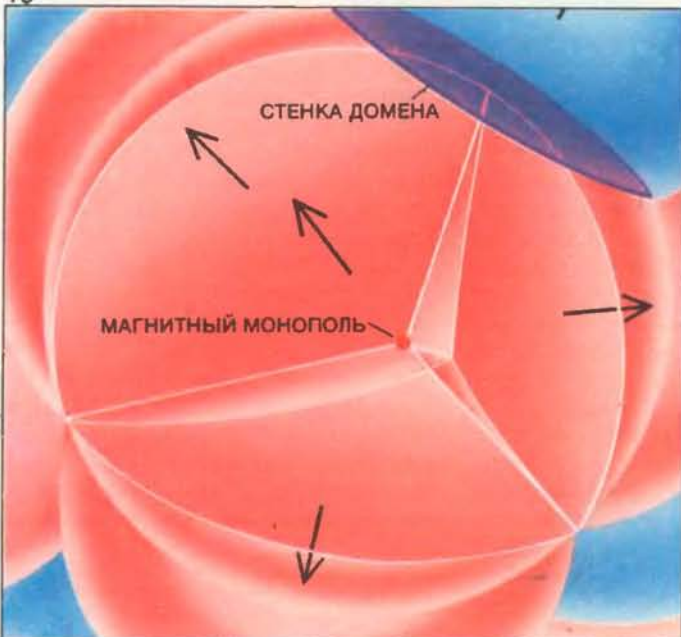
1b



2b



1c



2c



иметь место симметрия. По мере уменьшения температуры термодинамически становится более выгодным фазовый переход, в результате которого хиггсовское поле приобретает отличное от нуля значение, и появляется фаза с нарушенной симметрией. Как и в предыдущем случае, скорость этого фазового перехода будет очень низкой по сравнению со скоростью охлаждения. Система переохлаждается до пренебрежимо низкой температуры при нулевом хиггсовском поле и вновь приходит в состояние ложного вакуума.

Важная особенность нового подхода состоит в механизме фазового перехода. Квантовые или небольшие остаточные тепловые флуктуации будут приводить к отклонению хиггсовского поля от нуля. В отсутствие энергетического барьера хиггсовское поле начнет постепенно возрастать примерно по такому же закону, как скорость шарика, скатывающегося с трением с вершины холма, имеющего форму кривой функции плотности энергии. Поскольку кривая плотности почти плоская вблизи точки, в которой значение хиггсовского поля обращается в нуль, эволюция на ранних стадиях должна быть очень медленной. До тех пор пока хиггсовское поле остается близким к нулю, плотность энергии будет почти такой же, как в ложном вакууме. Как и в первоначальном сценарии, рассматриваемая область будет подвергаться ускоренному расширению, и ее размеры будут удваиваться примерно через каждые 10^{-34} с. Но увеличение темпа расширения прекратится, когда значение хиггсовского поля достигнет более крутой части кривой. Рассчитав время, необходимое для эволюции хиггсовского поля, можно определить увеличение размеров Вселенной в ходе инфляционной фазы. Инфляционный коэффициент 10^{50} (или более) вполне правдоподобен, но его значение зависит от принятой теории элементарных частиц.

РАСШИРЯЮЩИЕСЯ «ПУЗЫРЬКИ» фазы с нарушенной симметрией образуются в расширяющейся области симметричной фазы. Последовательность, представляющая стандартную космологическую модель (слева), охватывает гораздо меньший временной интервал, чем в первоначальном варианте модели раздувающейся Вселенной (справа). В обоих случаях за пределами «пузырька» значения хиггсовских полей равны нулю, тогда как внутри каждого «пузырька» по крайней мере значение одного поля отлично от нуля. В теориях великого объединения состояния с нарушенной симметрией в общем случае описываются параметрами двух типов: дискретными и непрерывными. На рисунке каждый «пузырек» помечен двояко: цветом (голубым или красным) отмечен дискретный параметр, а черными стрелками даны значения непрерывного параметра. В стандартной космологической модели «пузырьки» быстро слипаются и завершают переход из симметричной фазы в фазу с нарушенной симметрией. «Дефект», называемый стенкой домена, может возникнуть на границе между областями с разными значениями дискретного параметра (фиолетовая площадка). В пределах равномерно окрашенной области в центре, создаваемом пересечением многих «пузырьков», образуется точечный «дефект» (магнитный монополю) тогда, когда стрелки, представляющие непрерывный параметр, направлены от центра. В первоначальной модели раздувающейся Вселенной быстрое расширение области ложного вакуума, или симметричной фазы, предохраняет «пузырьки» от слипания. Следствия обеих описанных ситуаций противоречат наблюдениям. Чтобы избежать этих противоречий, была разработана новая модель раздувающейся Вселенной.

ДО СИХ ПОР описание фазового перехода было упрощено. В действительности имеется множество различных состояний с нарушенной симметрией, так же как возможно множество ориентаций осей кристалла. Различные состояния с нарушенной симметрией характеризуются комбинацией хиггсовских полей, которые приобрели отличные от нуля значения. Поскольку хиггсовские поля приобретают отличные от нуля значения под действием случайных флуктуаций, разные области первичной Вселенной перейдут в различные состояния с нарушенной симметрией, причем каждая область образует домен с начальным радиусом, примерно равным расстоянию до горизонта. В начале фазового перехода расстояние до горизонта должно составлять 10^{-24} см. Как только образуется домен с определенной комбинацией хиггсовских полей, несколько отличных от нуля, он начинает эволюционировать к устойчивому состоянию с нарушенной симметрией и увеличивается в размерах в 10^{50} раз (или более). После инфляционной фазы размер домена превысит 10^{26} см. Вся наблюдаемая Вселенная, поперечник которой в то время должен был составлять всего лишь 10 см, полностью уместилась бы глубоко в недрах одного такого домена.

В ходе этого грандиозного расширения концентрация частиц, какой бы она ни была первоначально, упадет практически до нуля. Энергосодержание области будет целиком определяться энергией, запасенной в хиггсовском поле. Как же извлечь эту энергию? Как только значение хиггсовского поля выйдет за пределы плоской части кривой плотности энергии, оно начнет быстро осциллировать относительно значения, соответствующего истинному вакууму. С помощью соотношения между частицами и полями в рамках квантовой теории поля можно описать эту ситуацию как состояние с высокой

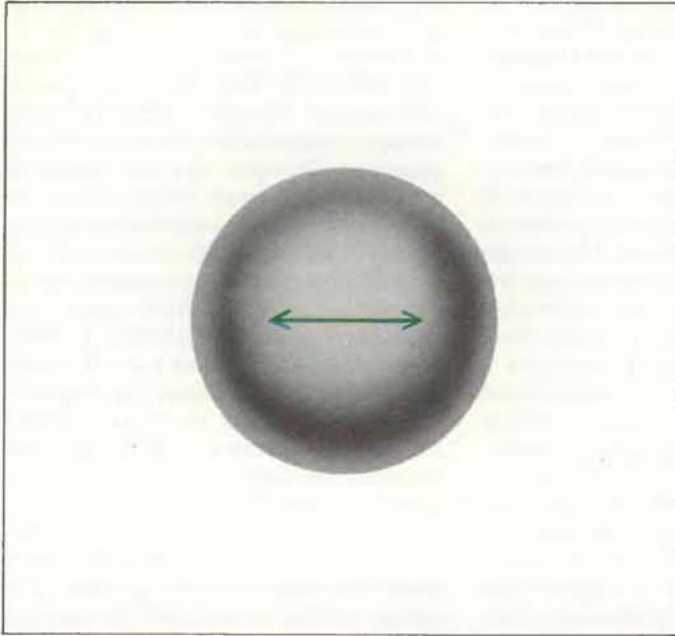
плотностью хиггсовских частиц. Однако хиггсовские частицы были бы неустойчивы и быстро распадались на более легкие частицы, которые взаимодействовали бы друг с другом и, возможно, подвергались бы дальнейшему распаду. Система быстро превратилась бы в скопление горячего газа элементарных частиц, находящихся в тепловом равновесии, что совпадает с начальным условием стандартной космологической модели. Можно рассчитать температуру после повторного повышения; она оказывается в 2—10 раз ниже критической температуры фазового перехода. Начиная с этого момента сценарий совпадает со стандартной космологической моделью и ему присущи все ее достоинства.

Обратите внимание на то, что важнейший недостаток модели раздувающейся Вселенной искусно устранен. Образуя, говоря, отдельные «пузырьки» первоначальной модели заменены здесь доменами. Домены с переходом типа медленного скатывания будут окружены другими доменами, а не ложным вакуумом, и их форма, как правило, будет отличаться от сферической. Поэтому термин «пузырек» больше не требуется. Решающее различие состоит в том, что в новой модели каждый домен в ходе своего формирования раздувается, порождая огромную существенно однородную область, которая способна вместить наблюдаемую Вселенную.

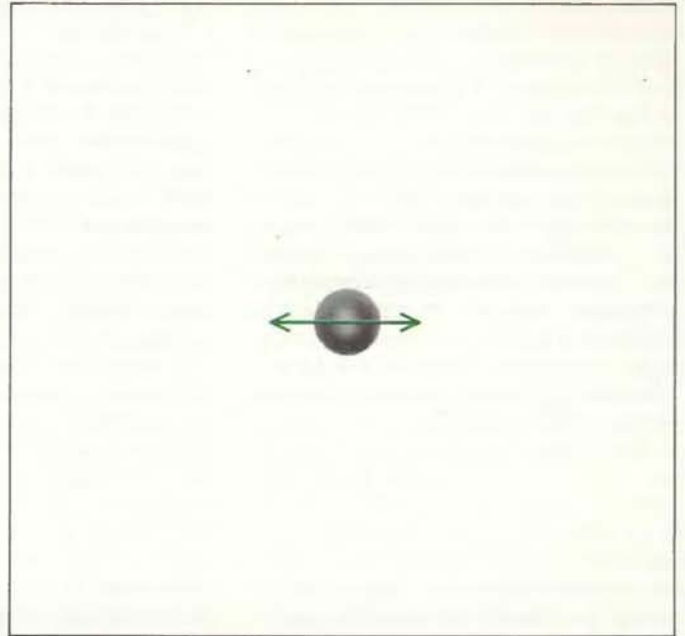
Поскольку после повторного разогрева температура близка к температуре фазового перехода в теории великого объединения, преобладание вещества можно объяснить взаимодействием частиц сразу после фазового перехода, аналогичного предсказаниям теорий великого объединения для стандартной космологической модели. Но в отличие от этой модели в модели раздувающейся Вселенной полное число барионов нельзя принять в качестве начального условия; во время инфляционной фазы любая исходная концентрация барионов упадет до пренебрежимо низкого уровня. Таким образом, жизнеспособность модели раздувающейся Вселенной сильно зависит от жизнеспособности теорий элементарных частиц, таких, как теории великого объединения, согласно которым число барионов не сохраняется.

ТЕПЕРЬ перейдем к решению космологических проблем, рассмотренных выше. Проблемы горизонта и кривизны решаются таким же путем, как в первоначальной модели. В новой модели поддаются решению проблемы магнитных монополей и стенок доменов. Эти «дефекты» будут появляться вдоль границ отдельных доменов, но домены в ходе инфляционной фазы приобретают такие колоссальные раз-

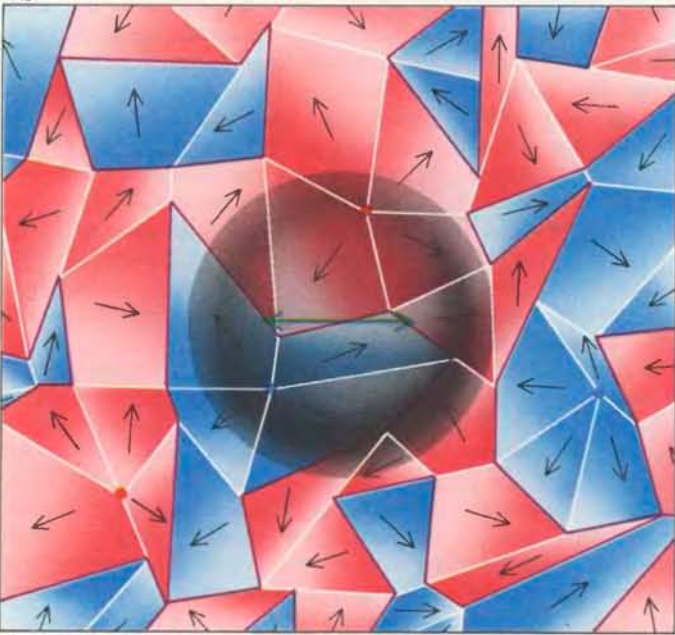
1a



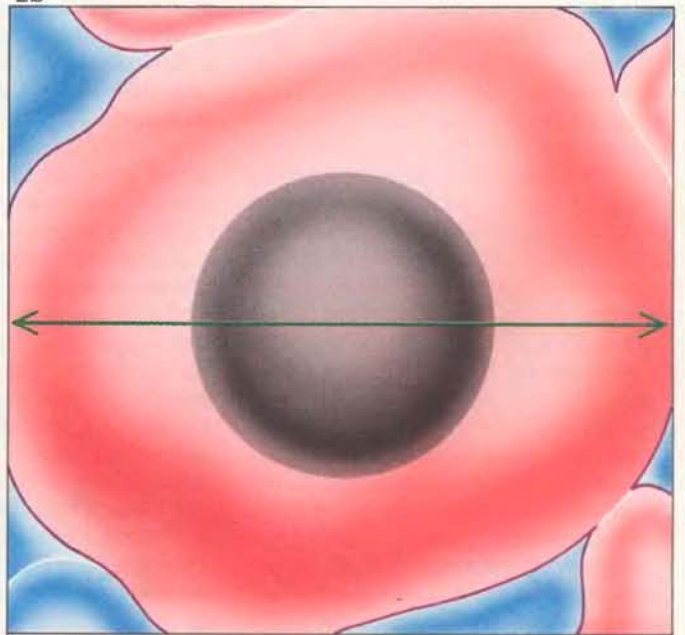
2a



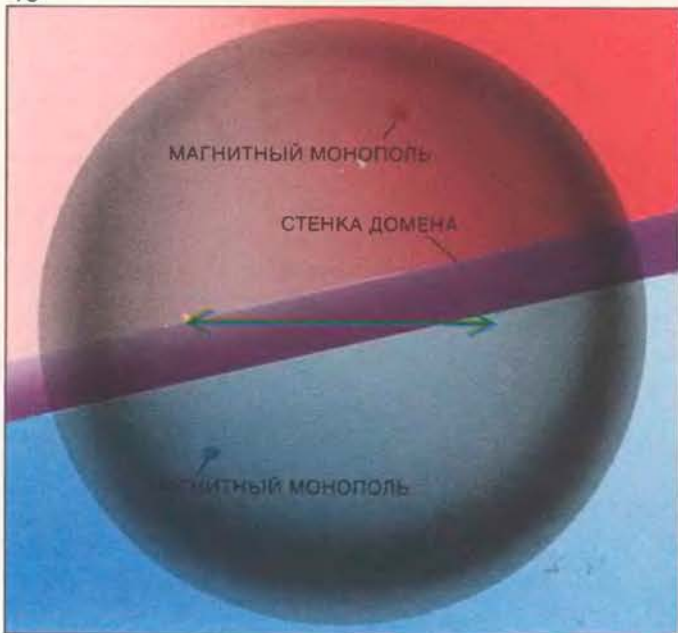
1b



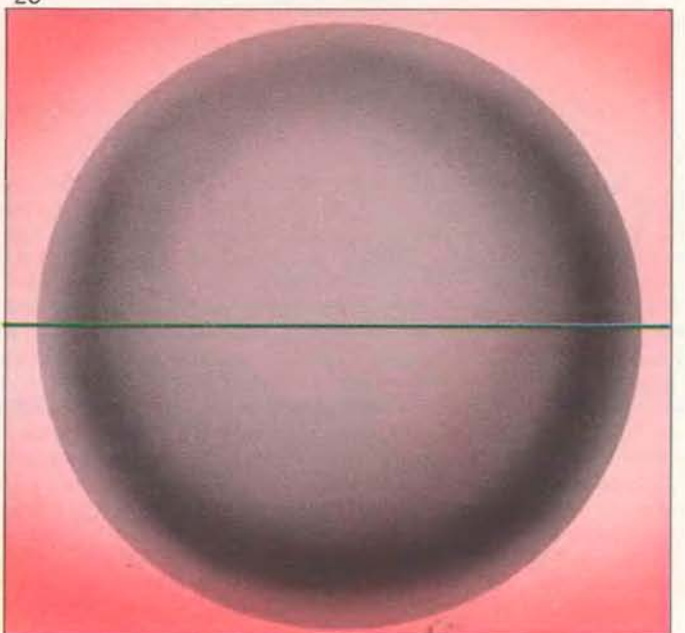
2b



1c



2c



меры, что дефекты оказываются далеко за пределами доступной наблюдению области. (Некоторые дефекты могут порождаться тепловыми процессами после фазового перехода, но их число должно быть пренебрежимо мало.)

Таким образом, незначительное усовершенствование модели раздувающейся Вселенной ведет к успешному решению нескольких важных проблем, которые были «не под силу» стандартной космологической модели: горизонта, кривизны сопутствующего пространства, магнитных монополей и стенок доменов. К сожалению, из-за необходимости перехода типа медленного скатывания параметры модели должны быть заключены в узком диапазоне значений, иначе расчеты не дают разумных предсказаний. Большинство теоретиков, включая обоих авторов этих строк, считают такое условие неправдоподобным. Однако в целом этот сценарий столь удачен, что вселяет надежду на открытие реалистичных вариантов теорий великого объединения, в которых переход типа медленно скатывания возможен в широком диапазоне параметров.

Рассмотренные достижения представляют собой убедительное свидетельство в пользу новой модели раздувающейся Вселенной. Кроме того, оказалось, что эта модель способна объяснить еще одну космологическую проблему — проблему сглаживания, которая в ходе разработки модели даже не рассматривалась. Проблеме появления неоднородностей в новой модели раздувающейся Вселенной был посвящен ряд выступлений на состоявшемся летом 1982 г. Наффилдском семинаре по очень ранним стадиям эволюции Вселенной. Среди выступавших — Дж. Бардин из Вашингтонского университета, С. Хокинг из Кембриджского университета, С.-Я. Пи из Бостонского университета, М. Тернер из Чикагского университета, А. Старобинский из Ин-

ститута теоретической физики АН СССР им. Л.Д. Ландау в Москве и оба автора статьи. Выяснилось, что новая модель раздувающейся Вселенной в отличие от предыдущей модели позволяет сделать некоторые предсказания относительно спектра неоднородностей. По существу процесс раздувания должен сглаживать все первоначальные неоднородности, которые могли присутствовать в начальных условиях. Неоднородности, которые порождались квантовыми флуктуациями хиггсовского поля при фазовом переходе, полностью определяются принятой физической теорией. Появляются очень мелкомасштабные неоднородности, в которых существенны квантовые явления, а затем в ходе раздувания они вырастают до астрономических размеров.

Предсказывается существенно плоская форма спектра неоднородностей, т.е. амплитуды неоднородностей примерно равны на всех масштабах, интересных для астрономии. Это предсказание слабочувствительно к деталям используемой теории великого объединения. Спектр точно такой же формы был независимо предложен в начале 70-х годов в качестве феноменологической модели образования галактик Э. Харрисоном из Массачусетского университета в Амхерсте и Я.Б. Зельдовичем из Института физических проблем АН СССР в Москве. Процесс образования галактик очень сложен и еще очень плохо понят в деталях, но многие космологи считают, что плоский спектр неоднородностей очень хорошо подходит для объяснения современной структуры галактик и их скоплений (см. Дж. Силк, А. Салаи, Я.Б. Зельдович. «Крупномасштабная структура Вселенной». — «В мире науки», №12, 1983, с. 26—35).

НОВАЯ модель раздувающейся Вселенной предсказывает также порядок величины неоднородностей плотности, но это предсказание очень

чувствительно к деталям используемой теории элементарных частиц. К сожалению, значение, которое следует из простейшей теории великого объединения, слишком велико и не согласуется с изотропией космического микроволнового фонового излучения. Это расхождение очень существенно, однако не известно, является ли простейшая теория великого объединения правильной. В частности, она предсказывает более короткое время жизни протона, чем следует из экспериментальных данных. Можно построить более сложные теории великого объединения, в которых неоднородности плотности будут иметь требуемую величину. Многие исследователи считают, что с разработкой правильной теории элементарных частиц новая модель раздувающейся Вселенной добавит в свой актив успешное решение проблемы сглаживания.

Одно многообещающее направление исследований связано с квантовыми теориями поля, включающими новый тип симметрии, называемый суперсимметрией. Суперсимметрия связывает свойства частиц с целым и полуцелым спином, тем самым накладывая значительные ограничения на теорию. Многие теоретики полагают, что суперсимметрия может оказаться необходимой для построения самосогласованной квантовой теории гравитации и для окончательного объединения гравитации с тремя остальными фундаментальными взаимодействиями. Привлекательное свойство моделей с суперсимметрией состоит в том, что многие из них приводят к фазовым переходам типа медленного скатывания без каких-либо ограничений на диапазон параметров. Сейчас главная задача состоит в том, чтобы найти такую модель с суперсимметрией, которая была бы реалистична в области физики элементарных частиц и приводила бы к инфляционной фазе и к правильной амплитуде неоднородностей плотности.

Таким образом, модель раздувающейся Вселенной успешно объясняет многие особенности наблюдаемой Вселенной, не нашедшие объяснения в стандартной космологической модели. Особенность модели раздувающейся Вселенной состоит в том, что эволюция мира в ней практически не зависит от начальных условий, о которых мало (если вообще что-либо) известно. Отсюда следует, что если эта модель верна, то будет очень трудно обнаружить какие-либо доступные для наблюдений следствия условий, существовавших до инфляционной фазы. Аналогично из-за огромных характерных расстояний, возникших в результате этой фазы, в сущности невозможно наблюдать строение Вселенной как целого. Тем не менее можно еще обсудить эти вопросы, и, по-видимому, возможен ряд интересных сценариев.

В НОВОЙ МОДЕЛИ РАЗДУВАЮЩЕЙСЯ ВСЕЛЕННОЙ удается избежать проблем горизонта, магнитных монополей и стенок доменов. На рисунках, представляющих стандартную космологическую модель (слева) и новую модель раздувающейся Вселенной (справа), сфера серого цвета соответствует области пространства, которая в ходе эволюции превращается в наблюдаемую Вселенную; зеленой стрелкой представлено расстояние до горизонта. (Масштаб произвольный.) Для каждого сценария показаны три стадии эволюции: накануне фазового перехода (вверху), сразу после фазового перехода (в середине) и в современную эпоху (внизу). В стандартной космологической модели расстояние до горизонта всегда меньше радиуса серой сферы, что ведет к проблеме крупномасштабной однородности наблюдаемой Вселенной. Поскольку, согласно стандартной космологической модели, образовавшийся при фазовом переходе домен с нарушенной симметрией имеет размер, сравнимый с расстоянием до горизонта, в наблюдаемой Вселенной должно быть много магнитных монополей и стенок доменов. В новой модели раздувающейся Вселенной расстояние до горизонта всегда намного больше серой сферы, поэтому наблюдаемый мир должен быть однородным в больших масштабах и в нем будет мало (или не будет вообще) магнитных монополей и стенок доменов. Непосредственно перед фазовым переходом серая сфера в модели раздувающейся Вселенной намного меньше, чем в стандартной космологической модели. Во время фазового перехода серая сфера раздувается в 10^{50} раз (или более) и достигает размеров, соответствующих сфере в стандартной космологической модели.

Простейший сценарий эволюции очень ранней Вселенной состоит в том, что в некоторый момент она начала расширяться и процесс расширения протекал очень равномерно до тех пор, пока она не остыла до критической температуры фазового перехода, после чего расширение проходило в соответствии со сценарием раздувающейся Вселенной. Экстраполяция стандартной космологической модели назад к нулевому моменту времени приводит к космологической сингулярности — сверхгорячему и сверхплотному состоянию, к которому известные законы физики неприменимы. Эволюция вблизи начала расширения не ясна. Согласно другому сценарию, Вселенная начинает расширяться из хаотического случайного состояния (с неясными свойствами). Распределения вещества и температуры могли быть неоднородны, и одни части Вселенной расширялись бы, а другие сжимались. В этом сценарии некоторые малые области, обладавшие высокой температурой и расширившиеся, должны были пройти через инфляционную фазу и превратиться в огромные области, легко вмещающие всю наблюдаемую Вселенную. В этих областях будет царить хаос, постепенно проникающий в области, прошедшие через инфляционную фазу.

В ПОСЛЕДНЕЕ время были высказаны предположения, что реальный процесс происхождения Вселенной не поддается описанию с помощью физических законов. Согласно этой точке зрения, Вселенная возникает как квантовая флуктуация, начавшись практически «из ничего». Эта идея была впервые выдвинута Э. Трионом из Хантер-Колледжа городского университета Нью-Йорка в 1973 г.*. «Ничто» может отождествляться с пустым пространством. Квантовые флуктуации структуры пространства-времени поддаются описанию только в рамках квантовой гравитации, поэтому такие идеи следует рассматривать как чисто умозрительные до тех пор, пока не будет сформулирована рабочая теория квантовой гравитации. Тем не менее очень заманчиво пофантазировать о том, что физические законы могут определять не только эволюцию данного состояния Вселенной, но и начальные условия наблюдаемого мира.

В модели раздувающейся Вселенной есть несколько возможных путей решения вопроса о структуре Вселенной как целого. (Во всех случаях наблюдаемая Вселенная составляет лишь очень малую долю Вселенной как целого; грани-

ца нашего домена лежит, вероятно, на расстоянии от нас 10^{35} световых лет или больше.) Первая возможность состоит в том, что домены касаются друг друга и заполняют все пространство. Они отделены друг от друга стенками и внутри каждой стенки имеет место симметричная фаза, рассматриваемая теорией великого объединения. Пересекая такую стенку, протоны или нейтроны будут мгновенно распадаться. Стенки доменов будут стремиться «распрямляться» со временем. Спустя 10^{35} св. лет (или более) мелкие домены (не исключено, что и тот, в который вкраплена наблюдаемая Вселенная) исчезнут, а более крупные будут расти.

В некоторых вариантах теорий великого объединения не могут образоваться жесткие стенки. В этих моделях допускается, что состояние с нарушенной симметрией в двух соседних доменах плавно переходит друг в друга. На границе раздела двух доменов могут иметь место скачки плотности и скорости вещества, а также могут находиться магнитные монополи.

Совершенно другая возможность осуществлялась бы, если бы плотность энергии хиггсовского поля описывалась кривой, показанной на нижнем рисунке на с. 58. Как в двух предыдущих случаях, некоторые области пространства будут переохлаждаться до состояния ложного вакуума и испытывать ускоренное расширение. Как и в первоначальной модели раздувающейся Вселенной, состояние ложного вакуума будет распадаться в результате образования случайных «пузырьков»: квантовые флуктуации приведут к тому, что по крайней мере одно из хиггсовских полей в малой области пространства «просочится» через энергетический барьер к значению, отмеченному на рисунке буквой *A*. Но в отличие от первоначального сценария хиггсовское поле будет затем очень медленно (вследствие того, что вблизи *A* кривая весьма полого) эволюционировать к истинному вакууму. Расширение с нарастающей скоростью будет продолжаться, и отдельный «пузырек» приобретет достаточные размеры, чтобы вмещать всю наблюдаемую Вселенную. При низком темпе образования «пузырьков» их столкновения будут редки. Доля пространства, заполненного «пузырьками», по мере эволюции системы будет приближаться к 1, но пространство будет расширяться так быстро, что объем, оставшийся в состоянии ложного вакуума, будет расти со временем. «Пузырьковые» Вселенные будут продолжать образовываться, и нет никакого способа узнать, сколько прошло времени, прежде чем образовался наш собственный «пузырек». Эта картина сильно напоминает модель стационарной Вселенной на очень больших масштабах, но все же

содержимое каждого «пузырька» должно эволюционировать в соответствии со стандартной космологической моделью, дополненной инфляционной фазой.

В РЕТРОСПЕКТИВЕ наиболее революционизирующим космологическим аспектом теории раздувающейся Вселенной является, пожалуй, представление о том, что вещество и энергия в наблюдаемом мире могут возникать практически «из ничего». Это утверждение находится в противоречии со сложившейся за много веков научной традицией, согласно которой ничто не может возникнуть из ничего. Эта традиция восходит по крайней мере к греческому философу Пармениду (V в. до н.э.) и в современную эпоху проявляется в формулировке ряда законов сохранения, которые утверждают, что некоторые физические величины не подвержены изменениям ни в каких физических процессах. Лет десять назад список величин, которые, как считают, должны сохраняться, включал энергию, импульс, момент количества движения, электрический заряд и число барионов.

Поскольку наблюдаемая Вселенная, по-видимому, содержит огромное число барионов и огромную энергию, идея рождения «из ничего» всем, кроме теоретиков, кажется совершенно абсурдной. (Другие перечисленные выше законы сохранения не представляют таких проблем: полный электрический заряд и полный момент количества движения наблюдаемой Вселенной близки к нулю; что же касается полного импульса, то он зависит от движения наблюдателя, и поэтому нельзя выполнить его абсолютные измерения.) С появлением теорий великого объединения теперь кажется вполне разумным, что число барионов не сохраняется. Остается лишь проблема сохранения энергии.

В полной энергии любой системы можно выделить гравитационную и негравитационную части. Гравитационная часть, т.е. энергия самого гравитационного поля, пренебрежимо мала в лабораторных условиях, но весьма важна в космологических масштабах. Негравитационная часть не сохраняется сама по себе; в стандартной космологической модели она резко уменьшается в ходе расширения ранней Вселенной, причем скорость убывания энергии пропорциональна давлению горячего газа. Однако в течение инфляционной фазы рассматриваемая область заполнена ложным вакуумом с высоким отрицательным давлением. В этом случае негравитационная энергия сильно возрастает. По существу вся энергия негравитационной природы обусловлена ускоренным расширением ложного вакуума. Эта энергия выделяется при фазовом переходе и в конечном сче-

* И независимо советским физиком П. И. Фоминым из Харьковского университета (препринт, Киев, ИТФ-73-137р.). — *Прим. ред.*

те идет на образование звезд, планет и т.д. Таким образом, модель раздувающейся Вселенной впервые предлагает приемлемое научное объяснение появления практически всего вещества и энергии в наблюдаемом мире.

При таких обстоятельствах энергия гравитационной природы определяется недостаточно точно, но приближенно можно сказать, что она отрицательна и по величине равна энергии негравитационной природы. Тогда полная энергия равна нулю и согласуется с рождением и эволюцией Вселенной «из ничего».

Если предсказываемое теориями великого объединения несохранение барионного числа подтвердится, то не останется ни одного закона сохранения, который препятствовал бы рождению и эволюции Вселенной «из ничего». Модель раздувающейся Вселенной обеспечивает возможный механизм, посредством которого наблюдаемый мир мог бы эволюционировать из бесконечно малой области. Теперь заманчиво сделать очередной шаг и пофантазировать о том, как вся Вселенная эволюционировала буквально «из ничего».

Множественные причины смертности

Обычно считают, что смерть человека наступает от какой-либо одной причины, например от злокачественной опухоли, сердечно-сосудистого заболевания, несчастного случая. Статистические данные о смертности, публикуемые Национальным центром медицинской статистики (NCHS) США, отражают именно такой подход. Как правило, каждый случай смерти, зарегистрированный в отчетах NCHS, считается наступившим от одного заболевания. Поэтому опасность данного заболевания для населения оценивают, суммируя общее число случаев смерти от него. Однако, судя по данным последних лет, в большинстве случаев человек умирает вследствие нескольких заболеваний. Это дает основание считать, что истинная картина смертности для большой популяции может быть получена только в результате анализа всего множества причин смерти в их взаимосвязи.

Новые данные, опубликованные в издаваемом NCHS журнале «Monthly Vital Statistics Report», представляют собой перечень всех причин, зарегистрированных в свидетельствах о смерти по стране за 1978 г., который был выбран потому, что именно в этом году кончался срок употребления классификации заболеваний, принятой Всемирной организацией здравоохранения в 1968 г. Классификация пересматривается каждые 10 лет, так что данные за 1978 г. можно сравнить с данными предыдущего десятилетия.

Судя по результатам анализа причин смерти в 50 штатах, почти в 75% свидетельствах о случаях смерти, зарегистрированных за этот год, было указано более одной причины смерти. Два заболевания были указаны в ~30% свидетельствах, три — в 25%, 4 и более — в 15%. Правда, следует отметить, что записанные в документах причины далеко не всегда независимы друг от друга.

В стандартном свидетельстве о смерти, которое заполняется лечащим врачом или врачом, оказавшимся рядом с больным в момент его смерти, имеются два раздела, в которых упоминается, чем был болен умерший. В первом разделе указываются последовательно три медицинские причины смерти, а именно: основное заболевание, приведшее к смерти, сопутствующее осложнившее его заболевание и непосредственная причина смерти. Основное заболевание, записанное в свидетельстве о смерти, как раз и есть причина, которая регистрируется в статистике смертности, а на основании этой статистики делается заключение о рас-

пространенности данного заболевания в США. Во втором разделе отмечают прочие заболевания, которые были у больного к моменту смерти и которые также могли сыграть свою роль в ее наступлении, хотя и не основную.

После того как заполнен первый раздел, заболевания, рассматриваемые как причины смерти, считаются связанными между собой. Г. Розенберг, который руководит отделом статистики смертности в NCHS, в качестве типичного примера приводит такую запись в первом разделе свидетельства о смерти: основное заболевание, приведшее к смерти больного, — ишемическая болезнь сердца, осложнившееся заболевание — инфаркт миокарда, непосредственная причина смерти — разрыв миокарда; во втором разделе в данном случае может быть указано, допустим, воспаление легких или грипп.

В последних отчетах перечисляются все заболевания, записанные в обоих разделах свидетельства о смерти, так что теперь можно более точно представить, как часто то или иное заболевание связано со смертью независимо от того, было оно основным или нет. Сотрудники NCHS вычисляют также отношение частоты случаев каждого заболевания к частоте тех случаев, когда оно послужило основной причиной смерти. Чем больше это отношение, тем меньше данное заболевание может претендовать на роль основного в общей картине смертности населения.

Среди наиболее распространенных заболеваний отношение частот сильно варьирует. Так, для злокачественных опухолей оно составляет 1,1, для гипертонической болезни и заболеваний почек — 1,3. Такие низкие величины означают, что если данное заболевание указано в свидетельстве о смерти, то почти наверняка оно действительно является основным. А вот для малокровия этот показатель довольно велик — 8,2, для атеросклероза — 6,5, для воспаления легких — 3,3. Эти заболевания были указаны как основная причина смерти только в части свидетельств, в которых они упомянуты.

Почему для разных заболеваний получаются такие разные цифры? По мнению Р. Каслоу, возглавляющего отдел эпидемиологии и биометрии в Национальном институте аллергии и инфекционных болезней, важна специфичность каждого конкретного заболевания. Чем более специфично заболевание, чем точнее и надежнее поставлен диагноз, тем вероятнее, что оно будет рассматриваться как основная причина смерти. Например, лейкозы, для которых отношение частот равно 1,3, — это небольшая группа очень специфич-

Издательство
МИР
предлагает:

Т. Браун, Г. Лемей
**ХИМИЯ — В ЦЕНТРЕ
НАУК**

В двух частях
Перевод с английского

Продолжение серии учебных пособий, промежуточных между программами для высших и средних учебных заведений и заполняющих некоторый разрыв в химической литературе, образуемый школьными и вузовскими учебниками (См. издания этой серии: Кемпбел Дж. Современная общая химия. 1973. Полинг Л. Химия. 1978. Слейбо У., Персонс Т. Общая химия. 1979 и др.)

1983, 75 л. Цена бр. 40к. за комплект



ных заболеваний, а не просто комплекс симптомов. Притом заключение о лейкозе делается на основании весьма точных диагностических методов и, как правило, довольно надежно.

Снизить показатель могут по меньшей мере два фактора. Если заболевание приводит к тяжелым и опасным последствиям, как это бывает при лейкозе, то оно скорее всего и окажется основной причиной смерти. Д-р Каслоу считает, что при установлении основной причины смерти часто действует «самоубеждение». Например, известно, что ишемическая болезнь сердца у многих больных окончилась смертельным исходом, и врачи часто указывают ее как основную причину смерти независимо от того, какую роль она сыграла в роковой последовательности заболеваний у данного конкретного лица.

Для болезней менее специфичных, как, например, малокровие, обычно получаются более высокие отношения частот. Малокровие, имеющее показатель 8,2, развивается при многих заболеваниях, в том числе при лейкозах. Обычно стараются найти причину малокровия, но не изучают само это состояние. Кроме того, малокровие само по себе редко оканчивается смертью больного, так как оно успешно лечится переливаниями крови.

Такой показатель, как отношение частот, оказывается полезным и при изучении заболеваемости. Так, в США очень часто причиной смерти является септицемия, или «заражение крови» (ее причина — присутствие микроорганизмов внутри сосудистой системы). В 1978 г. она была указана в 51 тыс. свидетельств о смерти. Но при этом ее показатель 6,6, значит, септицемия есть следствие различных основных заболеваний.

Д-р Каслоу с сотрудниками начали исследование с целью установить, почему септицемия все чаще указывается как причина смерти. Возможно, дело в том, что препараты, которыми лечат рак, резко ослабляют иммунный ответ, т.е. нарушают защитные механизмы в организме больного. Увеличивается также употребление антибиотиков — соответственно появляются нечувствительные к ним штаммы бактерий. Все шире применяются «инвазивные» методы диагностики и лечения различных заболеваний у людей пожилого возраста, которые более восприимчивы к инфекциям. Но даже с учетом всех этих обстоятельств нельзя объяснить, почему септицемия все чаще становится причиной смерти. Нужно искать дополнительные факторы, а для этого необходимо проанализировать все свидетельства о смерти, в которых в качестве основного заболевания указана септицемия, и изучить по медицинским документам течение заболевания на конкретных примерах, чтобы

установить, когда и каким образом оно начинается.

Данные о множественности причин смерти могут стать ценной отправной точкой для исследования некоторых синдромов, в том числе и септицемии. Они также дают возможность составить для США общую картину заболеваний, приводящих к смерти. В этой связи д-р Розенберг сказал: «Медицинская общественность считает, что указываемая в свидетельствах основная причина смерти, которая до сего времени считалась показателем смертности, далеко не всегда верно отражает распространенность данного заболевания среди населения. Например, диабет, для которого отношение частот равно 3,9, чаще бывает связан со смертью, чем можно судить по частоте указания его только как основного заболевания. Это особенно верно для таких стран, как США, где население стареет и вследствие этого все больше людей умирают не от одной болезни, а от целого комплекса заболеваний. Концепция «основного заболевания» теряет свое значение, и требуется дополнительная информация, освещающая все множество причин смерти».

Из истории счетных устройств: век XVII

ДЖОН НЕПЕР, барон из Мерчистона, автор полемических произведений в защиту протестантизма и изобретатель различных приспособлений военного назначения — зажигательных зеркал, артиллерийских установок и бронированных, оснащенных оружием повозок, — свой досуг посвящал поиску способов, снижающих «трудоемкость и сложность вычислений». В 1614 г. он опубликовал работу, содержащую описание его изобретения, которому Непер в основном и обязан своей известностью: таблицу логарифмов для облегчения тригонометрических расчетов. Затем в 1617 г., незадолго перед своей смертью, он издал еще один труд — на этот раз описание того, что оказалось предшественником современной вычислительной машины: устройства, предназначенного в помощь «тем, кто предпочитает работать с натуральными числами». Это устройство он назвал рабдологией (от греч. *Rabdo* — битье палками. — *Ред.*), и представляло оно собой набор стержней с написанными на них числами для удобства умножения. В наше время их называют просто палочками (иногда костями) Непера. (Лучшие из этих наборов действительно изготавливались из кости.) Рабдология положила начало целому ряду счетных устройств, появившихся на протяжении XVII в. Проследив последовательность их появления, научный сотрудник Калгарского

	4	5	6	
0	0	0	0	1
5	4	5	6	2
8	0	1	1	2
3	8	0	2	8
	3	6	8	

Умножение по методу «жалюзи»

университета М. Р. Уильямс в журнале "Annals of the History of Computing" дал описание этих устройств. Уильямс расширил наши представления об истории развития счетных машин, обнаружив, в частности, считавшуюся утерянной рукопись с подробным описанием одной из них, относящейся к XVII в.

Прежде всего Уильямс описал идею, лежащую в основе манипулирования палочками Непера. Это действительно древний метод умножения, который еще в XIV в. пришел в Италию из Индии и стал известен как «метод жалюзи» (за сходство внешнего вида используемой в нем таблицы с итальянскими оконными ставнями). В соответствии с этим методом разряды одного из перемножаемых чисел располагаются в верхнем горизонтальном ряду решетки, а разряды другого числа — в ее правом вертикальном столбце, как показано на рисунке. Затем через все клетки решетки проводятся диагонали. В каждую клетку записываются произведения разрядов, причем число десятков — над диагональю, а число единиц — под диагональю. Последовательное суммирование по диагонали цифр в клетках дает искомое произведение. Число десятков при суммировании цифр переносится в высший разряд. В приведенном на рисунке примере 456, умноженное на 128, дает 058368.

Палочки Непера, пишет Уильямс, «были просто набором полос из всех возможных столбцов таблицы метода жалюзи. . . Для умножения 456 на 128 надо выбрать полосы с цифрами 4, 5 и 6 наверху, расположить их рядом и прочитать частичные произведения: 456 на 1, 456 на 2 и 456 на 8. . . Затем для получения окончательного результата эти частичные произведения суммируются». Должно быть, Непер очень сожалел о необходимости суммирования на последнем этапе, и поэтому изобрел «ускоритель умножения». Он представлял собой ящик с большим числом полос с цифрами и полос с отверстиями. Человек выбирал нужные полосы

и, располагая их на крышке ящичка, строил решетку. Последовательно суммируя разряды, которые он видел сквозь отверстия вдоль каждой диагонали, он получал искомое произведение.

В. Шикард, немецкий математик и астроном, видоизменил этот метод. В результате он получил «первый реально действующий механический сумматор». Изобретение Шикарда было ответом на просьбу его коллеги, астронома Иоганна Кеплера. В 1620 г. Кеплер приехал в Тюбинген, чтобы защитить свою мать, обвиненную в колдовстве и брошенную в тюрьму. Здесь при встрече с Шикардом он обсуждал с ним работу Непера. У Шикарда «возникла идея изобретения машины, состоящей из набора палочек Непера и механизма для суммирования получаемых частичных произведений, чтобы автоматизировать процесс нахождения произведения двух чисел». К 1623 г. ему удалось это сделать, и он написал Кеплеру: «Вы бы поразовались, если бы увидели, как оно [устройство] само переносит число десятков из одного столбца в следующий».

Руководствуясь сведениями, содержащимися в заметках Шикарда, и будучи знатоком часового дела XVII в., Бруно фон Фрейтаг Лорингофф из Тюбингенского университета реконструировал это устройство. На вершине сумматора он разместил цилиндры, на которых был выгравирован набор цифр, такой же, как на палочках Непера, так что нужная «палочка» выбиралась поворотом диска с цифрами. Специальные ползунки поворачивали цилиндры, и перед оператором появлялась набранная комбинация цифр; так получалось одноразрядное кратное какого-нибудь числа. Внизу устройства находился накопитель — набор шестерен, при помощи которых эти кратные суммировались. Как только какая-либо шестерня накопителя достигала 9-го разряда, другая шестерня, слева от нее, поворачивалась на один разряд. Это обеспечивалось системой промежуточных шестерен, с которой была связана каждая шестерня накопителя. Правда, устройство Лорингоффа имело большой недостаток: усилие, необходимое для последовательного поразрядного переноса через все шестерни накопителя, могло привести к поломке шестерен. Чтобы исключить операцию, могущую вызвать поломку, Шикард собирался снабдить оператора набором бронзовых колец. Каждое кольцо, отмечает в своей публикации Уильямс, должно было означать, что «перенос произведен по всему накопителю с его конечной шестерни».

Следующим рационализатором был С. Морленд, который находился на службе у Оливера Кромвеля, но на самом деле был «шпионом ссыльного короля Карла». В середине 1660-х годов

он тоже механизировал операции с палочками Непера. В устройстве Морленда цифры располагались по периферии круглых дисков. Число в центре каждого диска указывало, какой палочке он соответствует. Чтобы произвести умножение, в устройство нужно было установить соответствующий набор дисков и поворотом ключа достигалось положение указателя против нужного одноразрядного множителя. С помощью ключа диски можно было повернуть так, чтобы в расположенных в ряд специальных окошках появилась требуемая комбинация чисел. Складывая эти числа, оператор получал разряды произведения. Умножение многозначных чисел выполнялось также при помощи суммирования частичных произведений в «накопителе».

В 1891 г. А. Женай, французский инженер-строитель, произвел окончательную модификацию палочек Непера. Решая задачу, придуманную математиком Э. Люка, любителем занимательных головоломок, он сделал набор палочек, в которых предусматривался перенос из одного разряда в другой. На каждой палочке имелись секторы, в которых размещались цифры от 0 до 9, а в каждом секторе вдоль его левого края были проведены стрелки. Когда для умножения набор палочек располагался в определенном порядке, стрелки указывали оператору последовательность получения всех разрядов произведения. Женаю удалось создать набор палочек и для деления.

Собственная находка Уильямса касается работы Р. Грийе, часовщика Людовика XIV. Известно, что в 1678 г. Грийе опубликовал сообщение о машине, основанной, как он говорил, на «линейках Непера». Единственно, что было ясно из этого сообщения, — это где можно купить такую машину. Полные сведения о ней Уильямс обнаружил в 1977 г., когда нашел 18-страничную рукопись в книге манускриптов, принадлежавшей французскому математику Мишелю Шалю (1793—1880). Как оказалось, в машине Грийе наверху помещался набор накопительных дисков с цифрами, очень похожих на те, что изобрел Морленд; нижнюю часть машины занимал набор палочек Непера. Однако во всей этой истории есть один странный момент. Купив однажды за 165 тыс. франков книгу, содержащую «манускрипты писем таких знаменитых людей, как Юлий Цезарь, Нострадамус и Клеопатра», Шаль проявил излишнюю доверчивость. Продавцом писем, написанных по-французски, был все тот же Э. Люка, любитель занимательной математики. «Тот факт, что Люка способен был однажды пустить в продажу коллекцию поддельных документов, и то, что он, по видимому, был хорошо знаком с операциями над палочками Непера, ставит

под сомнение подлинность манускрипта Грийе». Тем не менее, «если Люка позволил себе поразвлечься за счет Шала, то это у него получилось значительно лучше, чем с письмами Клеопатры».

Издательство МИР предлагает:

ОСНОВЫ ФИЗИОЛОГИИ

Под ред. П. Стёрки
Перевод с английского

Содержание: Основы строения тканей, органов и скелета. Общая и клеточная физиология. Организация нервной системы. Активность нейронов. Сенсорная рецепция и специализированные сенсорные системы (зрение, слух, вестибулярный аппарат, вкус, обоняние). Спинальные рефлексы. Центральные механизмы управления движением, координацией, позой. Высшие функции коры головного мозга и центральный контроль внутренних органов. Механизмы мышечного сокращения. Состав крови, лимфы и тканевой жидкости. Работа сердца и методы ее регистрации (электрокардиография). Анатомо-морфологическая структура и функции систем дыхания, пищеварения, выделения, воспроизведения. Энергетический обмен. Регуляция температуры. Основные метаболические процессы. Эндокринная система. Гормональная регуляция обмена кальция. Гормоны гипоталамуса, гипофиза, щитовидной и поджелудочной желез, надпочечников.

Книга предназначена для студентов биологических и медицинских специальностей, для физиологов и врачей.

1984, 34 л. Цена 2 р. 80 к.



Стоянка индейских охотников с 20-тысячелетней историей заселения

Скальное убежище на территории западной Пенсильвании периодически заселялось людьми приблизительно с 19-го тысячелетия до н.э. и до 1-го тысячелетия н.э.

Результаты раскопок этой стоянки вносят дополнительный аспект в историю появления человека в Западном полушарии

Д.Ж.М. АДОВЕЙЗИО, Р.К. КАРЛАЙЛ

КОГДА в Новом Свете появились первые люди? До недавнего времени в отношении этого вопроса ученые делились на два основных лагеря. Одни утверждали, что миграции людей из Азии в Северную Америку начались 30-40 или более тыс. лет назад. Другие, ссылаясь на отсутствие убедительных доказательств столь ранних переселений, считали, что они начались 15 тыс. лет назад или еще позже. Сегодня результаты почти десятилетних полевых исследований в скальном убежище в западной Пенсильвании, показывают, что правильный ответ заключен где-то между двумя этими цифрами.

Стоянка Мидоукрофт расположена возле реки Огайо в 80 км к западу от Питтсбурга. Она находится на земле, которой владеет Альберт Миллер, знаток истории края, увлекающийся археологией, и была выбрана для исследования скорее случайно чем намеренно. В начале 70-х годов один из авторов этой статьи (Дж. Адовейзио) искал подходящее место для организации полевой практики студентов-археологов Питтсбургского университета. Его коллега историк Ф. Р. Джек предложил обратиться к Миллеру за разрешением на проведение раскопок в скальном убежище, расположенном на его земле. Миллер с готовностью согласился, и в июне 1973 г. работы начались. В настоящей статье мы расскажем о ходе раскопок и объясним, почему данные о необычайно древнем использовании этого убежища охотниками и собирателями вносят новый аспект в историю появления человека в Новом Свете.

Скальное убежище Мидоукрофт расположено на обрывистом северном берегу Кросс-Крика, небольшой реки, текущей с востока на запад и впадающей в Огайо менее чем в 15 км к западу от стоянки. Убежище хорошо продува-

ется — ветры, преимущественно западные, пронесаются у самого его входа. Образованное эрозией глинистых сланцев, подстилающих более устойчивый песчаник Morgantown-Connellsville, убежище имеет сейчас 15 м в ширину и 6 м в глубину — от края навеса до задней стенки. Раньше оно было намного больше, о чем свидетельствуют многочисленные обрушившиеся каменные глыбы и куски песчаника, найденные как на уровне теперешнего дна убежища, так и под ним.

Прежде чем начать раскопки в Мидоукрофте, наша экспедиция составила подробный перечень растительных видов, встречающихся вокруг убежища, внутри него, а также на выше и ниже расположенных склонах. После этого мы приступили к расчистке территории — на 20 м к западу и востоку от центральной точки убежища была снята вся растительность, что позволило изучить рельеф местности и нанести все топографические особенности на карту. Для разбивки местности использовалась рабочая сетка квадратов размером 2 × 2 м. (В дальнейшем при необходимости сторона квадрата могла быть уменьшена до 1, 0,5 и 0,25 м.) На заднюю стенку убежища была нанесена нулевая отметка высоты, так что исследователи располагали точками отсчета в трех измерениях.

Закончив подготовительные работы, мы заложили первую траншею. Она протянулась с юга на север приблизительно на 12 м, начинаясь за пределами нынешней линии стока (т.е. той границы, где вода стекает с края навеса на землю) и уходя в глубь убежища. При раскопках были обнаружены следы других линий стока, смещавшихся со временем по мере обрушивания частей крыши. Это позволило рассчитать, какая часть площади укрытия была защищена от непогоды в предшествующие эпохи.

ВПОСЛЕДУЮЩИЕ несколько сезонов Висходная траншея была расширена к востоку и западу, были заложены также и другие траншеи. К нашему удивлению, отложения дна убежища оказались гораздо мощнее, чем предполагалось. Их общая толщина превышала 5 м. В отложениях мы выявили 11 отчетливых естественных слоев. В каждом слое, если он не подразделялся на микрослои, археологи брали пробы отложений, снимая пласты толщиной 1, 5 и 10 см. Как в основных слоях, так и в естественных подслоях определяли текстуру отложений, их состав, степень плотности, ломкость и вариации окраски. Интересно, что слои и подслои сходного состава и степени плотности издают одинаковый звук, если слегка постучать по ним черенком лопаты. Так даже звук в сочетании с более привычными для полевого исследователя признаками помогал проследить расположение отдельных горизонтов в отложениях дна убежища.

Все 11 слоев мы пронумеровали римскими цифрами, обозначив самый верхний как Слой XI, а самый нижний, не содержащий следов человеческой деятельности, как Слой I. Древнейший из слоев со следами деятельности человека — Слой II — в свою очередь подразделяется на слои IIa и IIb, первый из которых ниже и древнее. Чтобы определить состав слоев, в том числе наличие в них семян, орехов, костей и их фрагментов, пробы отложений из всех слоев, за исключением Слоя IIa, просеивались в сухом виде через сито с 6-миллиметровыми ячейками. Изучение остатков растений и животных позволяет узнать о природной среде обитания древних людей, о том, на каких животных они охотились, что употребляли в пищу. Отложения из Слоя IIa просеивались в сыром виде через сито с 3-миллиметровыми ячейками. Помимо этого довольно поверхностного скри-

нинга брали пробы отложений на каждом раскопанном квадрате стоянки (общая площадь — 147 м² как в пределах нынешней линии стока, так и вне ее).

Эти пробы, взятые в виде пластов толщиной 1,5 и 10 см в каждом из слоев, анализировались двояким образом. Если они были представлены отложениями без признаков теплового воздействия, т.е. включали остатки деятельности человека, не связанные с разведением огня (мусорная яма, хранилище и т.д.), то их погружали в воду, а затем просеивали через ряд сит с постепенно уменьшающимися ячейками (самым мелким было сито с ячейками 0,2 мкм). Если проба была взята на месте кострища или очага, ее погружали не в воду, а в перекись водорода. Это уменьшало вероятность повреждения обгоревших семян, орехов и фрагментов дерева, которые могли встретиться в пробе. В общей сложности было просеяно около 230 м³ отложений.

Эта цифра также включает пробы отложений, взятые из 12 пробных колонок, сделанных в стенках траншеи. Пробы исследовали с помощью многочисленных, в первую очередь геологических, методов. Колонки были сдела-

ны от поверхности почвы до Слоя I, а в двух случаях входили прямо в этот слой. Пробы отложений брали из них с интервалом 5 и 10 см и делили на части, в которых затем измеряли соотношение ила и глины, песка, количество углекислого кальция и относительное содержание микроэлементов в каждом горизонте. Помимо геологических анализов было проведено микроскопическое изучение проб с целью обнаружения мельчайших остатков растений и животных.

Дальнейшим шагом в геологических исследованиях был сбор образцов породы на поверхности самого обрыва. На расстоянии 20 м — от основания песчаника Morgantown-Connellsville, внутри которого образовалось убежище, и до вершины этой геологической формации — с интервалом 20-25 см была взята серия образцов, из которых затем изготавливались тонкие срезы. После изучения их состава и зернистости и сопоставления их по этим показателям с аналогичными образцами, взятыми из песчаника, обрушившегося с крыши убежища, определяли характер и механизм сформировавшей убежище эрозии.

НАХОДКИ, обнаруженные в убежище Мидоукрофт между верхними частями Слоя II и Слоя IX, в основном относятся к культурному периоду, называемому американскими археологами вудлендским. Многочисленные измерения возраста радиоуглеродным методом свидетельствуют, что этот период (начало его в Мидоукрофте относится примерно к 1115 г. до н.э.) охватывает промежуток времени приблизительно 2250-2500 лет. Для описания наиболее значительных находок вудлендского периода, сделанных в убежище, лучше придерживаться не того порядка, в каком они были обнаружены, а обратного, т.е. от прошлого к настоящему. Остатки, относящиеся к самому раннему вудлендскому периоду, обнаружены в верхней части Слоя III. Здесь была найдена большая яма от очага, содержащая обломки различных глиняных сосудов. При изготовлении этих изделий в глину добавлялся истолченный в порошок бурый железняк или песчаник. Сосуды украшены шнуровым орнаментом. Это самые древние образцы индейской керамики, обнаруженные в верховьях реки Огайо. Сохранившиеся семена тыквы примерно того



РАСКОПКИ в скальном убежище Мидоукрофт. На стенах раскопа — белые метки, с помощью которых обозначены основные слои стоянки, местонахождение таких важных деталей, как очаги, хозяйственные ямы и т.д.; показаны места, откуда были взяты образцы для различных видов анали-

за, в том числе и пыльцевого. На глубине свыше 5 м археологи достигли стерильного пласта (Слой I). Лежащие над ним 10 слоев несут следы существования трех культур: палеоиндейской, архаической и вудлендской.



СКАЛЬНОЕ УБЕЖИЩЕ Мидоукрофт находится на северном берегу реки Кросс-Крик, примерно в 80 км от Питтсбурга. Раскопки были начаты здесь студентами-археологами летом 1973 г.

же возраста (1115 г. до н.э.) свидетельствуют, что земледелием, являющимся одним из основных признаков вудлендской культуры, начали заниматься в этом районе на 500 с лишним лет раньше, чем предполагалось прежде. О том, что занятие земледелием не прекращалось, говорит находка семени тыквы в нижней части Слоя IV, датированной приблизительно 865 г. до н.э. находка в верхней части того же слоя (375 — 340г. до н.э.) обуглившегося початка кукурузы устанавливает новый, более ранний рубеж разведения этой зерновой культуры в верховьях Огайо.

Начало развития земледелия примерно совпадает с окончанием периода довольно интенсивного использования убежища Мидоукрофт. Стоянка располагалась в такой местности, где отсутствовали обширные заливные земли, на которых обыкновенно селились и разводили сады люди вудлендского периода. Скальное убежище продолжало служить пристанищем для охотников, которые приносили сюда туши диких животных и разделявали их. Правда, доказательства того, что все происходило именно так, немногочисленны. Окончательно покинуть убежище людей, без сомнения, вынудило то обстоятельство, что между 300 и 600 гг. н.э. произошел большой обвал восточного края потолка. В результате площадь защищенного пространства уменьшилась по крайней мере на 20 %. К тому времени, когда в начале XVIII в. первые европейские переселенцы появились в этой части Пенсильвании, район Мидоукрофт выглядел необитаемым.

ДО ВУДЛЕНДСКОГО периода убежище Мидоукрофт на протяжении 7 тыс. лет посещали охотники и собиратели, представители более ранней

индейской культуры — архаической. Если идти от древних к молодым слоям, следы их присутствия появляются в верхней части Слоя IIa (около 8,5 — 8 тыс. лет до н.э.) и исчезают чуть ниже верхней части Слоя III (приблизительно конец 2 тысячелетия до н.э.). Начало архаического периода в Мидоукрофте почти совпадает с отступлением последнего ледникового щита в Северной Америке и началом голоцена — современной геологической эпохи.

С этого времени и вплоть до прихода людей вудлендского периода убежище и окружающая его местность периодически посещались группами древних индейцев, занимавшихся охотой и собирательством. Можно почти определенно утверждать, что на протяжении архаического периода число людей, находивших убежище в Мидоукрофте, постоянно увеличивалось. Не ясно, однако, было ли это связано с приходом более крупных групп, большим количеством мелких групп или просто с большей продолжительностью и частотой посещений.

Наведывавшиеся в убежище люди вели сезонную охоту на животных — в тех местах в изобилии водились олени, лоси и мелкая дичь. В пищу они употребляли также и растительность. Это подтверждается наличием в мусорных ямах и ямах-хранилищах, среди других растительных остатков, многих тысяч ореховых скорлупок, семян каркаса и частей этого растения. Охотники архаического периода оставили после себя также большое количество каменных наконечников и других орудий из камня, кости и дерева. Действительно, наиболее интенсивное использование убежища, по-видимому, имело место именно в конце архаического периода.

Излишне говорить, как мы были удовлетворены тем, что на месте, вы-

бранном для проведения полевой практики студентов, удалось обнаружить находки, относящиеся к 10-тысячелетнему периоду его заселения доисторическим человеком. Никто не мог всерьез ожидать, что часть Слоя IIa, лежащая между древними архаическими горизонтами сверху и «стерильным» Слоем I внизу, содержит какие-либо сюрпризы. Во всяком случае, в конце полевого сезона 1973 г. мы отправили первую партию из 100 образцов древесного угля, охватывающих всю последовательность отложений, Роберту Стакенрету в лабораторию радиационной биологии Смитсоновского института для радиоуглеродного анализа.

Первые результаты стали известны зимой 1973/74 г. Некоторые образцы Стакенрет датировал 12-м тысячелетием до н.э. Поначалу мы отнеслись к этой цифре с изрядной долей скептицизма. В то время, подобно многим другим консервативно настроенным ученым, занимающимся древней историей Нового Света, мы придерживались той точки зрения, что человек появился на Американском континенте где-то к концу плейстоцена, т.е. около 15 тыс. лет назад.

В конце полевого сезона 1974 г. и в течение последующих двух лет в Смитсоновский институт было отправлено много новых образцов. К зиме 1978 г., когда были получены последние датировки, никто из имевших отношение к проекту исследований в Мидоукрофте уже не сомневался в сравнительно древнем возрасте нижней части Слоя IIa (Нижний Слой IIa). Цепь датировок по радиоуглеродному анализу образцовывала четкую последовательность, которая хорошо согласовывалась со стратиграфией стоянки. Самые древние датировки варьировали теперь от 9350 ± 700 лет до н.э. (Средний Слой IIa) до $17\ 650 \pm 2400$ лет до н.э. (Нижний Слой IIa). Недавнее определение возраста одного образца с помощью радиоуглеродного метода, проведенное в коммерческой лаборатории, дало еще более раннюю датировку — $19\ 120 \pm 475$ лет до н.э. Однако этот образец, взятый из самого глубокого горизонта Слоя IIa, по-видимому, не был связан с деятельностью человека.

Древнейшие обитатели Западного полушария были создателями культуры, известной под названием «палеоиндейской». Ее характерные признаки — охота на крупных животных (ныне в большинстве своем вымерших) и изготовление изящных каменных желобчатых наконечников метательных орудий. Свидетельства того, что палеоиндейцы достигли убежища Мидоукрофт, расположенного на востоке Северной Америки, более 19 тыс. лет назад, вызвали бурные споры среди американских археологов. Камнем преткновения было определение точной

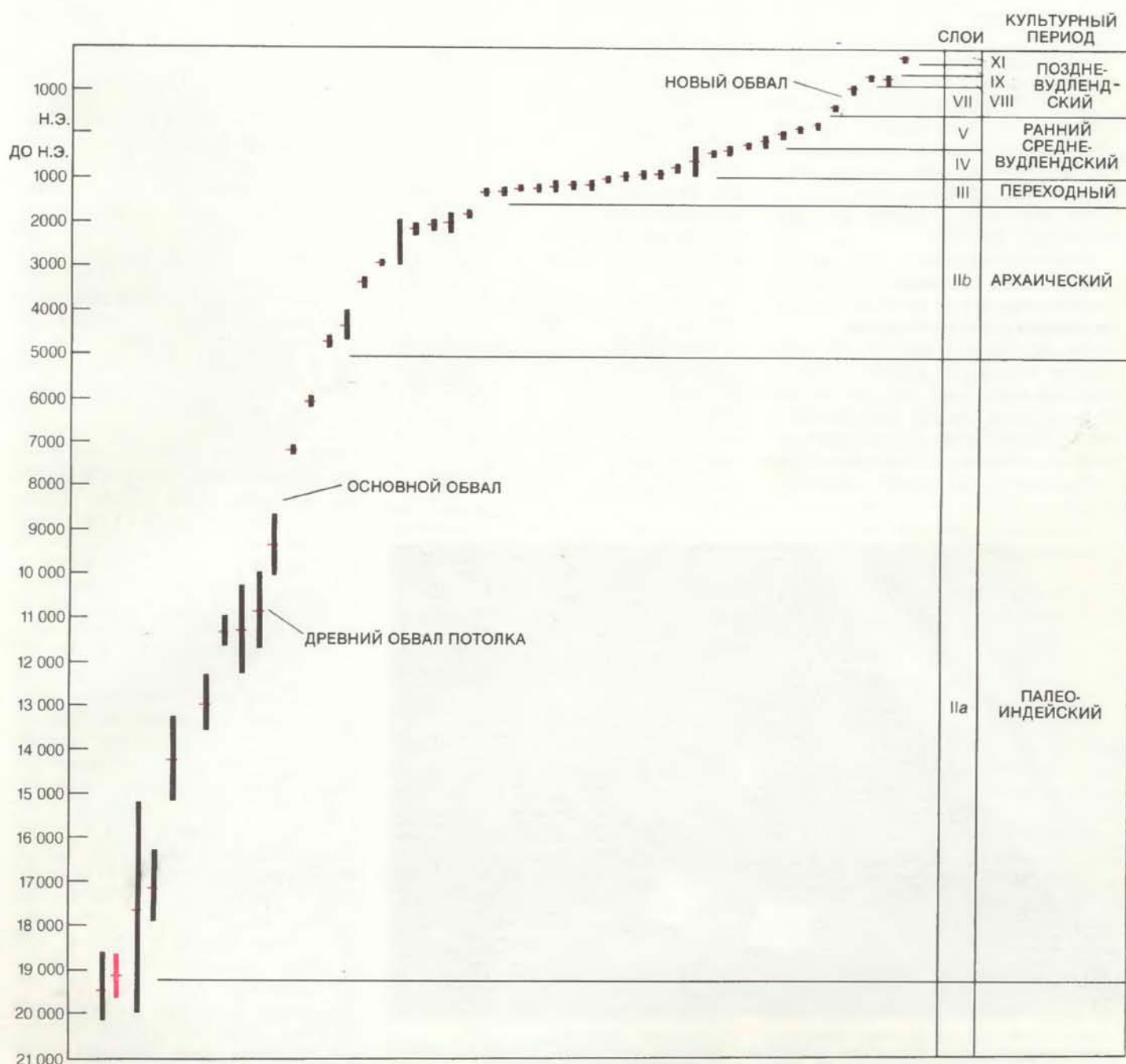
даты первых миграций людей из Азии по мосту суши, где ныне находится Берингов пролив. Если к 17-му тысячелетию до н.э. некоторые из этих людей появляются в верховьях Огайо, то, прибавив какое-то время, необходимое для пересечения континента в восточном направлении, логично допустить, что они прошли по мосту суши как минимум на 2 или 3 тыс. лет раньше. Даже эта цифра оказывалась на несколько тысячелетий больше той, которую обычно приписывали первым волнам миграций — 13 тыс. лет до н.э. или еще позже. Приверженцам прежних

взглядов оставалось прибегнуть к последнему аргументу: ранние датировки, связанные с Мидоукрофтом, ошибочны и объясняются загрязнением образцов древесного угля, выбранных для анализа.

МОГЛО ли это загрязнение действительно иметь место? Согласно одной версии, угольные залегаания, расположенные в километре от стоянки, были источником «древнего угля», который и послужил причиной загрязнения мидоукрофтовских образцов и приписанной им более древней датировки. Дру-

гое объяснение основывалось на том, что грунтовая вода на месте стоянки была обогащена растворенным в ней «древним углем» (также из угольных залегааний), и это повлияло на образцы.

В действительности предварительная процедура, обязательно проводившаяся в Смитсоновской лаборатории, включала в себя микроскопическое исследование всех образцов на предмет выявления возможных примесей. Ни в одном из присланных образцов таких примесей обнаружено не было. Теперь о возможности загрязнения растворенным «древним углем». Мы отправили



ДАТИРОВКИ ОБРАЗЦОВ древесного угля из скального убежища, полученные радиоуглеродным методом. Самым древним образцам соответствуют вертикальные столбцы расположенные в левой части диаграммы, более поздним — в правой. Цветной поперечной черточкой в каждом

случае отмечен средний возраст. Все датировки, за исключением одной (цветной столбец в левом нижнем углу) получены в лаборатории радиационной биологии Смитсоновского института.

Р. Стакенрету образцы дерева, относившиеся к геологическому периоду, особенно богатому каменным углем и получившему название каменноугольный, или карбон (в США — «пенсильванский»). Это был единственно возможный источник «древнего угля» в грунтовых водах в районе убежища. Однако Стакенрету не удалось растворить образцы, хотя для этого он кипятил их в воде и ряде других растворителей. Таким образом, очевидно, что ни тот ни другой из предполагаемых источников загрязнения не мог оказать влияния на образцы из Мидоукрофта.

Те, кто не верит данным, свидетельствующим о древнем возрасте стоянки, забывают еще об одном аргументе, который явно не в их пользу. Едва ли механизм загрязнения, связанный с грунтовыми водами, выборочно воздействовал только на самые древние слои. А ведь датировки более поздних образцов, соответствующих окончательно палеоиндейского, архаического, вудлендского периодов, не вызывают возражений у наших оппонентов. На самом деле, эти датировки выглядят на редкость логично.

Добавим к сказанному, что один образец, взятый на большой глубине и отправленный в коммерческую лабораторию, был проанализирован «вслепую». Мы не сообщили ни названия стоянки, ни стратиграфического положения образца (Слой Па), ограничившись словами, что он был найден в районе Кросс-Крика и его возраст, вероятно, превышает 9 тыс. лет. Сама методика анализа и подсчета результа-

тов в этой лаборатории была иной, чем в Смитсоновском институте. Этот образец оказался самым древним из всех взятых на стоянке — его возраст составил $19\,120 \pm 475$ лет до н.э., что хорошо согласовывалось с большой глубиной его залегания.

КАКОВЫ самые древние культурные остатки, обнаруженные в Мидоукрофте? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно описать Слой Па и подробно охарактеризовать его датировки. В основном слой состоит из отложенных, образовавшихся преимущественно в процессе выветривания потолка и стен убежища. Его можно разделить на три подслоя неодинаковой толщины. Поверх самого верхнего подслоя — Верхнего Слоя II — находился культурный слой, датированный по радиоуглеродному анализу 6060 ± 110 г. до н.э. Более глубокий культурный слой в том же подслое относится к 7125 ± 115 г. до н.э. Основание подслоя представлено большим количеством обрушившегося скального потолка, служащего границей между Верхним Слоем Па (ранний архаический) и Средним Слоем Па (палеоиндейский). Непосредственно под скальным потолком обнаружен еще один культурный слой более древнего возраста — 9350 ± 700 г. до н.э. Для второго подслоя, лежащего над другим слоем скального потолка, точных датировок получено не было. Под обрушившейся скальной породой, поверх Нижнего Слоя Па, находился культурный слой, образец из которого был датирован $10\,850 \pm 870$ г. до н.э. Возраст 7

других образцов, взятых из этого самого глубокого подслоя, варьировал от $11\,290 \pm 1010$ до $17\,650 \pm 2400$ г. до н.э.

Округляя эти цифры, можно сказать, что Верхний Слой Па датируется от 9000 до 6000 г. до н.э. и, следовательно, целиком относится к голоцену. В свою очередь Средний Слой Па датируется от 11 000 до 9000 г. до н.э. и относится к концу плейстоцена. И, наконец, те части Нижнего Слоя Па, которые несут следы человеческой деятельности, можно датировать 17 500 — 11 000 г. до н.э.

Самым древним свидетельством использования каменных орудий в Мидоукрофте служат обнаруженные там 123 орудия и их обломки, а также несколько сотен отщепов — отходов каменного производства. Все они найдены в Нижнем и Среднем Слое Па. Некоторые орудия были обработаны с двух сторон, другие (несколько ножей) — только с одной. Среди последних выделяется своей формой нож «мунгаи», названный нами в честь другой стоянки, расположенной на Кросс-Крике, Мунгаи-Фарм. Были найдены также пластины, отщепы неопределенной формы и фрагменты нуклеусов, от которых отбивались заготовки для орудий.

Первый и самый древний наконечник каменного метательного орудия найден в верхней части Среднего Слоя Па. Мы решили назвать его «ланцетовидным Миллера» в честь Альберта Миллера. Другие наконечники того же типа были обнаружены на стоянках Мунгаи-Фарм, Першина (раскопки там будут продолжены этим летом) и в других местах бассейна Кросс-Крика. Однако до сего времени ни один из наконечников типа «ланцетовидный Миллера» не был найден в связи со стратиграфией стоянки, позволившей бы определить его возраст. «Ланцетовидный Миллера» из Среднего Слоя Па можно, пожалуй, отнести к числу самых древних наконечников, обнаруженных на сегодняшний день в восточной части Северной Америки. Возможно, на этой территории он предшествовал широко распространенным палеоиндейским наконечникам, называемым «кловис».

Поскольку самые глубокие слои мидоукрофской стоянки лежали за пределами нынешней линии стока, органические вещества в них плохо сохранились. К счастью, археологам удалось собрать достаточно материала, дающего представление о природе этой местности в момент прихода первых палеоиндейцев. Например, судя по пыльцевым и другим растительным остаткам, в тех местах росли лиственные и хвойные леса. Охотники могли довольствоваться белохвостым оленем и дичью помельче — бурундуками и летягами. Этим, конечно, не исчерпывалось разнообразие фауны в районе Мидоукрофта, но остатки других ви-



НАКОНЕЧНИК МЕТАТЕЛЬНОГО ОРУДИЯ (над сантиметровой линейкой), лежащий на месте находки и частично очищенный от песчаной породы. Археологи назвали этот и другие подобные ему наконечники, обнаруженные в этом районе, «ланцетовидными Миллера» в честь А. Миллера — владельца земли, на которой расположено скальное убежище Мидоукрофт. Это один из древнейших палеоиндейских наконечников, найденных до сего времени к востоку от реки Миссисипи. Его датировка колеблется от $10\,850 \pm 870$ до 9350 ± 700 г. до н.э.

дов животных не сохранились в самых нижних слоях стоянки.

КАК НИ ВЕЛИКО значение того факта, что в западной Пенсильвании обитали охотничьи племена приблизительно 16-19 тыс. лет назад, основное содержание Археологического проекта Мидоукрофт — Кросс-Крик выходит далеко за пределы изучения только древнейших горизонтов стоянки. Помимо анализа слоев, относящихся к архаическому и вудлендскому периодам, мы планируем провести комплексное обследование всего бассейна реки Кросс-Крик на площади около 140 км², начиная от места впадения ее в Огайо и вплоть до восточных и юго-восточных ее истоков. С 1973 по 1978 г. археологи обнаружили на этой территории 231 стоянку древнего человека. 17 из них были тщательно обследованы, а 2 — полностью раскопаны. На стоянках найдены орудия палеоиндейского, архаического и вудлендского периодов.

Археологи, участвующие в проекте «Мидоукрофт — Кросс-Крик», собрали около 20 тыс. орудий — из камня, кости и других материалов. Зоологи составили коллекцию из 1 млн. костей животных, а ботаники — из 1,4 млн. растительных образцов. Число геологических образцов насчитывает многие тысячи. По этим материалам сейчас подготавливаются (или уже подготовлены) данные для обработки на ЭВМ. Благодаря им мы получили беспрецедентную возможность оценить, как происходила адаптация различных человеческих популяций, живущих в условиях одной водной системы, на протяжении почти 20 тысячелетий.

До окончания проекта можно попытаться ответить еще на множество вопросов. Например (в отношении завершающей фазы архаического периода), какое воздействие оказал постплейстоценовый климат на людей, живших в районе Кросс-Крика? Способствовало ли изменение климата увеличению числа архаических стоянок и возникновению «базовых лагерей» в скальном убежище и других местах? Интересно также установить, имеется ли связь между уменьшением числа диких растений и началом культивирования тыквы и кукурузы в вудлендский период или чем было вызвано исчезновение «базовых лагерей» в Мидоукрофте и вообще в районе Кросс-Крика. Если даже наш проект ограничится только этим, он все равно не утратит своего значения как небывало успешная попытка создать комплексную основу для интенсивного изучения экологии одной области на протяжении длительного исторического периода. Мы надеемся, что такое обилие информации окажется полезным не только для тех, кто занимается древней историей, но и для специалистов из других областей науки.

Человек или мышь?

СТЕХ ПОР как в 1628 г. Уильям Гарвей опубликовал свой знаменитый трактат «Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных», открыв тем самым эру современной экспериментальной физиологии, в основе успехов медицинской науки, как правило, лежат опыты на лабораторных животных. В наше время в США ежегодно используются миллионы крыс и мышей, многие тысячи кроликов, собак, кошек и других животных. Они нужны и в биологических исследованиях, и для получения вакцин, и при разработке новых методов хирургического и медикаментозного лечения, и для изучения проблем питания, и для тестирования потенциальных канцерогенов; с их помощью определяют эффективность и безопасность новых фармацевтических препаратов. И вся эта деятельность под угрозой из-за того, что возникла и развивается тенденция резко ограничить или даже запретить использование животных в научных исследованиях.

Число организаций, протестующих против экспериментов на животных, все увеличивается. Во многих штатах уже приняты законодательные меры, ограничивающие использование животных в исследовательских целях. В конгрессе США ожидается рассмотрение законопроектов по этому поводу. Порой активные «защитники» даже врываются в лаборатории, чтобы «освободить» животных, на которых ставят опыты. Один раз дело касалось собак с вживленными стимуляторами сердечного ритма, другой — крыс, на которых изучали болезнь Альцгеймера (старческое поражение центральной нервной системы).

Наиболее важная тенденция движения в защиту лабораторных животных состоит, однако, не в расширении и усилении действий, направленных против экспериментов на них, а в изменении концептуальной основы движения. Если раньше беспокоились о «здоровье» животных, то теперь ратуют за их «права». Утверждается, что все существа, обладающие органами чувств, имеют неотъемлемое законное право на жизнь и на ее защиту, и человек не полномочен экспериментировать на живых существах других видов независимо от того, какую пользу получают от этого люди, так что опыты на животных — такое же достойное порицания явление, как расовая или половая дискриминация.

Некоторые группы защитников животных полностью приняли концепцию «прав» и требуют запрещения всех экспериментов. Остальных же, и их

большинство, заботит в основном здоровье животных, и они считают, что экспериментальные исследования надо лишь ограничить и проводить под строгим контролем. Но «аболиционисты» оказывают все возрастающее давление на «ограничителей» и нередко пользуются солидной поддержкой общественности. По данным редакции «The Boston Globe», на вопрос: «Считаете ли Вы, что ученым следует позволить экспериментировать на животных?» — положительно ответили только 1/3 опрошенных. В другом опросе, устроенном журналом «Glamour», 59% людей заявили, что согласны лечиться лекарствами, не проверенными на животных, пусть это и рискованно.

Даже наименее воинственные противники экспериментов на животных считают, что очень многие опыты либо вообще не являются необходимыми, либо представляют собой излишние повторы, и что животные, следовательно, часто страдают зря. Те, кто ничего не имеет против медико-биологических экспериментов, в то же время резко возражают против исследований поведения, считая их капризом ученых, ненужным для человечества. Они полагают, что эти опыты вполне можно заменить, например, изучением математических моделей или составлением тестов, которые осуществимы в бактериях или на культурах клеток животных или человека. Говорят даже о том, что некоторые научные сотрудники предпочитают работать на животных только потому, что им лень разрабатывать другие методы или, еще того хуже, что они жестоки по своей натуре.

Ученые мало обращают внимания на эти обвинения, точно так же как когда-то биологи и сторонники теории эволюции игнорировали возражения и нападки креационистов; с их точки зрения, необходимость и ценность экспериментальных исследований настолько очевидны, что не нуждаются в защите. В 1946 г. было основано в Вашингтоне Национальное общество медицинских исследований с целью «обеспечить прогресс в изучении заболеваний человека и животных». Его деятельность направлена главным образом на то, чтобы не допускать административных ограничений экспериментальных исследований, разрабатывать улучшенные методики и приемы лабораторной работы и развивать вспомогательные методы, которые могли бы заменить некоторые опыты на животных. В настоящее время создан Фонд медико-биологических исследований, руководство которого находится в Уолтэме, шт. Массачусетс. Его цель — добиться того, чтобы широкая общественность осознала важность и не-

обходимость экспериментирования на животных.

Сотрудники Фонда составили большой список научных достижений в биологии и медицине, которые оказались возможными только благодаря экспериментальным исследованиям на животных. Параллельно приводятся данные и о том, что методы *in vitro* применяются везде, где это возможно, хотя бы потому только, что они быстрее, точнее и гораздо дешевле. Но чаще всего никакой самый совершенный эксперимент *in vitro* не заменяет исследований на живом организме. Они признают, что иногда опытами на животных злоупотребляют, но утверждают при этом, что добросовестные исследователи стремятся при малейшей возможности избегать этого.

Нормы содержания лабораторных животных, ухода за ними и лечения (кроме грызунов) установлены законом о защите животных от 1966 г. Лаборатории, в которых работают с животными, находятся под контролем Службы инспекции состояния животных и растений (APHIS) министерства сельского хозяйства США, но сотрудники этого учреждения не имеют права вмешиваться в ход научных исследований. С 1963 г. в системе Национальных институтов здравоохранения (N.I.H) установили более конкретные правила использования лабораторных животных и ухода за ними для учреждений, получающих дотации от N.I.H. Каждое учреждение должно гарантировать соблюдение вышеуказанных правил, причем необходимо иметь специальное разрешение от Американской ассоциации по аккредитации ухода за лабораторными животными либо письменное свидетельство организованного внутри учреждения комитета, контролирующего обращение с животными, о согласии с установленными правилами и их выполнении. Инспекторы N.I.H. контролируют соблюдение норм на местах.

Общее количество животных, используемых в США для научных исследований и различного рода тестирования, оценивается весьма по-разному. Наиболее надежная цифра, установленная в 1978 г. в результате исследования, проведенного Институтом поставок лабораторных животных, входящим в систему. Национальной академии наук, составляет 20 млн., что на 40% меньше, чем в 1968 г. Более 95% из них — это крысы, мыши и прочие грызуны. На долю собак и кошек приходится, видимо, 1—2%, а на долю низших приматов — менее 1%. Около 40% животных используется в фундаментальных исследованиях, 8% — в учебных целях и в экспериментальной хирургии, 26% — для демонстрации положительного эффекта тех или иных продуктов, 20% — для проверки без-

вредности продуктов и 6% — для прочих целей.

Лабораторных крыс и мышей, а также большинство приматов, кошек и собак выращивают для научных исследований специальные поставщики, имеющие официальное разрешение. Часть собак и кошек поступает из живодерен, пополняющихся за счет отлова бездомных животных. Необходимо заметить, что в живодернях уничтожается за год до 15 млн. собак, тогда как в научных исследованиях за то же время используют в среднем 400 тыс. Защитники прав животных тем не менее протестуют против передачи животных из живодерен в научные учреждения — они предпочитают, чтобы их убивали «гуманными» способами. В результате в шт. Нью-Йорк в 1980 г. было запрещено продавать животных из живодерен в научно-исследовательские лаборатории. Такие же постановления в прошлом году были приняты в шт. Нью-Гэмпшир и Массачусетс, а в этом году в шт. Мэн. В Массачусетсе предполагается в 1986 г. запретить даже ввоз животных для лабораторных исследований из других штатов. В Калифорнии рассматриваются два подобных законопроекта, оба уже приняты в одной из палат законодательного органа штата. Один из них, который, кстати, поддерживается очень многими, должен оградить от использования в исследовательских целях тех животных, которые попадают под категорию домашних любимцев. Другой не только запретит передачу животных из живодерен, но и признает противозаконным подвергать собак и кошек «боли, которая вызывает страдания».

В обеих палатах конгресса США законопроекты о возобновлении программы контроля за животными в N.I.H. предусматривают 18-месячное исследование условий, в которых проводятся эксперименты на животных, с целью определить современный уровень таких работ и возможности замены их другими методами. Организации, занимающиеся медико-биологическими исследованиями, поддерживают это. Предлагается также сделать правила работы с животными, разработанные и применяемые под контролем N.I.H., не административными, а законодательными, и, кроме того, уточнить состав внутриинституционных комитетов по уходу за животными, в которые должны войти лица, не являющиеся сотрудниками данного учреждения.

Более широкий законопроект, представленный сенатором от шт. Канзас Р. Дулом, включает поправку к основному закону о защите животных. Он предлагает сделать правила работы с животными, разработанные N.I.H., обязательными и стандартными для всех научных учреждений, а не только

для тех, которые получают финансовую поддержку от N.I.H. Этот законопроект потребует также сделать доступными для общественности протоколы и методики научных исследований (в настоящее время они не подлежат контролю со стороны APHIS), чтобы можно было проверять их соответствие установленным нормам обращения с животными.

Космический катализ

Из ЧЕТЫРЕХ известных в природе фундаментальных сил в первые мгновения после Большого взрыва «индивидуально» проявлялась только гравитация. Остальные три фундаментальных взаимодействия — электромагнитное, слабое и сильное — были объединены и вызвали непрерывные превращения элементарных частиц. При этом одним из наиболее интересных эффектов мог быть распад протона — частицы, которая до недавнего времени считалась стабильной. Согласно теории великого объединения, распад протона не может происходить при температуре ниже 10^{30} К, поэтому во всех практических приложениях протон по-прежнему можно считать стабильной частицей. При господствующих во Вселенной условиях реакция распада протона должна идти очень медленно: физики считают, что в вакууме время жизни протона превышает $6,5 \cdot 10^{31}$ лет. Однако недавно было теоретически показано, что в присутствии некоторых экзотических частиц распад протона может ускориться. Частицами, ускоряющими этот процесс, являются так называемые магнитные монополи.

Существование магнитного монополя предсказывается почти во всех вариантах теорий великого объединения. Эти частицы не имеют электрического заряда, но обладают магнитным зарядом. Физики-теоретики расходятся во мнениях по вопросу о строении монополей и их количестве во Вселенной, однако все они считают, что монополю имеет необычно большую для элементарных частиц массу — по-видимому, 10^{16} — 10^{17} масс протона. Такая тяжелая частица не может рождаться где-либо в современной Вселенной. Плотность энергии во Вселенной была достаточной для образования тяжелых магнитных монополей в свободном состоянии только в первые 10^{-35} с после Большого взрыва. Ныне существующие монополи — если они, конечно, существуют, — представляют собой стабильный побочный продукт той давней эпохи.

В первоначальных вариантах теорий великого объединения идея о том, что монополи могут служить катализатором в реакции распада протона, не была сформулирована в явном виде. Об-

ший теоретический механизм распада протона был предложен С. Адлером из Института высших исследований в Принстоне (шт. Нью-Джерси), Дж. Беллом из ЦЕРНа (Женева) и Р. Джекивом из Массачусетского технологического института. В 1981 г. В. А. Рубаков из Института ядерных исследований АН СССР (Москва) выдвинул гипотезу о том, что присутствие монополя может резко ускорить этот процесс. В 1982 г. механизм распада протона рассматривал также Ф. Вильчек, работающий в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре. Каталитические свойства монополя, как оказалось, непосредственно определяются его структурой.

В простейшем варианте теорий великого объединения монополю представляет собой солитон — сгустки полей, связанных с единым взаимодействием, которыми была заполнена Вселенная в первое мгновение после своего рождения. По мере расширения и охлаждения Вселенной поля единого взаимодействия исчезли, и остались лишь их сгустки в монополях. Согласно квантовой теории любая сила вызывается обменом векторными бозонами — частицами, передающими взаимодействие. Монополь можно рассматривать как совокупность примерно ста векторных бозонов, переносящих единое взаимодействие. Ядро монополя представляет собой как бы горячий уголек, в котором сохранился «жар» молодой Вселенной. Если подобный сгусток векторных бозонов проходит вблизи протона, он почти мгновенно распадается.

Когда впервые была рассмотрена возможность монополярного катализа, казалось маловероятным, что этот процесс можно рассматривать в качестве сколько-нибудь эффективного механизма ускорения распада протона. Теория великого объединения предсказывает, что, несмотря на свою огромную массу, монополю должен иметь невероятно маленький размер — примерно в 10^{14} раз меньше протона. По мнению К. Каллана из Принстонского университета, если бы воздействие на протон определялось только размером монополя, то он почти не оказывал бы влияния на распад протона.

Однако расчеты Каллана показали, что магнитное поле монополя может сильно взаимодействовать с магнитным моментом протона*. В квантовой механике частица представляется в виде волны с разными значениями углового момента. Одна из компонент этой волны, которая соответствует нулевому значению момента, при прохожде-

нии протона достаточно близко к монополю втягивается в ядро монополя и подвергается воздействию магнитного поля последнего. В ядре монополя эта компонента взаимодействует с векторными бозонами — переносчиками единого взаимодействия. В результате протон может распадаться на позитрон и нейтральный пи-мезон с выделением огромного количества энергии. Монополь же не подвергается никаким превращениям и может продолжать выступать в роли катализатора распада других протонов.

Взаимодействие монополя с протоном пока остается лишь теоретическим предсказанием: до сих пор экспериментально не наблюдался ни сам монополю, ни распад протона. Тем не менее теоретические разработки в этой области постоянно предлагают новые интересные эксперименты для усовершенствования теории великого объединения. Экспериментаторы предприняли многочисленные попытки установить более высокую верхнюю границу времени жизни протона и более низкую границу плотности монополей во Вселенной. А поскольку скорость самопроизвольного распада протона в присутствии монополей резко возрастает, обнаружение более высокой скорости распада протона можно было бы рассматривать как свидетельство более высокой плотности монополей.

М. Тернер из Чикагского университета считает, что наиболее надежная верхняя граница плотности монополей может быть получена путем измерения излучения астрофизических объектов. Согласно его теории, свободно перемещающиеся в космическом пространстве монополи могут захватываться массивными объектами, такими, например, как звезды. Из-за своей большой массы монополю немедленно «опускается» к центру звезды и там начинается, по выражению Тернера, «пожирать» нуклоны, т.е. вызывать один за другим акты распада протонов и нейтронов; скорость этого процесса зависит от плотности вещества внутри звезды. В каждом акте распада нуклона выделяется энергия (примерно 1 ГэВ), которая покидает звезду в виде теплового излучения. Суммарная интенсивность излучения зависит от плотности звезды и числа захваченных звездой за время ее жизни монополей. Это число в свою очередь зависит от возраста звезды и площади ее поперечного сечения, а также от плотности монополей в пространстве.

Исходя из предложенного Тернером механизма можно получить минимальную оценку верхней границы плотности монополей путем измерения рентгеновского излучения нейтронной звезды — наиболее плотного из обнаруженных до настоящего времени космических объектов. К этим оценкам,

однако, нужно подходить с осторожностью, поскольку в них предполагается, что все тепловое излучение звезды обусловлено распадом нуклонов, вызванным их взаимодействием с монополями. Наблюдения рентгеновского пульсара 1929 + 10, проведенные с помощью установленного на борту спутника «Эйнштейн» рентгеновского телескопа, дали максимальный верхний предел потока монополей в 10^{-21} монополей на квадратный сантиметр в год. Это эквивалентно такой плотности потока, при которой через площадь, занимаемую г. Чикаго, проходит один монополю в год. Полученная оценка снижается еще в миллион раз, если учесть, что все нейтронные звезды образовались в результате эволюции обычных звезд. Поэтому в их излучение вносят вклад монополи, захваченные за время жизни этих звезд, которое может быть значительно больше времени жизни нейтронных звезд. Даже поток монополей в один «чикаго» в год, падающий на Землю, за 10^{18} лет приведет к распаду всех нуклонов, составляющих вещество Земли.

Издательство
МИР
предлагает:

ВОДА В ПОЛИМЕРАХ

Под ред. С. Роуланда
Перевод с английского

Книга посвящена вопросам взаимодействия воды как с биологическими, так и с синтетическими полимерами.

Содержание: Структура воды. Макро- и микровзаимодействие между водой и полимерами. Подвижная водная фаза в белках. Упорядоченная («организованная») вода в белках. Взаимодействие воды с полисахаридами. Проницаемость, транспорт воды и ионная селективность. Взаимодействие синтетических полимеров с водой. Влияние воды на эксплуатационные свойства полимеров.

Для научных и инженерно-технических работников — химиков, биохимиков, биологов, медиков.

1984, 35 л. Цена 5 р. 60 к.

* Аналогичные расчеты были ранее выполнены В. А. Рубаковым в 1981 г. (препринт ИЯИ АН СССР, P-0-2121, 1981). — Прим. перев.

Эпидемии кори в Исландии

Изучение эпидемий в небольших изолированных популяциях позволяет лучше понять закономерности распространения инфекционных заболеваний. Примером может служить анализ регистрируемых на протяжении 100 лет эпидемических вспышек кори в Исландии

ЭНДРЮ КЛИФФ, ПИТЕР ХАГГЕТ

УЖЕ В 1835 г., когда Чарлз Дарвин изучал выюрок на Галапагосских островах, стало очевидным, что океанские острова могут рассматриваться как крупномасштабные естественные лаборатории для исследования биологических процессов. Вскоре после того, как Дарвин завершил свои работы, многие ученые поняли, что удаленные острова, представляющие собой более простые объекты для исследований, чем густонаселенные континентальные районы, также могут внести ценный вклад в понимание закономерностей распространения различных заболеваний. В конце 40-х годов XIX в. датский врач Петер Панум тщательно изучил данные об эпидемии кори на Фарерских островах, случившейся в 1846 г. Эта работа впоследствии стала классическим трудом по эпидемиологии — науке, изучающей закономерности возникновения и распространения инфекционных болезней в человеческом обществе. Однако большинство важных открытий в изучении вирусных заболеваний делается в наши дни в научно-исследовательских лабораториях. Например, вирус, вызывающий корь, был выделен в Медицинской школе Гарвардского университета в 1954 г. Джоном Ф. Эндерсом и Томасом С. Пиблсом. И тем не менее это не уменьшает роль островов в выявлении закономерностей распространения инфекций во время эпидемий.

Примером тому служит остров Исландия, расположенный в северной Атлантике, южнее Северного Полярного круга, между 64 и 66° северной широты. Исландия — это островное государство; его площадь 103,6 тыс. км², что примерно равно территории шт. Кентукки. Плотность населения на острове невысокая; за последние годы число жителей достигло 200 тыс. Населенные пункты рассредоточены по всему острову и расположены на значительном расстоянии друг от друга. До тех пор пока авиалинии не соединили Исландию с другими странами, остров, с точки зрения эпидемиолога, был изолирован от населенных центров Европы. Среди немногочисленных внеш-

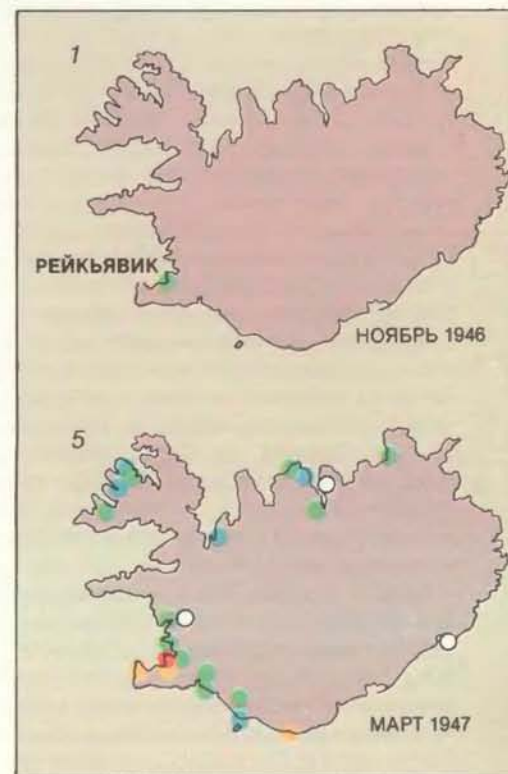
них связей наиболее частыми были контакты со Скандинавскими странами, особенно с Данией. Из-за суровых зим жители острова нередко были изолированы даже друг от друга.

С 1896 г. в Исландии действует система медицинского учета, отличающаяся исключительной полнотой и достоверностью регистрируемых данных. Система предусматривает ежемесячный сбор медицинских сведений по 50 районам острова. Такое удачное для эпидемиологов сочетание изолированности, небольшой численности населения и наличие хорошей медицинской документации позволяет проследить пути передачи и распространения заболеваний в Исландии с большей точностью, чем в любой другой стране.

Подробные медицинские сведения, которыми располагают органы здравоохранения Исландии, могут быть использованы для изучения и анализа многих инфекционных заболеваний. Среди них особый интерес представляет корь — по двум причинам: во-первых, корь — яркий пример инфекционного заболевания, которое весьма быстро распространяется во время эпидемических вспышек; она высококонтагиозна, хорошо распознается медицинскими работниками, и, кроме того, эпидемические вспышки кори обычно возникают через регулярные промежутки времени; во-вторых, несмотря на то что в результате реализации программ вакцинации корь в США, как и во многих других развитых странах, почти ликвидирована, эта инфекция представляет собой серьезную угрозу для развивающихся стран, где смертность от кори во время эпидемий может превышать 30%; особенно высока смертность среди детей. Последние статистические данные ООН свидетельствуют, что корь и ее осложнения являются одной из 10 наиболее частых причин смерти.

На основании анализа уникальной медицинской документации Исландии нам удалось установить, что корь имеет тенденцию распространяться по иерархическому принципу — из густонаселенных центров она передается в районы с меньшим населением. Так, из

столицы (г. Рейкьявик) корь попадает в региональные центры, из них — в деревни, а затем на изолированные фермы. Данные также показали, что изменения социальных и экономических условий и их соотношения в столице и периферийных городах влекут за собой изменения эпидемиологии кори. Прделанная нами работа помогает выявить основные пути распространения кори. В свою очередь знание основных механизмов и путей передачи коревой инфекции позволит прервать ее распространение с помощью селективной вакцинации.



ЭПИДЕМИИ КОРИ в Исландии обычно имеют 3 стадии, которые можно проследить на представленных здесь картах острова. На картах отмечена последовательность развития эпидемии, продолжавшейся с ноября 1946 по июнь 1947 г. Кружками обозначены ме-

ВИРУС, вызывающий корь, принадлежит к семейству парамиксовирусов, включающему также вирусы паротита и парагриппа. Когда была ликвидирована оспа на земном шаре в результате всеобщей вакцинации и в 1979 г. исключена из списка инфекционных заболеваний ВОЗа, основное внимание эпидемиологов было обращено на другие вирусные инфекции. На повестку дня встал вопрос об элиминации (искоренении) вируса кори. Первоочередность этой задачи определялась тем обстоятельством, что в межэпидемический период вирус кори может исчезать без вмешательства человека при условии отсутствия тесных контактов между людьми. Это происходит вследствие прерывания «цепи» коревой инфекции в малых общинах. Люди, перенесшие корь, как правило, приобретают пожизненный иммунитет к вирусу кори; поэтому в малочисленных обществах после эпидемий кори имеется мало восприимчивых к этому заболеванию лиц и присутствие вируса кори уже не вызывает подъема заболеваемости. Чем населеннее район, тем больше в нем восприимчивых к инфекции людей, за счет чего поддерживается заболеваемость корью. Вирус становится эндемичным для данного района и дли-

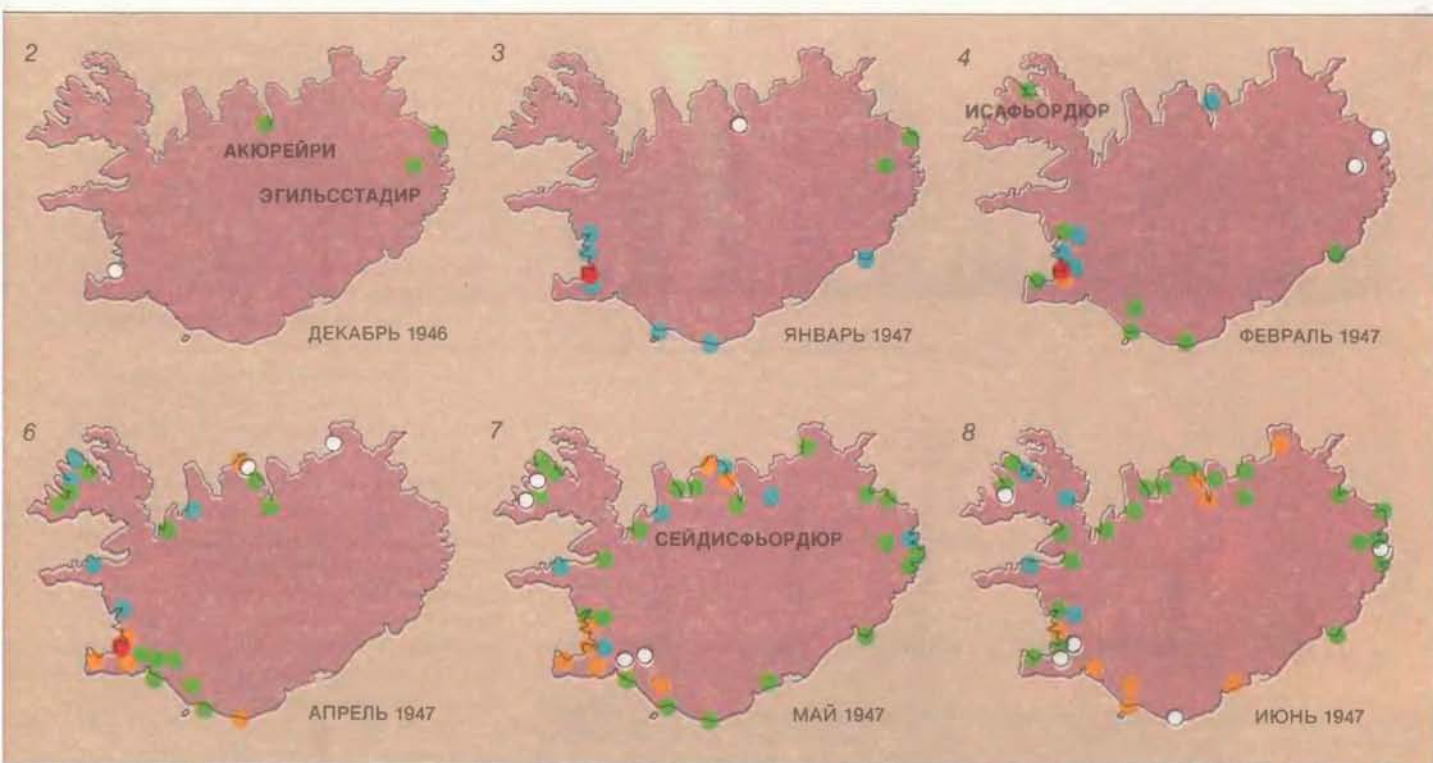
тельно циркулирует среди населения.

Какой же должна быть численность человеческого коллектива, чтобы в нем сохранялась циркуляция вируса кори? М. Бартлетт из Оксфордского университета, изучив в 1957 г. статистические данные по США и Англии, пришел к выводу, что в городах с населением около 250 тыс. человек 4—5 тыс. зарегистрированных случаев кори в год достаточно для поддержания непрерывности эпидемического процесса. При меньшей численности населения вирус кори может исчезнуть в межэпидемический период. Повторное возникновение кори в районах с указанной численностью населения может произойти только в случае завоза вируса каким-либо заболевшим лицом, прибывшим из мест, где зарегистрированы случаи кори. Крупные города, эндемичные для кори, могут служить постоянным резервуаром этой инфекции. Люди, которые заносят вирус кори в небольшие общины, где он ранее не присутствовал, называются «индикаторными» источниками инфекции. Как мы увидим далее, они имеют большое значение для характеристики типа эпидемии кори.

Тип эпидемий в небольших населенных пунктах зависит от частоты контактов их жителей с населением круп-

ных городов, в которых постоянно обитает вирус кори. Частота же этих контактов определяется численностью населения в данном пункте, его удаленностью от больших городов и наличием транспортных коммуникаций. Небольшие уединенные общины иногда могут избежать эпидемических подъемов заболевания корью, которые периодически происходят в более крупных городах.

Авторы предлагают на основе демографических и географических факторов разделить условно населенные пункты на три типа в зависимости от интенсивности эпидемического процесса при кори. На рис. (с. 83) изображены кривые, на которых отмечено число случаев кори в данной местности. Наиболее высокие точки кривых (пики) соответствуют эпидемиям кори. В крупных населенных пунктах эта волнообразная кривая относится к I типу эпидемических вспышек кори. Он характеризуется регулярностью вспышек и непрерывностью эпидемического процесса (в межэпидемическом периоде число случаев кори никогда не падает до нуля). Для общин среднего размера свойствен II тип, при котором эпидемические подъемы кори регулярны и прерываются периодами эпидемического

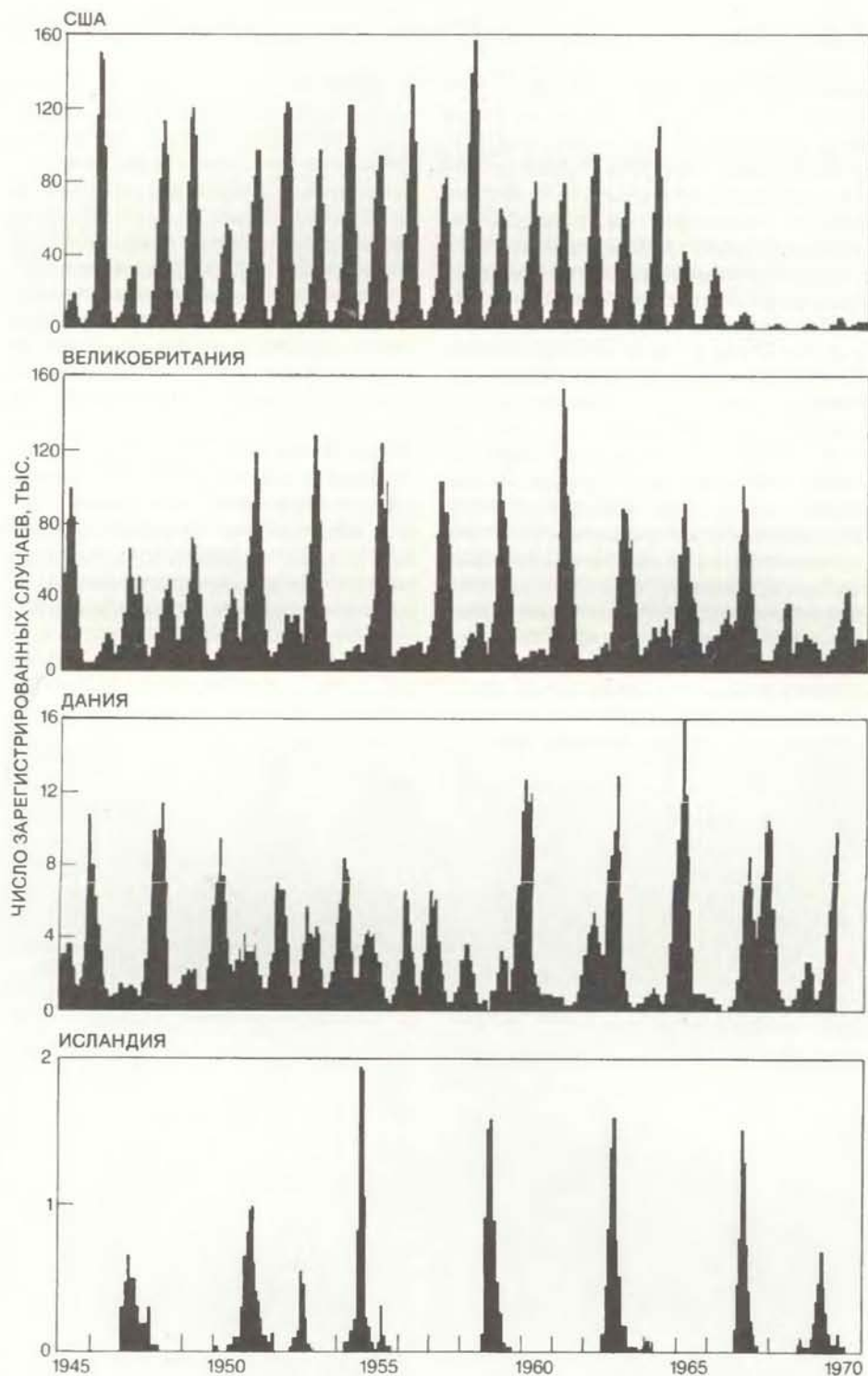


дицинские регионы, в которых отмечались случаи кори: голубыми — районы с 1—2 случаями кори, зелеными — до 20 случаев, желтыми — 21—200 случаев, красными — 201 или более случаев кори. Белыми кружками отмечены районы, в которых не отмечались случаи заболевания корью, но они имели место в предыдущие месяцы. Эта эпидемия была восьмой по счету из 16 вспышек кори, происшедших на ост-

рове с 1896 по 1975 г. Сначала случаи кори были зафиксированы в столице, г. Рейкьявике (1), а затем корь была занесена в города Акюрейри, Исафьордюр, Эгильсстадир и в окружающие Рейкьявик области (2—4). III стадией явилось распространение заболеваемости в районах, прилегающих к региональным центрам, и в отдаленных населенных пунктах (5—8).

благополучия, когда случаи кори не регистрируются. В самых малочисленных общинах отмечен III тип, при котором эпидемические вспышки кори происходят нерегулярно и прерываются периодами полного отсутствия за-

болеваемости корью. Малая численность населения и удаленность от крупных городов позволяют таким общинам избегать некоторых эпидемических вспышек кори, происходящих в других городах.



ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ заметно влияет на характер эпидемий кори. Здесь показано изменение числа зарегистрированных случаев кори в США, Англии, Дании и Исландии в каждом месяце за период с 1945 по 1970 г. До середины 60-х годов в США, где численность населения составляла примерно 200 млн. человек, эпидемии кори возникали ежегодно. Затем число случаев кори резко уменьшилось в результате проведения всеобщей вакцинации. В межэпидемический период уровень заболеваемости корью был невысоким. В Англии с населением 50 млн. человек (1970 г.) и Дании с населением 5 млн. человек характер эпидемий был аналогичным, за исключением того, что интервалы между эпидемиями были более длительными и составляли 2—3 года. В Исландии с населением 200 тыс. человек (в 1970 г.) эпидемии были менее регулярны, длительность межэпидемического периода была не менее 3 лет, и наличие вируса кори на острове в это время не отмечалось.

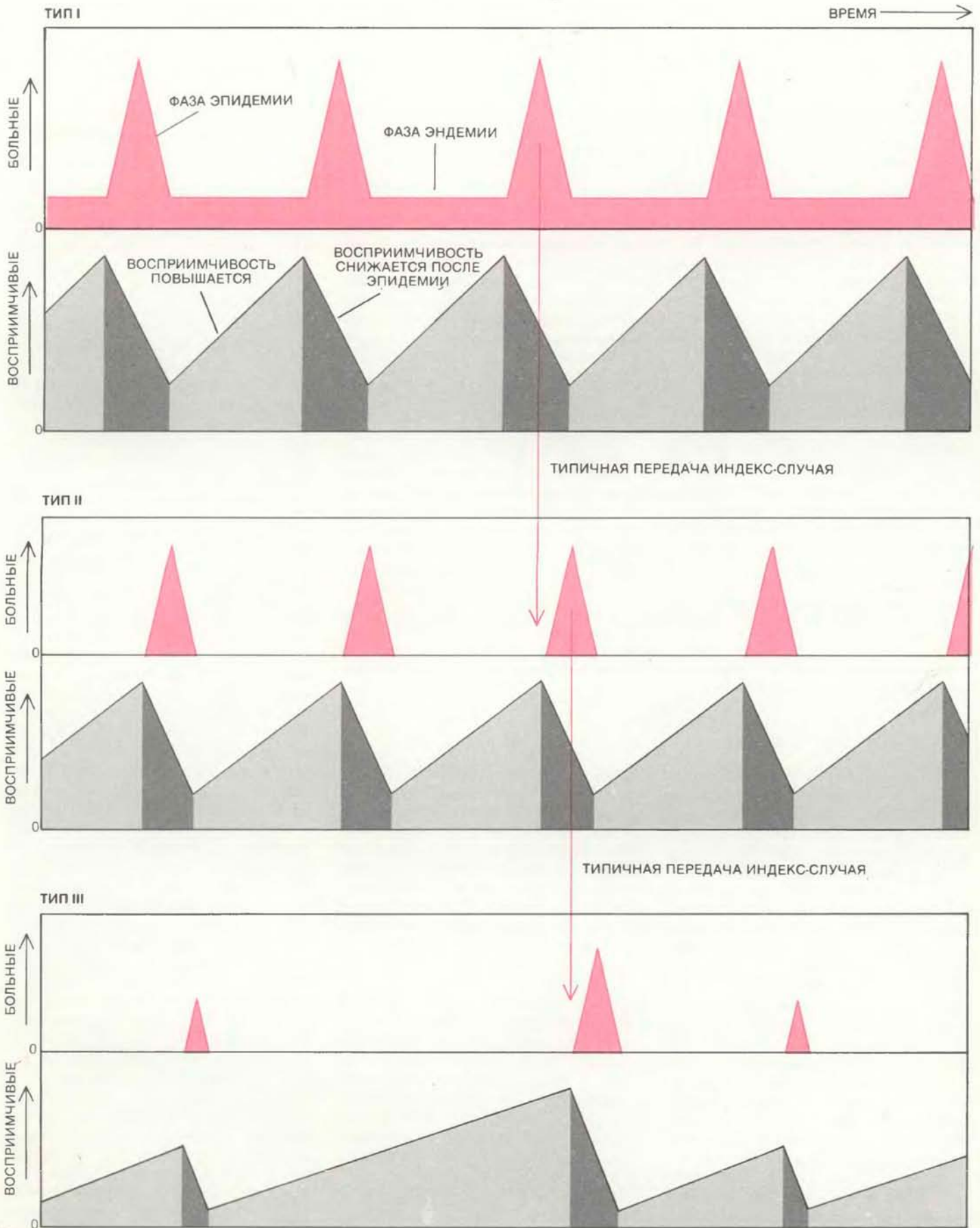
ЧЕРЕЗ 10 лет после исследований Бартлетта изучением взаимоотношений между размером популяции и различными характеристиками эпидемий кори занялся научный сотрудник Медицинской школы Йельского университета Ф. Блэк. В отличие от Бартлетта Блэк исследовал характер распространения инфекции не в городах, а на 18 удаленных от материков океанских островах. Из них лишь на Гавайях с населением 650 тыс. человек был зафиксирован I тип эпидемий кори. II тип отмечен на островах с населением 10 тыс. человек, III тип — на островах с меньшей численностью населения.

Дальнейшим логическим этапом исследований было изучение закономерностей распространения коревой инфекции как между островами со II типом эпидемий, так и в пределах одного такого острова. Для этой цели вначале были изучены данные по 18 островам, обследованным Блэком. Оказалось, что из всех островов этой группы Исландия является превосходной естественной лабораторией, где мы и решили провести запланированные исследования совместно с сотрудником Пенсильванского университета Дж. Орлом и представителями службы здравоохранения Исландии.

Исландия представляет собой самый большой остров, где выявлен II тип эпидемий кори, и имеет вторую по величине численность населения из 18 обследованных островов. По сравнению с населенностью материков популяция Исландии относительно мала. Суровая местность и холодный климат создают предпосылки для довольно ограниченной численности общин в береговой части острова. Береговая линия глубоко изрезана фьордами, и населенные пункты часто удалены друг от друга на значительные расстояния, так что с эпидемиологической точки зрения Исландия напоминает скорее архипелаг, чем единый остров.

Демографические данные указывают на рост населения Исландии с 50 тыс. в конце XVIII в. до примерно 200 тыс. в 1970 г. Около половины всего населения живет в столице Исландии Рейкьявике и его пригородах, четвертая часть — в других 11 городах, а остальное население — в сельских районах. Упомянутый четырехкратный прирост населения в течение двух столетий не был устойчивым, он несколько раз прерывался из-за эпидемий инфекционных заболеваний. Наибольшая смертность от эпидемий была в 80-х годах XVIII в. — во время вспышки оспы. Однако и другие эпидемии — кори, гриппа, брюшного тифа, коклюша — также отрицательно влияли на демографические процессы в Исландии.

С 1896 г. медицинская служба острова публикует ежегодные отчеты о здравоохранении в Исландии, в которые включаются ежемесячные сведения о



ЭПИДЕМИЧЕСКИЕ ВСПЫШКИ можно разделить на три типа в зависимости от числа случаев кори. На каждом графике верхняя кривая показывает число инфицированных людей в данном населенном пункте; нижняя — число лиц, восприимчивых к кори. Большие населенные пункты имеют I тип эпидемий (вверху). Вирус эндемичен для них, между эпидемиями всегда имеется несколько случаев кори. Поселе-

ния среднего размера имеют II тип эпидемий (в середине). Эти вспышки регулярны, но прерывисты. Между эпидемиями вирус погибает и заносится вновь из крупных городов (показано стрелками). Малые общины имеют III тип вспышек (внизу), прерывистых и нерегулярных; удаленность этих поселений защищает их от многих эпидемий, происходящих в крупных городах.



ИНДИКАТОРНЫЙ ИСТОЧНИК ИНФЕКЦИИ — это инфицированный (зараженный) человек, который заносит корь в популяцию, свободную от вируса. На карте показаны пути, по которым источники инфекции попадали в Исландию, после чего на острове начинались эпидемии кори. (Показаны случаи, когда пути распространения инфекции были известны.)

числе случаев различных заболеваний в каждом из 50 медицинских районов острова. Эти документы содержат также подробные сведения об эпидемических вспышках и их причинах, что позволяет составить впечатление о тяжести и размерах эпидемий, источниках инфекции (если их удастся установить) и путях распространения инфекции внутри острова. Существующие медицинские документы и отчеты помогли получить информацию об интенсивности и длительности эпидемических вспышек и особенностях распространения инфекций между отдельными географическими зонами.

За исследуемый период (с 1896 по 1975 г.) на острове произошло 16 выраженных эпидемических вспышек кори и две — после завершения проведенных работ. Эпидемические вспышки существенно различались по интенсивности. Так, например, 1-я эпидемия (1904 г.) насчитывала 822 случая кори, а 6-я (1936—1937 гг.) — 8408 случаев заболеваний. Медицинские документы Исландии, составленные даже несколько десятилетий назад, отличаются точностью, четкостью и полнотой информации, поэтому сведения об эпидемиях вполне достоверны. Продолжитель-

ность эпидемических вспышек составляла в среднем 19 месяцев. Из существующих 50 медицинских регионов только в пяти не было зарегистрировано эпидемических вспышек (единичные случаи заболевания во время эпидемии 1904 г. не принимались во внимание). Промежутки между периодами подъема заболеваемости, когда на острове не отмечалось присутствие вируса кори, составляли в среднем 3 года.

ЧТОБЫ вирус кори достиг изолированных ферм, его должен занести туда больной или инфицированный человек, а затем для возникновения цепочки инфекции вирус должен попасть в восприимчивый организм. Вирус кори может быть завезен на остров издали больными людьми. Из портовых городов он попадает в глубь острова, а оттуда — в отдаленные фермы.

Капельный механизм передачи коревой инфекции, который реализуется при людских контактах через воздух, известен уже более 100 лет. Однако при эпидемических вспышках в густонаселенных городах в случае наличия многочисленных источников инфекции и больших групп восприимчивого населения путь передачи инфекции не всег-

да можно точно установить. При этом необходимо учитывать то, что в больших городах контакты между людьми носят в значительной степени случайный характер. Особая ценность данных, содержащихся в медицинских отчетах Исландии, заключается в том, что они позволяют эпидемиологам установить не предполагаемые, а фактические пути передвижения на острове людей, распространяющих вирус кори.

Главным резервуаром, откуда корь завозилась в Исландию, являлись страны северной Европы. На острове вирус кори мог распространяться несколькими путями. С этой точки зрения интересным примером является внедрение и распространение вируса во время первой вспышки кори в 1904 г. на ограниченной территории северо-западной Исландии среди рыбаков. Статистические данные относительно этой первой зарегистрированной вспышки не полные. В официальных документах сообщается, что тогда имели место 822 случая кори, хотя в архивных рукописях упоминается о 1993 случаях. За время вспышки было 23 случая смерти от кори. 40% всех случаев заболевания корью зарегистрировано в августе, когда отмечался максимальный подъем заболеваемости. Большинство больных было в Исафьордюре, одном из административных центров, где врач был так загружен работой во время эпидемии, что не успевал записывать и заполнять все документы. Отсюда и возникло несоответствие между данными официальной статистики и фактической заболеваемостью.

Пути распространения этой вспышки были описаны в архивных материалах: «Корь была завезена из Норвегии и появилась на острове в апреле на китобойных станциях в Гестейри и Исафьордюре. В первом из этих мест корь была ликвидирована. В Исафьордюре же инфекция распространилась далее, так как не были приняты своевременные противозидемические меры. Особенно быстрое распространение инфекции было замечено после церемонии конфирмации, которая состоялась 22 мая 1904 г. в деревне Эйри, где были сконцентрированы значительные группы населения». Из этой деревни инфекция попала и на западную часть острова.

Эта короткая цитата из официального документа проливает свет на три фактора, имеющих большое значение в понимании исторических аспектов эпидемий кори в Исландии. Первый фактор — это определяющее значение индикаторного источника инфекции, распространяющего миграции которого являются неперемным условием начала эпидемии кори. При описанной вспышке 1904 г. такими источниками инфекции были члены экипажа норвежского китобойного судна. В других случаях ими являлись рыбаки. Второй

фактор — значение степени контактов в человеческом обществе для распространения инфекции. Церемония конфирмации в Эйри, сопровождавшаяся собранием массы людей и контактами между ними, служит примером создания благоприятных условий для быстрого распространения среди населения вируса кори.

ТРЕТЬИМ фактором, влияющим на характер эпидемий, и сдерживающим быстроту и дальность их распространения, являются противоэпидемические мероприятия. Основной мерой борьбы с эпидемией служит прерывание контакта между инфицированными (больными) людьми и восприимчивым населением. К таким мерам относятся: карантин для членов экипажа судов, госпитализирование больных корью, изоляция больных от других членов семьи.

Поскольку во всех 16 случаях зарегистрированных эпидемий отмечено появление индикаторного источника инфекции и распространение инфекции на острове в результате его передвижений, то эпидемии кори в Исландии можно характеризовать как трехстадийные. Первая стадия — это завоз вируса кори в Исландию и проникновение его в столицу — Рейкьявик. Вторая стадия характеризуется распро-

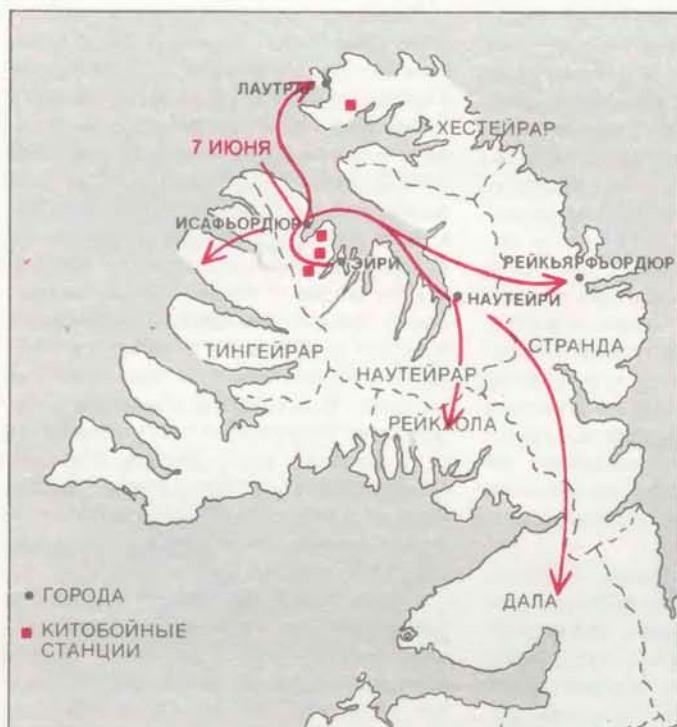
странением инфекции из столицы в провинциальные города; Исафьордюр — на северо-западе, Акюрейри — на севере, Эгильстадир и Сейдисфьордюр — на востоке. Одновременно вирус проникает из Рейкьявика в примыкающие к столице юго-западные области Исландии. И наконец, на третьей стадии инфекция распространяется из региональных центров на окраины и достигает отдаленных ферм и рыбацких поселков.

Зафиксированные статистические данные о характере эпидемического распространения кори во всех 16 случаях можно использовать и для количественной оценки времени, которое потребовалось для переноса вируса в тот или иной регион. Такие количественные оценки подтверждают справедливость качественной трехстадийной модели. Официальные документы свидетельствуют, что вирус кори попадает в Рейкьявик через 1,5 месяца после его завоза на территорию острова. Время, за которое вирус достигает региональных центров, следующее: для Исафьордюра — 6,5 месяца, для Акюрейри — 5—8 месяцев, для Эгильстадира — 5 месяцев, для Сейдисфьордюра — 9,3 месяца. Из менее крупных городов вирус кори и эпидемии достигают прежде всего те, которые расположены ближе к столице. Через 12—18 месяцев после нача-

ла вспышки в Рейкьявике случаи заболевания корью могут возникнуть в самых отдаленных поселениях.

Для эпидемиологов также представляют интерес сезонные особенности распространения кори. Обработка статистических данных о всех 16 случаях эпидемии кори в Исландии показала, что коревая инфекция в популяции обычно имеет сезонные подъемы и спады. В зоне северного умеренного климата заболеваемость корью, подобно другим детским заболеваниям, наиболее высокая в зимний период. В то же время в Исландии за период с 1896 по 1946 г. наблюдались два резко выраженных сезонных подъема заболеваемости: один — зимой, другой — в мае-июне. Весенне-летний подъем можно объяснить возрастанием мобильности населения после весенней оттепели, а также активизацией общения людей во время сенокоса, начало которого приходится на июнь.

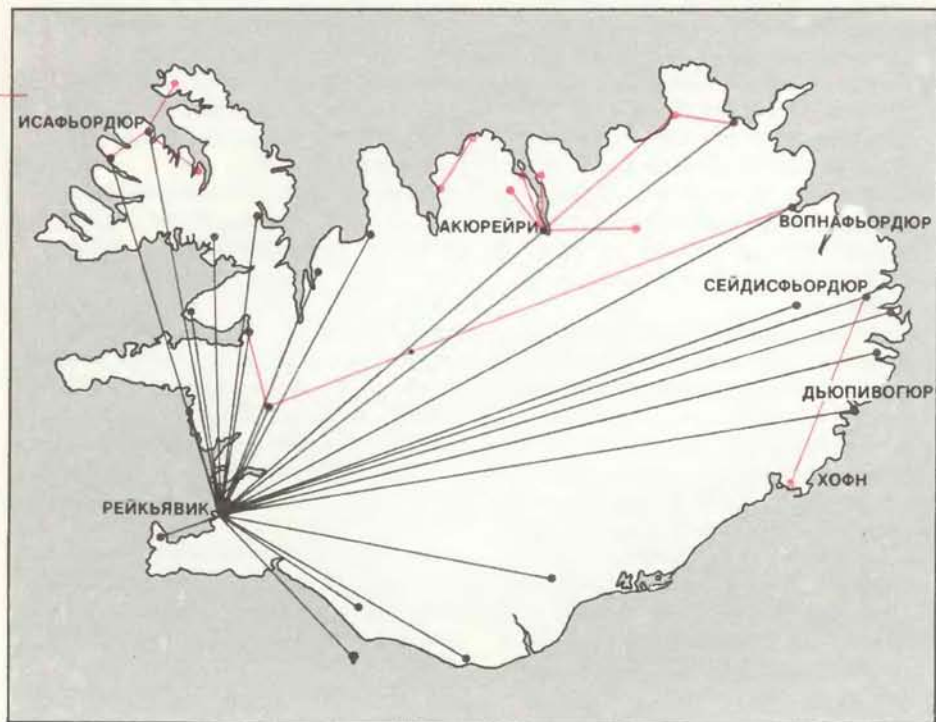
ПРОСЛЕЖИВАНИЕ пути миграции индикаторного источника инфекции на острове позволяет судить о географических и хронологических особенностях распространения эпидемий кори. Для определения типов эпидемий по Бартлетту и Блэку необходим расчет числа случаев кори в каждом населенном пункте за определенный проме-



ЭПИДЕМИЯ КОРИ в 1904 г. в значительной степени была ограничена за счет низкой плотности населения в северо-западной полуостровной части Исландии. Линии на карте показывают маршрут передвижения индикаторных источников инфекции, которые распространяли болезнь. Вирус кори был занесен в Исландию в конце апреля экипажем Норвежского китобойного судна (слева). Сначала корь воз-



никала на ряде китобойных станций. Во время конфирмации в соседней деревне Эйри 22 мая корью заразились многие жители этого района. Оттуда в начале июня корь была занесена в Исафьордюр, самый крупный город в области (справа). Из Исафьордюра корь в течение лета распространилась на всей полуостровной части.



ПУТИ ПЕРЕДАЧИ вируса кори в Рейкьявике. Линиями отмечены маршруты следования двух или более индикаторных источников инфекции во время эпидемий кори с 1896 по 1975 г. Большинство путей идет радиально от столицы (черные). Кроме того, имеются малые «циркуляции» вокруг провинциальных городов (цветные).

жуток времени. Так, в результате проведенного анализа выяснилось, что с 1945 г. в Исландии в основном наблюдался II тип эпидемии, т.е. эпидемические вспышки происходили регулярно, но между ними вирус кори на острове не циркулировал. Эпидемии, имевшие место до 1945 г., носили характер III типа.

Если же подсчитать число случаев заболевания не в масштабах всего острова, а по отдельным городам, то обнаружится более сложная картина. В таких крупных городах, как Рейкьявик, Исафьордюр, Акюрейри, чаще встречается II тип, по крайней мере на протяжении XX столетия. Менее населенным городам, а также деревням и фермам, удаленным от столицы, свойствен III тип. Малые поселения различаются между собой по числу эпидемических вспышек кори. Даже половина из 16 зарегистрированных вспышек не достигала отдаленного о. Флатей. Значительной территории удаленной полуостровной части на северо-западе и северного побережья, где плотность населения крайне низкая, также коснулись не все 16 вспышек. В тех регионах, где население достигало 2000 человек и более, эпидемические вспышки, как правило, возникали во всех 16 случаях, а там, где население не превышало 2000 человек, вероятность возникновения эпидемии определялась удаленностью данного района от крупных городов.

Одной из основных целей эпидемиологии является создание методологии прогнозирования особенностей будущих эпидемий. Большинство из создателей такой методологии опирается на простое исходное положение о том, что число лиц, которые будут инфицированы во время эпидемии, складывается из группы уже заболевших (или заразившихся) и из потенциально восприимчивой популяции. Соотношение тех и других можно выразить системой уравнений, в которых скорость перемещения групп контролируется фактором, называемым константой диффузии (распространения). Для получения достаточно полной характеристики эпидемического процесса при составлении таких уравнений принимают во внимание и особенности клинического течения кори, и индекс вакцинации, и темпы выздоровления.

Данные о географических особенностях страны также могут быть использованы при составлении уравнения. Сочетание медицинских и географических подходов делает теорию более специфичной. Система уравнений может существовать в форме, единой для всей страны, а также в форме, единой для каждого медицинского региона. В последнем случае система должна включать константу распространения, которая отражает частоту контактов между людьми в данном регионе.

КАЖДАЯ система уравнений представляет собой математическую интерпретацию факторов, которые влияют на течение эпидемий в данном месте. Построив такие системы для каждого района, их можно объединить в одну общую систему. В этой общей совокупности математических зависимостей будет отражена передача инфекции между соседними районами — от уже зараженных людей к тем, кто к ней восприимчив. Понятие «соседние» является относительным. С точки зрения эпидемиолога, соседними являются такие районы, в которые попадают индикаторные источники инфекции, а не те, что расположены близко в географическом смысле. Например, столичный город Рейкьявик можно рассматривать как расположенный по соседству с любым другим населенным пунктом Исландии независимо от разделяющего их расстояния по прямой.

Практика показала, что прогнозировать эпидемии так же трудно, как предсказывать снегопад. В обоих случаях есть вероятность предсказать то, что не произойдет, и, наоборот, не предугадать того, что будет. На примере Исландии видно, что для создания правильной модели необходимо знать особенности пространственного (географического) распространения болезни. Оценки, сделанные с учетом географических факторов, всегда более точные, чем те, в которых такие показатели не приняты во внимание.

Характер распространения кори в Исландии с точки зрения ее территориального распределения был довольно стабильным с 1900 г.; что же касается хронологической картины вспышек кори, то она со времени второй мировой войны значительно изменилась. Эти изменения были связаны с интенсификацией научно-технического прогресса и, как следствие, расширением контактов Исландии со всеми странами мира. Этот процесс одновременно сопровождался усилением связи между различными населенными пунктами на самом острове. В результате изменилась сезонность периодических эпидемических вспышек кори, исчезли подъемы заболеваемости в летнее время и остался один сезонный пик заболеваемости в зимнее время, как и в других северных странах с умеренным климатом.

Кроме этого, произошли изменения интенсивности и времени возникновения эпидемий кори. До 1945 г. эпидемические вспышки сильно различались по масштабу (т.е. по числу заболевших) и возникали нерегулярно. После второй мировой войны эпидемии кори стали возникать чаще и регулярно.

Причины этого явления можно объяснить возросшими контактами с очагами кори в Англии и США. Когда транспортные связи Исландии с другими странами в основном пролегли по

морю, попадание вируса кори с материков на остров было нерегулярным и в значительной степени случайным. С развитием сети авиалиний и превращением Рейкьявика в центр воздушного сообщения острова значительно увели-

чился риск инфицирования населения Исландии. С 1945 по 1975 г. число авиапассажиров, прибывающих в Исландию, возросло в 15 раз. В настоящее время имеется риск распространения кори из Рейкьявика в другие города и фер-

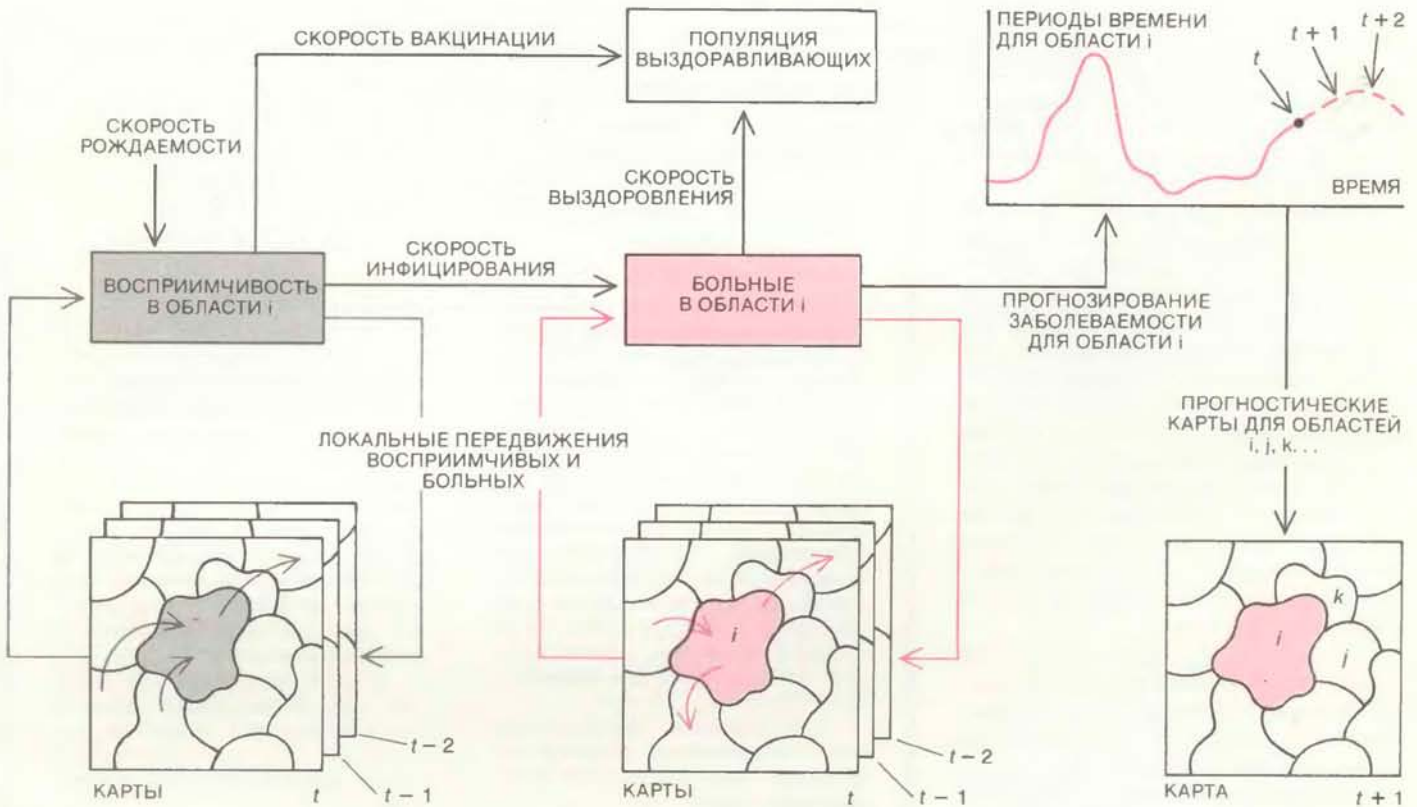
мы острова, так как число восприимчивого населения достаточно для возникновения эпидемических вспышек.

С резким увеличением транспортных связей Исландия перестала быть изолированным и отдаленным государст-



ИНТЕРВАЛЫ МЕЖДУ ЭПИДЕМИЯМИ КОРИ с 1945 г. стали короче, а сами эпидемии более регулярны. Столбиками обозначено число случаев кори во время каждой эпидемии: слева — 7 эпидемий до 1945 г., справа — 9 вспышек кори по-

сле 1945 г. Положение столбиков на горизонтальной оси определяется временем, прошедшим после предыдущей вспышки.



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭПИДЕМИЙ помогает понять, как корь может распространяться в ближайшем будущем. Оно основано на анализе множества факторов, которые схематически представлены на рисунке для области i за время t . Каждая стрелка соответствует уравнению. Численность восприимчивой популяции в районе определяется индексом рождаемости, индексом вакцинации и миграцией населения внутри и за пределами данного района. Численность

инфицированного населения определяется скоростью распространения инфекции и темпами выздоровления. Учет этих факторов позволяет оценить уровень заболеваемости корью в районе i за время $t+1$. По уравнениям для всех медицинских регионов, объединенным в систему, можно предсказать характер распространения эпидемии в Исландии за время $t+1$.

вом. Она как бы стала ближе к странам северной Европы и США, а ее внутренние населенные районы «приблизились» к столице. Эпидемиология кори в отдаленных районах сейчас такая же, как в Рейкьявике, хотя до второй мировой войны между ними было существенное различие. В столице Исландии эпидемические вспышки были чаще и значительно более массивны, чем на периферии, где вспышки были менее продолжительны и возникали гораздо реже.

С 1945 г. частота возникновения, продолжительность и интенсивность вспышек кори в столице и в отдаленных районах стали почти одинаковыми. Такая конвергенция объясняется тем, что в Рейкьявике частота эпидемических вспышек кори уменьшилась, а на периферии, наоборот, увеличилась. Первое явление обусловлено улучшением качества медицинского обслуживания в столице: за период с 1916 по 1972 г. число врачей здесь возросло с 1,0 до 2,6 на 1000 человек населения, тогда как для остальной территории этот показатель увеличился с 0,7 до 0,8.

Интенсификация же эпидемических вспышек кори за пределами Рейкьявика произошла вследствие развития транспортной сети и других коммуникаций. После второй мировой войны в Исландии было построено много шоссе дорог, что уменьшило зависимость числа контактов от морского транспорта. Кроме этого, на острове функционируют внутренние авиалинии, интенсивность действия которых по количеству перевозимых пассажиров в год самая высокая в Европе.

Социальные преобразования в стране также сопровождались увеличением общения между отдельными поселениями и фермами и в свою очередь тоже влияли на изменение характера эпидемических вспышек. Так, до 1945 г. система образования в сельской местности была такова, что учитель сам посещал отдаленные поселения в определенные сроки. После войны эта система изменилась: были построены школы-интернаты, в которых дети фермеров находились постоянно в течение учебных периодов. В лице школьников появилась наиболее уязвимая популяция для вируса кори.

Распространение кори в Исландии не статический, а динамический процесс, на котором отражаются все социальные и экономические преобразования, происходящие в стране. Это показательно для тех работников здравоохранения, кто ищет пути искоренения кори в глобальном масштабе. Развитие транспортной сети в Исландии привело к связи столицы с удаленными общинами, что сказалось на характере эпидемических вспышек кори: в общинах, имеющих в прошлом III тип вспышек, сейчас все чаще отмечается II тип.

Управление вирусом кори в мире в значительной степени зависит от контроля за условиями, влияющими на эпидемические процессы при кори. Вакцинация населения в соответствии с глобальной программой может значительно уменьшить число восприимчивых к заболеванию корью. Это приведет к прерыванию эпидемического процесса и, следовательно, к прекращению распространения инфекции. В терминах модели Бартлетта это означает превращение вспышек I типа во II, а II — в III.

В Соединенных Штатах Америки такая программа, координируемая пунктами по борьбе с инфекционными болезнями, привела к существенному снижению заболеваемости корью. Ряд других стран, и особенно Австралия, проявили значительный интерес к этой программе. Мнение медиков и ученых на возможность ликвидации кори в глобальном масштабе неоднозначно, поскольку материальные издержки, связанные с реализацией такой программы, были бы больше, чем при ликвидации оспы на земном шаре.

Даже если ликвидация кори во всем мире в нашем столетии пока остается мечтой, вполне реально добиться реги-

онального искоренения кори в большинстве стран. Для этого вначале надо добиться резкого снижения очагов кори I типа.

Несмотря на всю привлекательность этого мероприятия, осуществление его затруднено из-за существующего разрыва между теоретическими достижениями в области эпидемиологии и практикой службы здравоохранения. При осуществлении массовой вакцинопрофилактики кори в частично вакцинированных группах населения появляется риск «повзросления» кори, т.е. увеличение удельного веса взрослых среди заболевших. Клиническое же течение кори у взрослых в некоторых случаях тяжелее, чем у детей. Чтобы избежать этой нежелательной перспективы, надо пытаться в ближайшее время ликвидировать существующий разрыв между теорией эпидемиологии и практикой здравоохранения. Изучение географических особенностей распространения кори в человеческом обществе может помочь уменьшить эту дистанцию и составить реальные программы борьбы с инфекционными заболеваниями. Для этой цели острова могут служить ценной эпидемиологической лабораторией.

Издательство МИР предлагает:

Г. Шведт ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НЕОРГАНИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Перевод с английского

Книга посвящена одному из наиболее универсальных аналитических методов — хроматографии, причем рассматриваются все основные виды хроматографий — газовая, колоночная жидкостная, тонкослойная, что позволяет выбрать оптимальный способ анализа неорганических соединений. Положительными особенностями монографии являются ее практическая направленность и лаконичность изложения в сочетании с превосходной организацией изложенного материала.

Для химиков, металлургов, биологов, медиков, геологов, работников служб контроля окружающей среды.

1984, 16 л. Цена 2 р. 60 к.

А. Джордж, Дж. Лю ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ БОЛЬШИХ РАЗРЕЖЕННЫХ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ

Перевод с английского

В книге описаны все основные методы решения разреженных положительно определенных линейных систем. Впервые в монографической литературе излагаются алгоритмы параллельных и вложенных сечений, разработанные А. Джорджем и предназначенные для систем метода конечных элементов. Включены тексты фор-транных программ, реализующие описанные методы.

Для математиков-прикладников, для всех, кто связан с решением разреженных линейных систем, для студентов и аспирантов факультетов прикладной математики.

1984, 23 л. Цена 2 р.



Издательство МИР предлагает:

АКУСТИКА ОКЕАНА

Под редакцией Дж. Де Санто
Перевод с английского



Коллективная монография американских ученых посвящена ряду актуальных проблем акустики океана, активно разрабатываемых в США: новым аналитическим и численным методам расчета акустических полей, лабораторному моделированию акустических явлений в океане, но-

вым областям применения гидроакустики в океанологии, а также обратным методам гидроакустики.

Для научных и инженерно-технических работников в области гидроакустики и океанологии.

1982, 20,94 л.
Цена 3 р. 50 к.



Наука вокруг нас

Загадочные явления, наблюдаемые при нагревании стальной проволоки

ДЖИРЛ УОЛКЕР

МНОГИЕ полезные свойства железа и стали зависят от их кристаллической структуры. Нагревание и охлаждение могут существенно изменить свойства металла, поскольку при этом его кристаллическая структура меняется. Ч. Уолтон из г. Кливленда, инженер-механик и специалист в области металлургии, придумал, как экспериментально продемонстрировать те изменения, которые происходят при нагревании в обычной стали, представляющей собой сплав двух элементов — железа и углерода. Хотя опыт и очень прост, он заключает в себе ряд загадочных физических явлений, которыми еще не удалось дать подробное объяснение.

Уолтон нагревал и охлаждал рояльную струну (сталь марки 29) длиной полтора метра. Он натянул ее горизонтально между двумя изоляторами, укрепленными на деревянных ящиках, и подсоединил к трансформатору, с помощью которого можно регулировать ток, пропускаемый по струне. Регулятор трансформатора он быстро устанавливал в положение, при котором на выходе создавалось напряжение 55 В; при этом напряжении ток в проволоке равен примерно 14 А. (Эта величина значительно выше допустимой для трансформатора, но, поскольку эксперимент длится очень короткое время, трансформатор не успевает выйти из строя.)

Струна нагревается током до такой степени, что удлиняется, провисает и

вскоре раскаляется докрасна. После отключения тока накал исчезает и струна сжимается. Здесь-то и возникает первое загадочное явление: остывающая струна на какое-то мгновение вновь становится раскаленной и опять провисает. Только после этого она окончательно остывает. По какой-то причине остывающая струна излучает порцию энергии. Что же является источником этого мгновенного излучения? Почему энергия не теряется постепенно, по мере остывания струны?

Второе загадочное явление связано со скоростью остывания струны. Уолтон вторично нагревал струну, выключал ток и влажной губкой обворачивал на несколько секунд небольшой участок накаленной струны. Влага быстро охлаждала этот участок, а остальная часть струны остывала дольше. На том участке, где струна охлаждалась быстро, она становилась хрупкой и легко ломалась. Сломанный конец был настолько твердым, что оставлял царапины на стекле. В тех местах, где струна остывала медленно, она не была такой хрупкой, и не ломалась так легко, а сломанный конец не царапал стекло. Почему же быстрое охлаждение участка струны изменяет его вязкость и твердость?

Третья загадка Уолтона касается магнитных свойств струны. При комнатной температуре струна притягивается к небольшому магниту, удерживаемому вблизи нее. Когда же струна нагрета докрасна, она не проявляет ника-

кой реакции на магнит. Почему магнитные свойства материала зависят от его температуры? Иными словами, что заставляет холодную металлическую струну притягиваться к магниту?

Тем, кто захочет повторить описанный опыт, Уолтон рекомендует взять проволоку диаметром 2 мм. Более тонкая проволока окисляется при накаливании настолько сильно, что ее хватает лишь на несколько циклов нагревания. А для накаливания провода большего диаметра потребуется слишком большой ток. Во время опыта следует соблюдать осторожность и не дотрагиваться до проволоки, когда по ней пропускается ток. *Это опасно для жизни!* Не забывайте отключать трансформатор от сети, перед тем как вы будете подносить магнит к проволоке или обжимать ее влажной губкой.

Чтобы ответить на вопросы, сформулированные Уолтоном, можно начать с исследования железа — основного компонента стали. Железо — аллотропное вещество, т.е. в твердом состоянии оно может иметь несколько различных кристаллических форм. Обычно кристалл представляют в виде расположенных в определенном порядке мельчайших элементарных ячеек, состоящих из нескольких атомов. В целом кристалл — это серия повторяющихся элементарных ячеек. При комнатной температуре элементарная ячейка твердого железа имеет форму куба с одним атомом в центре и восемью другими атомами, расположенными в вершинах углов. Говорят, что этот кристалл имеет объемноцентрированную кубическую решетку. Железо с такой структурой называют α -железом, или ферритом.

Железо состоит из множества самостоятельных кристаллических областей, называемых зернами. Внутри каждого зерна элементарные ячейки ориентированы одинаково, но ориентация зерен произвольна. Зерна форми-

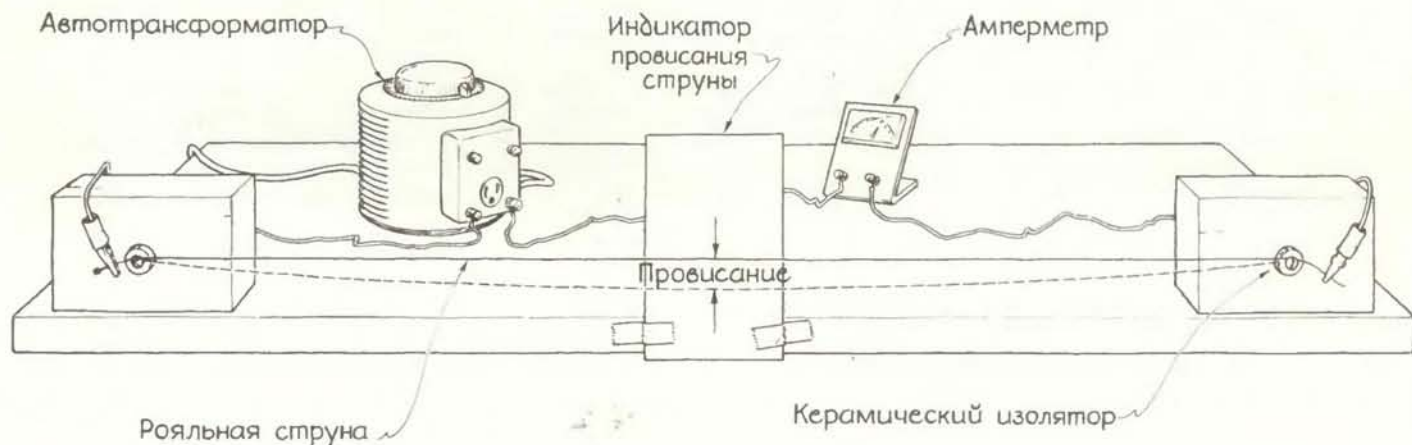


Схема установки в опыте Уолтона

руются в процессе остывания горячего железа, и кристаллы начинают расти в местах образования зародышей до тех пор, пока они не начнут соприкасаться друг с другом, образуя матрицу зерен.

При нагревании железа до 910°C объемноцентрированная кубическая решетка превращается в гранецентрированную кубическую решетку, характерную для γ -железа, или аустенита. Кубическая ячейка γ -железа имеет атомы в вершинах углов и в центрах граней. В этом случае тоже образуются зерна, каждое из которых представляет собой кристалл с определенной ориентацией.

Для полиморфного превращения α -железа в γ -железо необходима энергия на перестройку атомной структуры. Имеется еще одна модификация, называемая δ -железо, но она образуется при температурах значительно более высоких, чем те, которые возможны в эксперименте Уолтона. Если образец нагреть до еще большей температуры, то он расплавится.

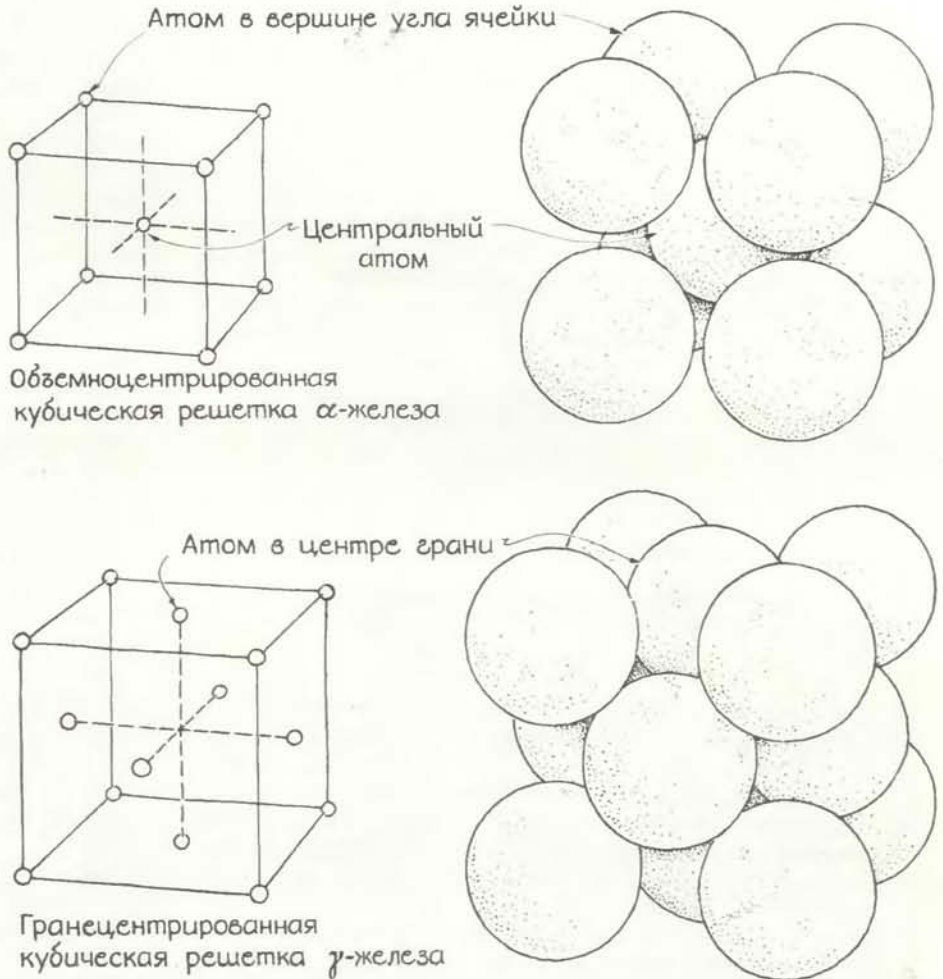
При нагревании α -железа сначала энергия расходуется только на увеличение температуры (нагрев). Как только достигается точка фазового перехода, температура поддерживается постоянной до тех пор, пока вновь поступающая энергия не израсходуется на перестройку всех зерен в структуру γ -железа. Только после этого нагревание будет снова повышать температуру струны.

Это явление характерно и для обратного процесса. Если охлаждать γ -железо, то его температура будет падать до тех пор, пока не достигнет точки перехода. Далее тепловая энергия будет расходоваться на перестройку кристаллической структуры в α -железо. И только после этого температура опять начнет падать.

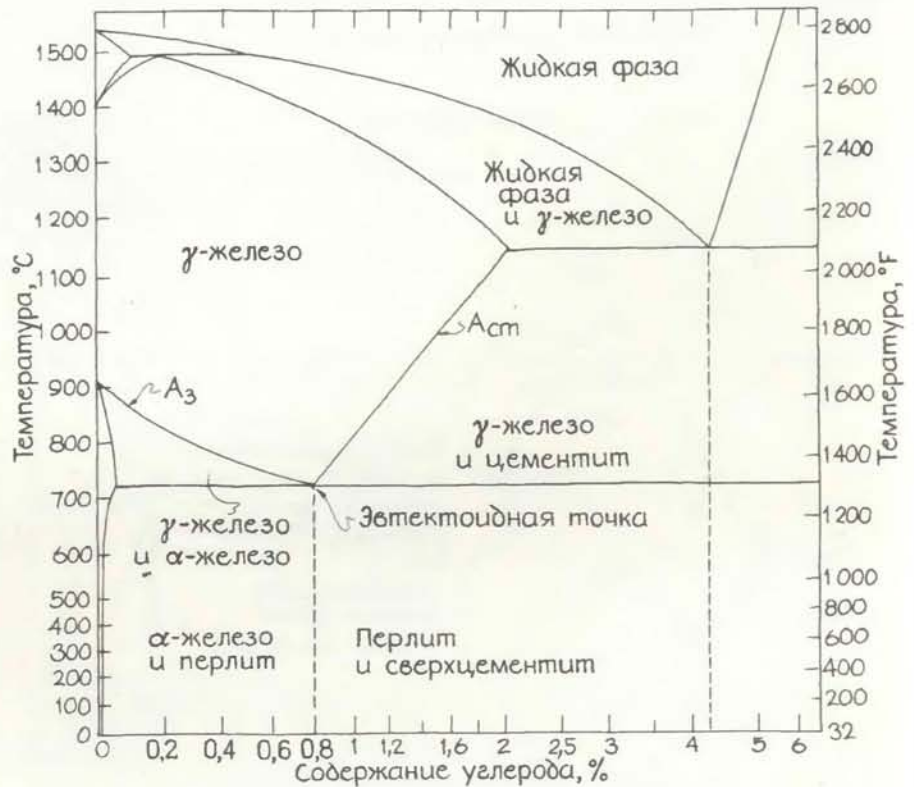
Процесс превращения α -железа в γ -железо подобен замерзанию воды и таянию льда. При нагревании льда его температура растет, пока не достигнет точки таяния. Далее температура подниматься не может, пока лед не растает полностью. При охлаждении воды до точки замерзания ее температура будет оставаться на этом уровне до полного превращения воды в лед. Только после этого температура может еще снизиться.

Рояльная струна, используемая в опыте Уолтона, в основном содержит α -железо. Когда по струне проходит ток, в результате столкновений свободных электронов с атомами выделяется тепловая энергия. При нагревании до определенной температуры содержащееся в струне α -железо превращается в γ -железо. При дальнейшем нагревании струна становится настолько горячей, что начинает излучать в красной области видимой части спектра.

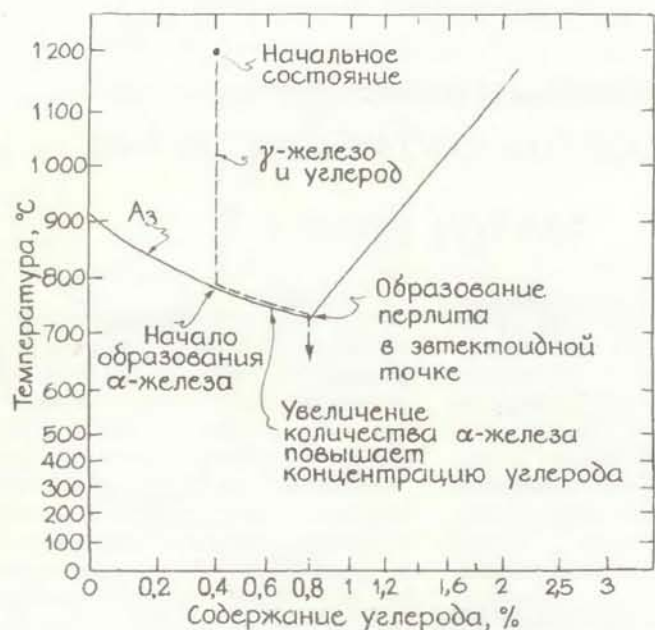
Когда ток отключается, струна



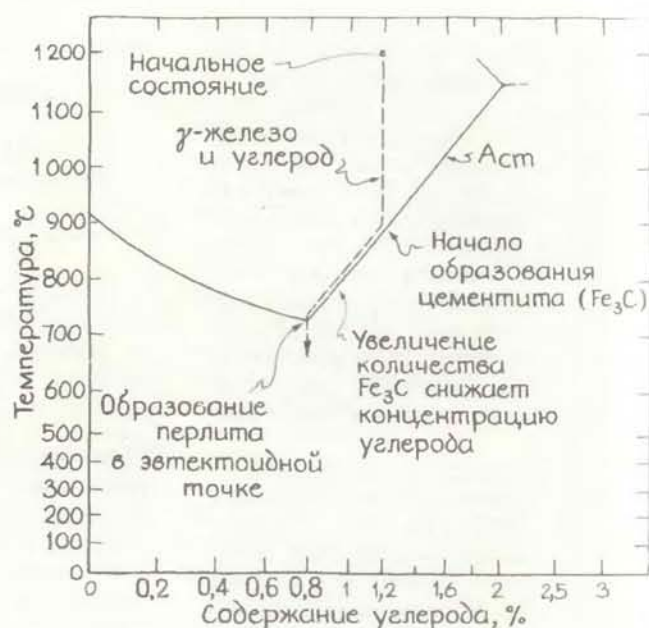
Структура элементарной ячейки кристаллов железа двух типов



Фазовая диаграмма состояния железоуглеродистого сплава



Охлаждение доэвтектоидной стали



Охлаждение заэвтектоидной стали

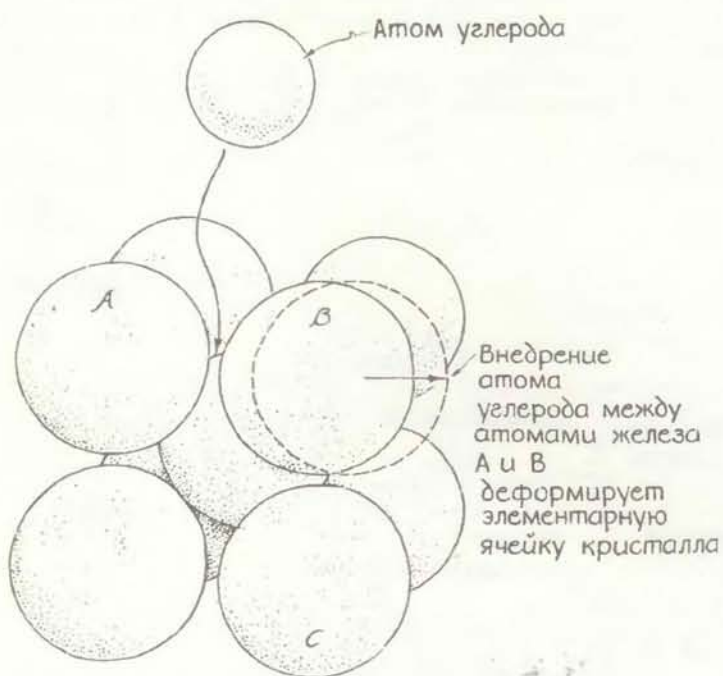
охлаждается, и ее накал ослабевает. При температуре, соответствующей точке перехода, перестройка границированной кубической решетки в объемноцентрированную сопровождается высвобождением энергии, которая на какой-то момент вновь повышает температуру струны — она опять раскаляется докрасна и провисает. В этом случае свечение очень краткое, потому что энергия быстро теряется на излучение и охлаждение воздухом. Так что кратковременная «вспышка» раскаленной проволоки в опыте Уолтона

есть не что иное, как результат высвобождения энергии при превращении γ-железа в α-железо. Таким образом, для образования одной атомной структуры требуется больше энергии, чем для образования другой.

Чтобы разрешить следующую загадку в опыте Уолтона, необходимо рассмотреть вопрос о содержании углерода в стали. Существуют, конечно, различные типы сталей, но в данном случае мы изучим двойной сплав железа и углерода. Для анализа воспользуемся фазовой диаграммой, или диаграммой

состояния этого железоуглеродистого сплава, приведенной внизу на с. 91. На вертикальной оси отложена температура сплава, а на горизонтальной — процентное содержание углерода (по массе).

Когда сталь находится в жидком состоянии, углерод легко растворяется в железе. Даже когда металл твердый, углерод может смешиваться с кристаллами железа, образуя так называемый твердый раствор. Растворимость углерода играет важную роль в опыте Уолтона.



Атом углерода деформирует элементарную ячейку



Реберная дислокация атомов в кристалле

На второй фазовой диаграмме (вверху слева на с. 92) отмечена точка, соответствующая состоянию, когда струна находится в фазе γ -железа при температуре 1200°C с содержанием углерода $0,4\%$, т.е. 4 части углерода на 1000 частей твердого раствора. Говоря о растворенном в γ -железе углероде, мы имеем в виду, что он распределен по кристаллической структуре. Атомы углерода способны внедряться в ребра элементарных ячеек. Поскольку углерода в сплаве очень мало, только в немногих ячейках на ребрах расположены атомы углерода.

На диаграмме охлаждению стальной струны соответствует вертикальная пунктирная линия от исходной точки вниз к линии, обозначенной A_3 . Эта линия отмечает переход γ -железа в α -железо. До тех пор пока точка перехода не будет достигнута, отвод энергии от железа снижает температуру, но ни кристаллическая структура, ни растворимость углерода не изменяются. После того как будет достигнуто состояние, соответствующее линии A_3 , последующий отвод тепла сопровождается превращением γ -железа (в первую очередь на границах зерен) в α -железо.

Углерод почти совсем не растворяется в α -железе (предел его растворимости составляет $0,025\%$), и поэтому раствор γ -железа и углерода становится более концентрированным. На фазовой диаграмме линия, соответствующая охлаждению, направлена вправо вниз вдоль A_3 и отражает рост концентрации углерода в уменьшающемся количестве γ -железа по мере того, как оно переходит в α -железо. Если в чистом металле превращение γ -железа в α -железо наступает при одной температуре, то в сплаве с углеродом такой переход может происходить в широком диапазоне температур.

Этот процесс завершается, когда температура достигает 723°C , что соответствует конечной точке линии A_3 . Это состояние называют эвтектоидным; оно соответствует самой высокой ($0,8\%$) возможной концентрации углерода в γ -железе. Дальнейший отвод энергии вызывает формирование из оставшегося раствора чередующихся слоев из α -железа и кластеров из карбида железа (Fe_3C), обычно называемого цементитом. Смесь α -железа и цементита называют перлитом. Поскольку дальнейшее охлаждение не изменяет структуру этой смеси, при комнатной температуре сталь такого состава представляет собой перлит.

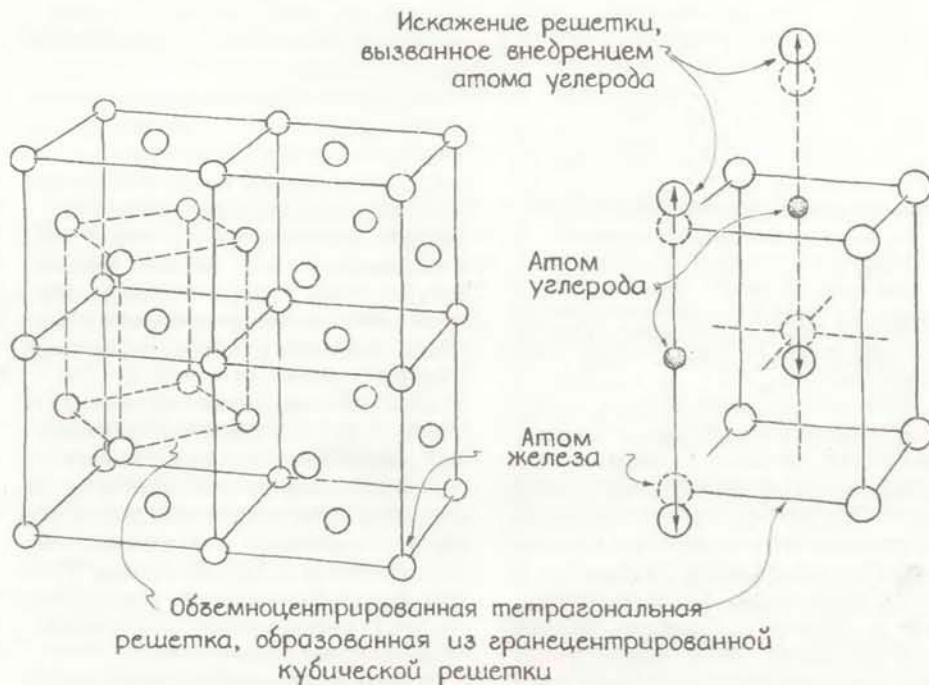
Нагревание вызывает обратный процесс. Сталь сохраняет структуру перлита до достижения эвтектоидного состояния. При дальнейшем нагревании цементит превращается в твердый раствор углерода в γ -железе. Затем с повышением температуры остаток α -железа переходит в γ -железо, при-

этом концентрация углерода в γ -железе уменьшается. Соответствующая этому процессу линия на фазовой диаграмме идет влево вверх вдоль A_3 , а точка перегиба, где прямая отходит от A_3 и направляется вверх параллельно оси ординат, соответствует моменту, когда все α -железо переходит в γ -железо. На этом участке нагревание не изменяет кристаллическую структуру и концентрацию углерода. Они остаются постоянными.

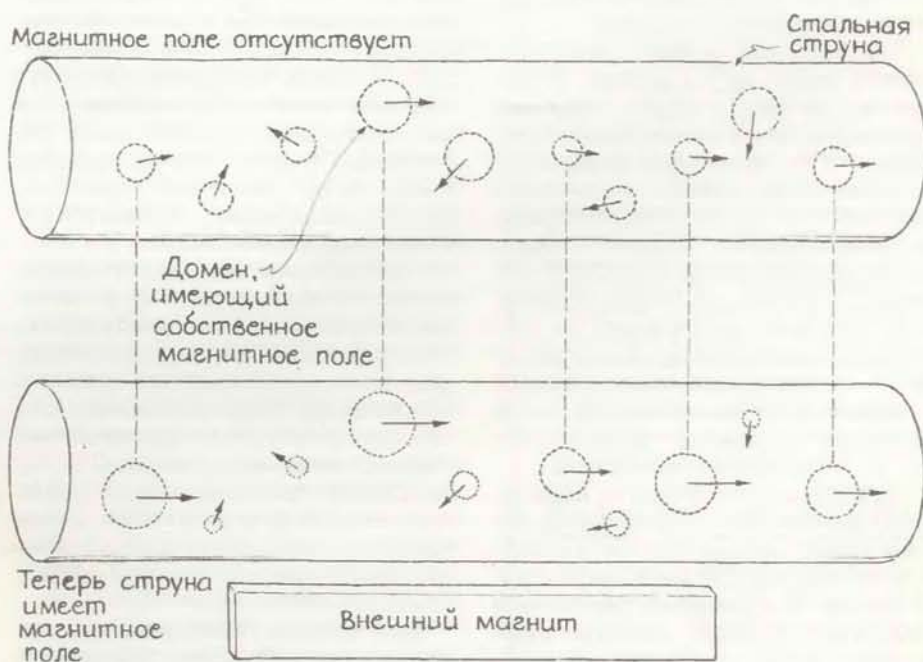
Когда сталь находится в фазе γ -железа и имеет концентрацию углерода

меньше $0,8\%$, которая характеризует эвтектоидное состояние, ее называют доэвтектоидной. Заэвтектоидная сталь, в которой концентрация углерода больше $0,8\%$, охлаждается почти так же, как было описано, только сначала в ней образуется карбид, а не α -железо.

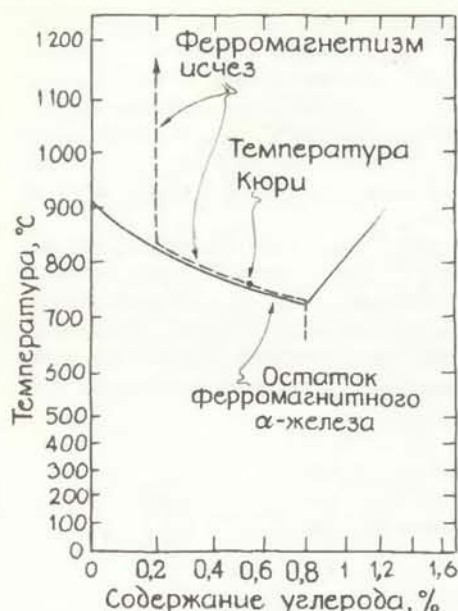
Допустим, что сталь находится в фазе γ -железа и концентрация углерода составляет $1,2\%$. При охлаждении концентрация углерода остается неизменной, пока не будет достигнута точка перехода. На фазовой диаграмме, при-



Кристаллическая структура мартенсита



Упорядочение ориентации магнитных моментов доменов при приближении магнита



Явление потери ферромагнитных свойств

веденной сверху справа на с. 92, соответствующая этому процессу линия обозначена A_{cm1} .

Если исследуемый образец продолжают охлаждать, то не весь углерод остается в растворе с γ -железом. Снижение температуры образца сопровождается образованием карбида железа. В этом процессе в основном участвует углерод, находящийся на границах зерен γ -железа. Концентрация углерода, таким образом, уменьшается. На фазовой диаграмме этому процессу соответствует нижний участок прямой A_{cm1} . Дополнительное охлаждение приводит к образованию перлита. При комнатной температуре в стали содержится большое количество карбида железа в смеси с перлитом.

Рояльная струна в фазе γ -железа содержит около 0,8% углерода. Раскаленная докрасна струна, остывая, быстро достигает эвтектидной точки (550—600°C). Затем сразу же происходит переход от углерода и γ -железа в фазу перлита, который сопровождается потерей энергии. Струна на короткое время раскаляется докрасна и провисает. Частично провисание объясняется тепловым расширением за счет энергии, выделяемой при изменении ее кристаллической структуры. Однако удлинение струны происходит еще и вследствие изменения расположения атомов при образовании перлита.

Растворимость углерода в железе зависит прежде всего от положений, которые могут занимать атомы углерода в элементарной кристаллической ячейке железа. В объемноцентрированной кубической решетке α -железа атом углерода может находиться на ребре ячейки или в центре ее грани. Поскольку в обоих случаях имеющееся для ато-

ма углерода пространство меньше его собственного размера, он смещает атом железа, расположенный в вершине угла. На нижнем рисунке слева на с. 92 показано одно из положений, которое может занимать атом углерода на ребре ячейки. Если он внедряется между атомами A и B за счет смещения B , то последний сдвигается вправо. Если же атом углерода внедряется между атомами железа B и C , то атом B может сдвинуться вверх. В обоих случаях за счет смещения (дислокации) атома B структура кристалла сильно деформируется. Углерод совсем не растворяется в α -железе, потому что в кристаллах железа в этой фазе для него нет места, а если он и внедрится, то кристаллическая структура исказится.

В γ -железе атомы углерода могут располагаться только на ребрах элементарной ячейки. Хотя в этом случае мест, где могли бы находиться атомы углерода, меньше, чем в α -железе, свободное пространство на ребрах кристаллических ячеек немного больше. Поэтому присутствие углерода вызывает меньшую деформацию кристалла, чем в α -железе, и в твердом растворе концентрация углерода выше.

Основная цель сохранения углерода в стали — это повышение ее прочностных характеристик. Зерна железа почти всегда содержат дислокации, которые нарушают правильную форму идеальных кристаллов и тем самым делают эти зерна менее прочными. Углерод повышает прочность зерен железа за счет фиксирования дислокаций в определенных положениях.

Наиболее распространенным типом деформации решетки кристаллов является реберная дислокация. Рассмотрим правильный куб α -железа, в котором каждая элементарная ячейка связана с соседними ячейками. Сделаем мысленно разрез посередине куба и будем медленно сдвигать его половины (блоки) в противоположных направлениях на расстояние, равное ширине одной элементарной ячейки. Теперь смещенные атомы будут расположены вдоль линии, не совпадающей с линией, образуемой соседними ячейками.

Такая реберная дислокация снижает прочность зерен железа. Если теперь под действием приложенных сил блоки кристалла сдвигаются относительно друг друга на большее расстояние, то вертикальная линия дислокации атомов передвигается по всему кристаллу. Обычно связь между атомами в элементарной ячейке очень прочная. Однако смещенные атомы слабо удерживаются на своих местах и могут легко сдвинуться даже при действии незначительных внешних сил.

Если углерод смещается с нагревом до высокой температуры железом и при охлаждении выпадает в виде цементита, последний стремится скон-

центрироваться в областях, образуемых за счет смещения атомов на ребрах элементарных ячеек. Цементит фиксирует эти смещения и тем самым уменьшается возможность того, что приложенное напряжение может сдвинуть смещенные атомы в кристаллах и разрушить зерна. При нагревании рояльной струны и последующем ее охлаждении за счет потери энергии на излучение и конвекцию воздуха атомы углерода успевают диффундировать в железо и образовать цементит в местах дислокации. Поэтому струна становится гибкой и не ломается при скручивании.

Когда Уолтон нагревает струну, а затем быстро охлаждает ее водой или влажной губкой, образования цементита не происходит. Этот процесс закалки протекает настолько быстро, что углерод не успевает диффундировать в железо, и только часть γ -железа успевает превратиться в α -железо. Хотя сначала это превращение происходит очень быстро, вскоре оно замедляется. Таким образом, закаленная водой часть струны содержит небольшое количество α -железа и значительную долю γ -железа. Почти все атомы углерода фиксируются в своих положениях. Такой сплав представляет собой пересыщенный раствор углерода, так как его концентрация в железе значительно больше, чем должна быть при данной температуре. Для образования этой новой фазы, которую называют мартенситом, не требуется ни диффузии, ни наличия зародышей. Этот процесс носит спонтанный характер и связан с изменением кристаллической структуры γ -железа, в которой атомы углерода расположены на ребрах только некоторых элементарных ячеек. Гранецентрированная кубическая решетка железа преобразуется в объемноцентрированную тетрагональную решетку. Атомы углерода в γ -железе не успевают диффундировать и остаются на своих местах в элементарных ячейках. Они смещают атомы железа в объемноцентрированной тетрагональной структуре.

В результате нарушения формы кристаллов в мартенсите появляются области высокого напряжения, оно же придает повышенную твердость мартенситу, поскольку препятствует смещению атомов внутри зерен. Вот почему образующийся при закаливании струны мартенсит получается настолько твердым, что способен процарапать след на стекле. В то же время он хрупкий, потому что в зернах имеются многочисленные области повышенного напряжения, из-за которых струна при скручивании будет ломаться.

Содержащиеся в мартенсите атомы углерода диффундируют в кристалл настолько медленно, что можно считать, что они занимают фиксирован-

ное положение. С повышением температуры диффузия происходит быстрее, и, собираясь вместе, атомы углерода образуют мельчайшие зерна цемента. При достаточно высокой температуре через некоторое время сталь приобретает в основном свойства перлита.

Третья загадка в опыте Уолтона связана с магнитными свойствами стальной струны. Известно, что железо является ферромагнетиком. Одна из характерных особенностей ферромагнетиков — наличие областей, называемых доменами (атомных носителей магнетизма с параллельной ориентацией магнитных моментов). Каждый домен представляет собой элементарный магнит. В целом материал может казаться немагнитным, потому что в обычных условиях магнитные поля всех доменов направлены хаотично и компенсируют друг друга.

В рояльной струне магнитные поля доменов «погашаются» до тех пор, пока к ней не будет поднесен магнит. Поле магнита ориентирует магнитные моменты доменов в одном направлении и за счет этого в струне создается собственное магнитное поле. Перестройка магнитных моментов доменов в первую очередь связана с изменением размеров самих доменов. Домен, направление магнитного поля которого примерно совпадает с направлением поля магнита, становится больше за счет соседних доменов, имеющих другую ориентацию.

В результате увеличения размера доменов между струной и магнитом возникает взаимное притяжение. Если струна имеет комнатную температуру, то сила притяжения достаточна, чтобы струна провисла. При температуре же, соответствующей образованию γ -железа, притяжение отсутствует.

Когда железо нагревается, атомы и молекулы возбуждаются, и его намагниченность («магнитный порядок») нарушается. Чем выше температура материала, тем слабее магнитное поле каждого домена. При определенной температуре упорядоченная ориентация магнитных доменов полностью исчезает. Это явление происходит при температуре Кюри, получившей это название по имени Пьера Кюри, который в 1894 г. впервые обнаружил, что железо теряет свои ферромагнитные свойства, если его нагреть до температуры выше 768°C (точка Кюри).

Природа магнитного поля в ферромагнетиках, таких, как железо, еще до конца не изучена. Принято считать, что в кристалле атом железа частично ионизован (теряет один или несколько электронов), поскольку электроны на его внешней оболочке становятся слабо связанными из-за близости других ионов железа. Хотя эти электроны не совсем свободные, они обладают достаточной подвижностью и могут «пе-

рескакивать» от одного иона к другому.

Каждый электрон имеет магнитное поле. И несмотря на то, что природа этого поля не совсем ясна, оно является такой же характеристикой электрона, как и его электрический заряд. Когда в кристалле железа электроны «перескакивают» от одного иона к другому, они оказывают взаимное влияние друг на друга посредством так называемого межэлектронного обменного взаимодействия. В результате магнитные поля «полусвободных» электронов принимают одинаковое направление. Электрону, магнитное поле которого имеет иное направление, для перехода требуется бо́льшая энергия. Таким образом, упорядоченность магнитных полей отдельных электронов, за счет которой и создается магнитное поле всего домена, обусловлена обменным взаимодействием с минимальной энергией.

По мере увеличения температуры более интенсивное тепловое движение атомов препятствует согласованному поведению электронов до тех пор, пока (при температуре выше точки Кюри) не будет нарушена структура домена. В точке Кюри, при критической температуре, «полусвободные» электроны все еще имеют магнитные поля, но их ориентация не будет упорядоченной. Если к железной проволоке, нагретой до температуры выше точки Кюри, поднести магнит, то она лишь слегка притянется к магниту. Под влиянием поля магнита магнитные моменты некоторых электронов могут принять одинаковую направленность, но эта упорядоченность будет неустойчива из-за теплового движения.

Явление, связанное с потерей магнетизма, можно пояснить и с помощью фазовой диаграммы. Рассмотрим состояние, когда сталь находится в фазе перлита и имеет низкое содержание углерода. Когда ее нагревают до эвтектичного состояния и она переходит в другую фазу — γ -железа и углерода, — железо теряет свои ферромагнитные свойства. По мере дальнейшего нагревания, чему соответствует линия, идущая вверх вдоль A_3 , оставшееся количество α -железа сохраняет магнитные свойства до достижения температуры Кюри. При более высоких температурах железо перестает быть ферромагнетиком.

О влиянии температуры на кристаллическую структуру стали можно рассказать больше. Используя травление и фотографируя испытываемые образцы через микроскоп, можно исследовать процесс выделения карбида железа из стали. Когда сталь имеет более высокое содержание углерода, чем в рассмотренных случаях, обнаруживаются новые образования. Исследование причин их формирования и их структуры я предлагаю читателям провести самим.

Издательство МИР предлагает:

Дж. Фриц, Д. Герде,
К. Поландт
ИОННАЯ
ХРОМАТОГРАФИЯ

Перевод с английского

Книга посвящена ионной хроматографии — новому современному методу анализа анионов и катионов, характеризующемуся высокой чувствительностью, простотой аппаратного оформления и эффективностью. Написанная в сжатой лаконичной форме книга является ценным руководством для практического освоения метода и содержит необходимые сведения по используемой аппаратуре.

Для химиков-аналитиков — работников научно-исследовательских институтов, промышленных предприятий.

1984, 13 л. Цена 2 р. 25 к.

Дж. Гоулдстейн,
Д. Ньюбери, П. Эчлин
и др.

РАСТРОВАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ И РЕНТГЕНОВСКИЙ МИКРОАНАЛИЗ

В двух книгах

Перевод с английского

Приводятся теоретические и практические сведения о работе растрового электронного микроскопа и рентгеновского микроанализатора, об их применении при исследовании препарированных твердых тел и биологических объектов. Уделено много внимания особенностям работы отдельных устройств микроскопа и микроанализатора, выбору оптимальных режимов.

Для биологов, материаловедов, геологов и студентов соответствующих специальностей.

1984, 46 л. Цена 5 р. 20 к. за комплект



Занимательный компьютер

В игре «Бой в памяти» компьютерные программы ведут битву за биты

А.К. ДЬЮДНИ

ДВЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ программы, действующие в своей родной стихии — памяти цифровой ЭВМ, рыщут от адреса к адресу, «атакуя» друг друга. Иногда они проводят разведывательные действия в поисках противника, иногда бомбардируют память «числовыми бомбами», а иногда копируют сами себя, избегая опасности, или приостанавливаются, чтобы исправить полученные повреждения. Это игра, которую я назвал «Бой в памяти». Она отличается от большинства других компьютерных игр тем, что люди, по существу, не принимают в ней участия. Противоборствующие программы, разумеется, написаны людьми, но, когда начинается «сражение», создателю программы не остается ничего другого, как просто наблюдать за тем, как продукт его многочасового труда либо живет, либо погибает на экране дисплея. Исход борьбы зависит лишь от того, какая программа первой получит повреждение в уязвимой области.

Название игры (Core War — «Бой на ферритовых сердечниках») происходит от ныне устаревшей технологии производства оперативной памяти ЭВМ. В 50-х и 60-х годах оперативные запоминающие устройства компьютеров состояли из тысяч ферритовых сердечников — маленьких колечек, нанизанных на тонкие проволочки. Каждый такой сердечник предназначался для запоминания одного бита информации, или двоичного разряда — основной информационной единицы. Теперь запоминающие устройства изготавливаются на полупроводниковых кристаллах, однако оперативную память, в которой хранится программа в ходе своего выполнения, все еще часто называют ферритовой памятью (core memory или просто core).

Программы для игры «Бой в памяти» пишутся на специальном языке, который я назвал Редкодом. Он относится к категории языков программирования, известной как языки ассемблера. В настоящее время большинство программ для ЭВМ пишется на языках высокого уровня, таких, как Паскаль, Фортран или Бейсик. В этих языках один оператор может привести к выполнению целой последовательности машинных команд. Кроме того, эти опе-

раторы легче читаются и программисту проще понять логику программы. Однако, чтобы программу можно было выполнить, ее сначала нужно перевести на «машинный язык», в котором каждая команда представляется довольно длинной цепочкой двоичных разрядов. Составлять программу на таком языке — занятие скучное и утомительное.

Языки ассемблера занимают промежуточное положение между языками высокого уровня и машинными языками. Как правило, в программе, написанной на языке ассемблера, каждый оператор соответствует одной машинной команде и, следовательно, какой-то конкретной цепочке двоичных разрядов. Но вместо того чтобы записывать эти двоичные числа, программист представляет их короткими словами, сокращенными мнемоническими обозначениями команд. Такие слова значительно проще запомнить, чем двоичные числа. Перевод на машинный язык осуществляет программа, называемая ассемблером.

Языком ассемблера пользуются сравнительно редко, потому что программы, написанные на этом языке, длиннее и в них труднее разобраться по сравнению с программами, написанными на языках высокого уровня. Однако существуют задачи, для которых язык ассемблера — идеальное средство. Если программа должна занимать как можно меньше памяти или должна выполняться как можно быстрее, то обычно ее пишут на языке ассемблера. Более того, некоторые возможности машины можно реализовать, пользуясь только языком ассемблера, — языки высокого уровня не позволяют этого сделать. Например, программы, написанные на языке ассемблера, могут модифицировать свои собственные команды или перемещать самих себя на другое место в памяти.

ИДЕЯ игры «Бой в памяти» впервые возникла у меня несколько лет назад, после того как мне рассказали о шутке одного программиста, работавшего в крупной исследовательской лаборатории, которую я условно назову «лабораторией X». Этот программист написал на языке ассемблера программу под названием «Сорняк», которая

создавала свою точную копию каждый раз, когда выполнялась. Она также обладала способностью переходить из одного компьютера в другой, распространяясь по всей сети ЭВМ лаборатории X. У программы не было никакого другого назначения, кроме как «увечить» самое себя. Через некоторое время появилось так много копий Сорняка, что более полезным программам и набором данных стало не хватать места. Такое разрастание Сорняка продолжалось до тех пор, пока кто-то не придумал воспользоваться программой, основанной на том же принципе: была создана еще одна самовоспроизводящаяся программа под названием «Косарь» для обнаружения и уничтожения копий Сорняка, а когда их уже нельзя было найти, программа Косарь должна была уничтожить самое себя. Косарь выполнил свою задачу, и порядок в лаборатории X был таким образом восстановлен.

Несмотря на то что эта история казалась маловероятной, я в нее поверил, возможно потому, что мне захотелось в нее поверить. Я затратил некоторое время на то, чтобы докопаться до реальных фактов, скрывавшихся за этим анекдотом. (О том, что мне удалось узнать, я расскажу ниже. А сейчас заметим лишь, что в основе моего желания поверить этой истории лежала интригующая идея о двух программах, «сражающихся в темных и бесшумных лабиринтах памяти машины».)

В прошлом году я решил все-таки реализовать идею, лежащую в ее основе, и разработал первую версию игры «Бой в памяти». Мне помогал Дэвид Джонс, студент моего отделения в Университете Зап. Онтарио. С тех пор мы продолжали дорабатывать эту игру и довели ее до довольно интересного уровня.

У игры «Бой в памяти» четыре основных компонента: массив памяти на 8000 адресов, язык ассемблера Редкод, программа-монитор под названием «Марс» (MARS — Memory Array Redcode Simulator) и набор «боевых» программ. Две противоборствующие программы вводятся в память на случайным образом выбранные позиции, причем ни одна программа не знает, где находится программа-противник. Программа-монитор Марс управляет выполнением таких программ, реализуя простейший вариант системы разделения времени, которая распределяет ресурсы компьютера по многочисленным пользователям, работающим одновременно с машиной. Программы-противники «ходят» по очереди. Сначала выполняется одна команда первой программы, затем одна команда второй программы и т.д.

Действия, совершаемые программой в отведенные для нее промежутки времени, полностью определяются авто-

ром программы. Цель же этих действий заключается в том, чтобы вывести из строя другую программу, повредив ее команды. Однако можно придерживаться и защитной стратегии: программа может заниматься восстановлением полученных повреждений или, «попав под огонь противника», перейти на другое место в памяти. Игра заканчивается, когда программа-монитор Марс встречает в одной из программ команду, которую невозможно выполнить. Программа, содержащая эту недействительную команду (следствие полученного в «бою» повреждения), объявляется проигравшей.

О ПРОГРАММЕ можно многое узнать, анализируя ее поведение в уме или пользуясь просто карандашом и бумагой. Однако, чтобы по-настоящему испытать программу в действии, необходимы компьютер и программное обеспечение игры (система Марс). Играть можно и на персональном компьютере — мы с Джонсом подготовили инструкции для тех, кто захочет реализовать игру «Бой в памяти» на своем компьютере.

Прежде чем перейти к описанию языка Редкод и представить несколько примеров простых программ для этой игры, мне хотелось бы немного подробнее остановиться на массиве памяти. Хотя выше отмечалось, что она состоит из 8000 адресуемых ячеек, в этом числе нет ничего магического; игра может проходить и в памяти меньшего размера. Существенным отличием от большинства запоминающих устройств является то, что массив памяти для системы Марс имеет круговую структуру. Адреса ячеек памяти нумеруются

последовательно от 0 до 7999, а следующий адрес 8000 указывает опять на ячейку 0; таким образом, память замыкается сама на себя. Адреса, большие, чем 7999, Марс всегда «загоняет» в пределы от 0 до 7999, для чего значение адреса делится на 8000, а полученный при делении остаток берется в качестве действительного адреса. Так, например, когда программа «стреляет» в ячейку с адресом 9378, Марс интерпретирует этот адрес как 1378.

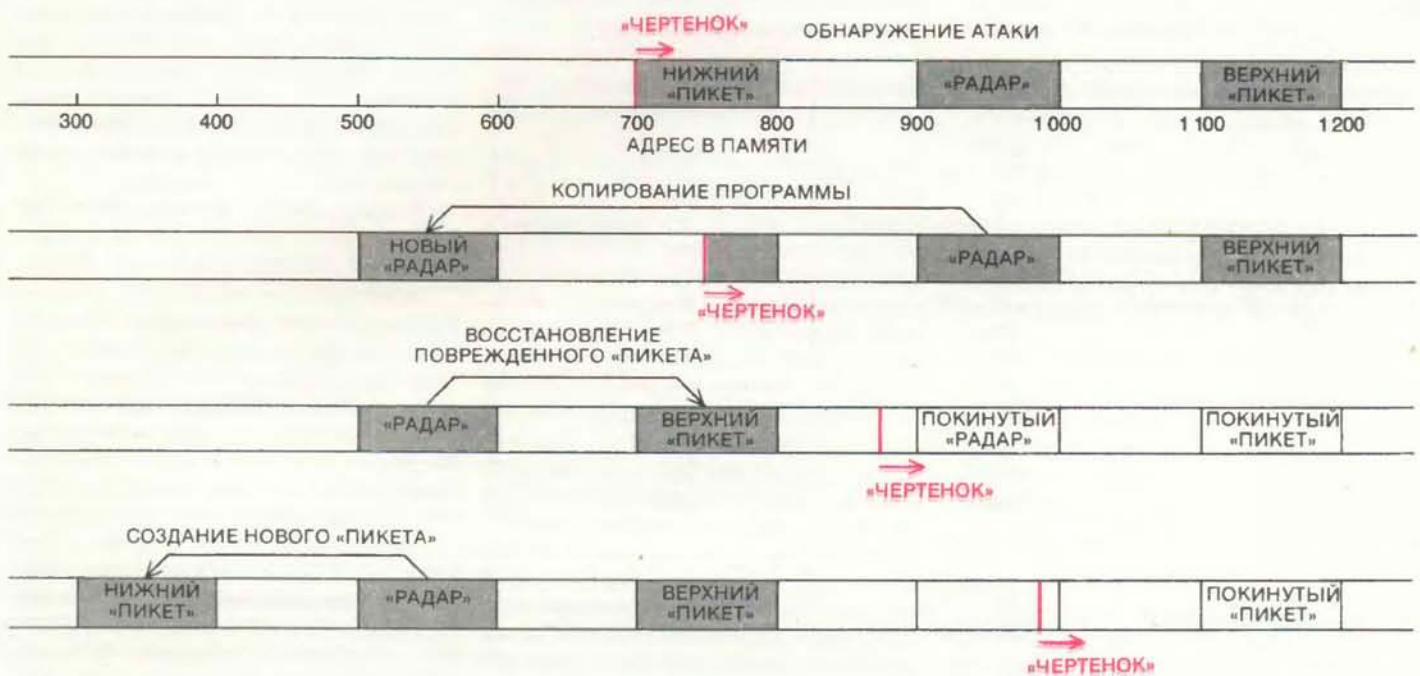
Редкод представляет собой очень упрощенный специализированный язык программирования, относящийся к классу языков ассемблера. Он содержит команды, позволяющие перенести содержимое одной ячейки памяти в другую, команды, производящие арифметические операции над содержимым ячеек памяти, а также команды управления последовательностью выполнения команд в программе. В отличие от ассемблера, который переводит программы в двоичные коды машинных команд, Марс переводит программы, написанные на Редкоде, в последовательность больших целых десятичных чисел, хранящихся затем в массиве памяти. Каждая ячейка памяти может хранить одно такое число. При выполнении программ Марс интерпретирует эти целые числа как машинные команды и производит соответствующие операции.

Список элементарных команд языка Редкод приведен на рисунке с. 98. Каждую команду программист должен снабдить по крайней мере одним операндом или конкретным значением. Большинство команд требуют двух операндов. Например, команда JMP - 7 (JMP — мнемоническое обозначение от

слова jump — прыгнуть, перескочить) имеет один операнд со значением - 7. Эта команда сообщает Марсу, что нужно передать управление на ячейку памяти с адресом, меньшим текущего адреса на 7 единиц, т.е. выполнить команду под номером на 7 меньшим, чем номер самой команды JMP - 7. Если эта команда находилась бы сама в ячейке с адресом 3715, то выполнение программы продолжилось бы с ячейки с адресом 3708.

Такой способ вычисления адреса памяти называется относительной адресацией; это единственный способ адресации, используемый в языке Редкод. Таким образом, программа никогда не знает абсолютных значений адресов, по которым располагаются ее команды.

Команда MOV 3 100 сообщает Марсу, что нужно продвинуться вперед на 3 адреса, прочитать содержимое ячейки и перенести его в ячейку с адресом на 100 большим, чем адрес самой команды, стерев то, что там находилось до сих пор. В этой команде операнды заданы в «прямой» форме, т.е. они прямо указывают на адреса ячеек, над содержимым которых производится действия. Разрешаются также еще два способа адресации. Если перед операндом стоит значок @, то это означает, что используется «косвенная» адресация. Команда MOV @3 100 означает, что целое число, которое нужно поместить в ячейку с относительным адресом 100, находится уже не в ячейке с относительным адресом 3, а в ячейке, адрес которой хранится по относительному адресу 3. (Механизм косвенной адресации проиллюстрирован на с. 98 внизу.) Значок # указывает на то, что операнд следует понимать как «не-



Радар — более сложная игровая программа, успешно отражающая атаки более простой программы Чертенюк

КОМАНДА	ОБОЗНАЧЕНИЕ	КОД	ОПЕРАНДЫ		ПОЯСНЕНИЯ
Переместить	MOV	1	A	B	Переместить содержимое ячейки A в ячейку B
Сложить	ADD	2	A	B	Сложить содержимое ячеек A и B
Вычесть	SUB	3	A	B	Вычесть содержимое ячейки A из содержимого ячейки B
Перейти	JMP	4	A		Передать управление на ячейку A
Перейти, если 0	JMZ	5	A	B	Передать управление на ячейку A, если в ячейке B находится 0
Перейти, если больше	JMG	6	A	B	Передать управление на ячейку A, если в B находится величина, большая 0
Уменьшить и перейти, если 0	DJZ	7	A	B	Вычесть 1 из содержимого ячейки B и передать управление по адресу A, если содержимое B становится нулевым
Сравнить	CMP	8	A	B	Сравнить величины в ячейках A и B, если они не равны, пропустить следующую команду
Определить	DAT	0		B	Невыполняемая команда; B—значение элемента данных

Система команд Редкода — языка ассемблера для игры «Бой в памяти»

ОБОЗНАЧЕНИЕ	ОПЕРАНД A	ОПЕРАНД B	КОД ОПЕРАЦИИ	РАЗРЯД АДРЕСАЦИИ:		ОПЕРАНД A	ОПЕРАНД B
				ОПЕРАНД A	ОПЕРАНД B		
DAT		-1	0	0	0	0000	7999
ADD	# 5	-1	2	0	1	0005	7999
MOV	# 0 @ -2		1	0	2	0000	7998
JMP	-2		4	1	0	7998	0000
СПОСОБЫ АДРЕСАЦИИ: НЕПОСРЕДСТВЕННАЯ				#	0		
					ПРЯМАЯ	1	
					КОСВЕННАЯ	@	2

Представление команд языка Редкод десятичными целыми числами

412			412			412			
413	DAT	22	418 - 5	413	DAT	22	413	DAT	22
414				414			414		
415	MOV @3 100			415	MOV @3 100		415	MOV @3 100	
416				416			416		
417				417			417		
415 + 3	418	DAT	-5	418	DAT	-5	418	DAT	-5
419				419			419		
420				420			420		
.				.			.		
.				.			.		
.				.			.		
514				514			514		
515				515		415 + 100	515	DAT	22
516				516			516		
УСТАНОВИТЬ АДРЕС ИСТОЧНИКА			ПОЛУЧИТЬ КОПИРУЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДАННЫХ			ЗАНЕСТИ ЭЛЕМЕНТ ДАННЫХ В НУЖНУЮ ЯЧЕЙКУ			

Трехшаговый механизм косвенной относительной адресации

посредственный», т.е. рассматривать его не как адрес ячейки в памяти, а как целое число. Команда MOV #3 100 означает, что целое число 3 нужно поместить в ячейку с относительным адресом 100.

Большинство других команд не нуждается в пояснениях. Следует лишь сказать еще несколько слов о команде DAT. Она может служить как средство резервирования памяти для информации, используемой в программе. Однако, строго говоря, DAT не является командой как таковой. Любая ячейка памяти, содержащая нуль в первом десятичном разряде, может рассматриваться как команда типа DAT и потому как невыполняемая команда. Если от системы Марс потребуется выполнить подобную «команду», то она не сможет этого сделать и объявит программу проигравшей.

Десятичное число, представляющее команду Редкода, имеет несколько полей, или функциональных областей (см. рисунок слева в середине). Первая цифра представляет обозначение команды; она является как бы кодом операции. Две следующие цифры отводятся под способ адресации для первого и второго операндов соответственно (прямая, косвенная или непосредственная). Наконец, на каждый операнд отводится еще по четыре цифры. Отрицательные значения величин хранятся в дополнительном представлении: так, -1 будет представлена как 7999, поскольку в круговой памяти системы «прибавить 7999» даст тот же эффект, как «вычесть 1».

Команды, из которых построена простейшая программа «Карлик», приведены на с. 99. Несмотря на то что программа Карлик не очень разумна, она весьма опасна: систематически «прочесывает» память, «бомбардируя» каждую пятую ячейку нулем. Нуль — это число, обозначающее невыполняемую команду DAT; таким образом, попав в расположение команд программы-противника, нуль может привести к ее остановке.

Предположим, к примеру, что Карлик занимает ячейки памяти с абсолютными адресами от 1 до 4. Ячейка 1 первоначально содержит команду DAT - 1, однако выполнение программы начинается со следующей команды, ADD # 5 - 1. В результате число 5 прибавляется к содержимому предыдущей ячейки, а именно к команде DAT - 1, после чего она превращается уже в DAT 4. Затем Карлик выполняет команду, находящуюся в ячейке 3, а именно MOV # 0 @ - 2. Здесь целое число 0 указано как непосредственное значение операнда; его нужно перенести в ячейку, адрес которой вычисляется следующим образом. Сначала Марс отсчитывает от адреса 3 две единицы назад, останавливаясь на ячейке

1. Прочитав значение, хранящееся в этой ячейке, а именно 4, Марс интерпретирует его как адрес, определяемый относительно адреса текущей команды. Другими словами, он отсчитывает четыре ячейки вперед от адреса 1 и помещает значение 0 в ячейку с адресом 5.

Заключительная команда программы Карлик, JMP -2, создает бесконечный цикл. Она вновь передает управление на ячейку с абсолютным адресом 2, в результате чего число в команде DAT увеличивается на 5 и теперь она уже выглядит как DAT 9. При следующем выполнении тела цикла число 0 помещается уже в ячейку с абсолютным адресом 10. После этого «нулевые бомбы» падают на ячейки 15, 20, 25 и т.д. Сама программа остается на месте, но ее «артиллерия» угрожает всему массиву памяти. В конце концов Карлик добирается до адресов 7990, 7995 и затем 8000. Последний адрес рассматривается Марсом как равный 0, и поэтому Карлик едва «не покончил жизнь самоубийством». Следующая «бомба» падает снова на ячейку 5.

К сожалению, ни одна «боевая» программа, содержащая более четырех команд, не может уйти от огня Карлика. У программы-противника остается лишь три выхода: либо, постоянно передвигаясь по памяти, попытаться уйти из-под огня, либо, приняв удар, попробовать устранить повреждение, либо успеть первой поразить Карлика. Чтобы добиться успеха, следуя последней стратегии, программа должна оказаться весьма везучей. Ведь ей не известно, в каком месте памяти находится Карлик, и в среднем потребуется произвести около 1600 «выстрелов», или выполнить 1600 программных циклов, прежде чем Карлик получит повреждение. Если Карлик сражается против Карлика, то каждая программа выигрывает в 30% случаев, а в 40% случаев ни одной программе не удастся поразить противника.

Прежде чем рассмотреть две другие стратегии, мне хотелось бы представить вам забавную однострочную программу. Назовем ее «Чертенком». Вот ее текст:

MOV 0 1

Чертенок представляет собой пример простейшей программы, написанной на Редкоде и способной перемещаться в памяти. Команда MOV 0 1 считывает содержимое ячейки с относительным адресом 0, т.е. считывает самое себя, и переносит его в ячейку с относительным адресом 1, т.е. в следующую ячейку. В ходе своего выполнения программа движется по памяти со скоростью одна ячейка за одну команду, оставляя за собой пространство, полностью открытое командами MOV 0 1.

А что будет, если выставить Чертенка против Карлика? «Зона обстрела»

АДРЕС	ЦИКЛ 1	ЦИКЛ 2	ЦИКЛ 9
0			
1	DAT -1	DAT 4	DAT 14
2	ADD #5 -1	ADD #5 -1	ADD #5 -1
3	MOV #0 @-2	MOV #0 @-2	MOV #0 @-2
4	JMP -2	JMP -2	JMP -2
5		— 0	— 0
6			
7			
8			
9			— 0
10			
11			
12			
13			
14			— 0
15			
16			
17			

Карлик — игровая программа, систематически разбрасывающая «нулевые бомбы»

нулевыми бомбами Карлика распространяется по памяти быстрее, чем движется Чертенок; однако из этого еще не следует, что Карлик имеет преимущество. Поразит ли Кралик Чертенка, даже если Чертенок попадет в «зону огня», — вот в чем вопрос!

Если же Чертенок первым достигнет Карлика, то он «пропадет» команды Карлика насквозь. Когда команда Карлика JMP -2 передаст управление назад на две ячейки, там уже будет находиться команда Чертенка MOV 0 1. В результате Карлик переродится и станет вторым Чертенком, до бесконечности преследующим первого по полю памяти. Согласно правилам игры «Бой в памяти», сражение заканчивается вничью. (Отметим, что такого исхода следует, по всей вероятности, ожидать. Читатели могут проанализировать другие возможности; может быть, им удастся открыть какой-либо другой любопытный исход сражения.)

КАК ЧЕРТЕНОК, так и Карлик относятся к классу программ, которые можно охарактеризовать как небольшие и агрессивные, но неразумные. На следующем по сложности уровне находятся программы, возможно менее агрессивные, но достаточно «хитрые», чтобы успешно противостоять программам низшего класса. Эти программы обладают способностью уходить от атак противника, создавая свои копии в более безопасных местах. Каждая подобная программа должна содержать фрагмент, похожий на программу Близицы, текст которой приведен на рисунке внизу на с. 97. Близицы не представляют собой законченной игровой программы. Единственная цель у этой программы — создать свою копию в области памяти, отстоящей на 100 ячеек, и передать управле-

ние только что созданной копии.

Программа Близицы состоит из трех основных частей. Две команды DAT в начале программы служат в качестве указателей. Они указывают соответственно на следующую команду, подлежащую копированию, и на адрес назначения, т.е. на ячейку, куда ее нужно поместить. Цикл, расположенный в середине программы, непосредственно осуществляет копирование, перемещая команды по очереди на 100 ячеек вперед относительно того места, откуда они берутся. После каждого прохождения цикла оба указателя увеличиваются на единицу и указывают уже на новый источник и новый пункт назначения соответственно. Команда сравнения CMP в теле цикла проверяет значение первой команды DAT. Когда оно уже увеличено 9 раз, это означает, что вся программа скопирована, и происходит выход из цикла. Теперь осталось провести небольшую коррекцию. Адрес назначения во второй команде программы имеет исходное значение 99, однако к тому времени, как оно будет скопировано, это значение окажется равным 100. Ошибку, возникшую в процессе копирования, нужно исправить (посредством команды MOV # 99 93), после чего можно передать управление на только что созданную копию программы.

Модифицируя программу Близицы, можно создать целый класс «боевых» программ. Одна из таких программ — «Идол» — создает свои копии на расстоянии 10 ячеек вместо 100. Как и Чертенок, Идол пытается «пройтись» через всю программу противника, но выигрывает гораздо чаще Чертенка и реже заканчивает игру с ничейным результатом, потому что поврежденные им программы с меньшей вероятностью смогут успешно выполнять команды, подставленные в них Идолом. В

7978	MOV	0	1	
7979	MOV	0	1	
7980	—	0		
7981	MOV	0	1	
7982	MOV	0	1	
7983	MOV	0	1	
7984	MOV	0	1	
7985	—	0		
7986	MOV	0	1	
7987	MOV	0	1	
7988	MOV	0	1	
7989	MOV	0	1	
7990	—	0		
7991	MOV	0	1	
7992	MOV	0	1	
7993	MOV	0	1	
7994	MOV	0	1	} «ЧЕРТЕНОК»
7995				
7996				
7997				
7998				
7999				
0				
1	DAT		7994	} «КАРЛИК»
2	ADD	#5	-1	
3	MOV	#0	@-2	
4	JMP	-2		
5	—	0		
6				
7				
8				
9				
10	—	0		
11				

Чертенок против Карлика — кто победит?

«Скороходе» — еще одной программе, где используется механизм Блинецов, — интервал между копиями равен большому простому числу. Скорохода труднее «поймать», и он производит такое же опустошительное действие в стане противника, как и программа Идол.

СКОРОХОД и Идол не очень разумные программы. На сегодняшний день мы располагаем лишь двумя программами, относящимися ко второму уровню сложности. Они слишком громоздки для того, чтобы привести их здесь. Одна из них — назовем ее Радар — выставляет с обеих сторон своеобразные «пикеты» (см. рисунок на с. 97). Каждый пикет состоит из 100 последовательных ячеек памяти,

заполненных единицами, и отделен от текста программы «буферной зоной» из 100 пустых ячеек. Радар попеременно занимается то атакующими действиями в удаленных областях памяти, то проверкой состояния своих пикетов. Если в одном из пикетов обнаруживается какое-либо изменение, Радар интерпретирует это изменение как свидетельство атаки, проведенной Карликом, Чертенком или какой-то другой неразумной программой. В этом случае Радар создает свою копию по другую сторону от поврежденного пикета, восстанавливает его, создает новый пикет на незащищенной стороне и затем продолжает нормальную последовательность действий.

Помимо создания своих копий игровая программа может быть наделена способностью восстанавливать себя от повреждений. Джонс написал самовосстанавливающуюся программу, способную выдерживать некоторые виды атак, но не все. Программа под названием «Сканер» сохраняет себя в двух экземплярах, но выполняются обычно лишь команды одного из этих экземпляров. Экземпляр программы, выполняющийся в текущий момент, периодически просматривает команды второго экземпляра, чтобы проверить, не подверглись ли они атакующим действиям программы-противника. Изменения, возникшие вследствие атаки противника, обнаруживаются путем сравнения экземпляров Сканера между собой, причем экземпляр, выполняющийся в данный момент, считается правильным. Если обнаруживаются какие-либо недействительные команды, они замещаются правильными, после чего управление передается на «отремонтированный» экземпляр, который в свою очередь приступает к проверке первого.

В настоящее время Сканер остается чисто защитной программой. Она способна выдержать атаки Карлика, Чертенка, Идола и других подобных им медленно действующих агрессивных программ, по крайней мере в тех случаях, когда противник проводит атаки с правильной (защищенной) стороны. Сейчас Джонс работает над самовосстанавливающейся программой, хранящей себя в трех экземплярах.

DAT		0	/указатель на исходный адрес
DAT		99	/указатель на адрес назначения
MOV	@-2	@-1	/копирование
CMP	-3	#9	/если все 10 строк уже скопированы...
JMP	4		/... то выйти из цикла;
ADD	#1	-5	/если нет, увеличить исходный адрес...
ADD	#1	-5	/... и адрес назначения...
JMP	-5		/... и повторить тело цикла
MOV	#99	93	/восстановить начальный адрес назначения
JMP	93		/передать управление новой копии

Близнецы — программа, создающая свою копию на новом месте в памяти

Интересно, смогут ли читатели изобрести самовосстанавливающиеся программы каких-либо других типов? Например, можно подумать о программе, хранящей себя в двух или более экземплярах, но такой, что выполняется все время лишь один из них. Программа могла бы иметь «ремонтную часть», которая обращалась бы к другим экземплярам для восстановления поврежденных команд. Эта ремонтная часть могла бы даже ремонтировать сама себя, но в некоторых местах она оставалась бы уязвимой. В качестве «меры уязвимости» программы можно принять число поврежденных команд, приводящих к остановке программы. Иногда достаточно повредить одну-единственную команду; в других случаях требуется поразить много команд. А сколько команд в среднем нужно поразить, чтобы вывести из строя программу? С точки зрения такого критерия какова должна быть наименее уязвимая самовосстанавливающаяся программа?

Игра «Бой в памяти» лишь тогда станет по-настоящему интересной, когда будут созданы достаточно надежные программы, которые в основном будут обороняться, а не атаковать. Такие игровые программы должны будут отыскивать и опознавать текст программы-противника, а затем предпринимать энергичные атакующие действия в той области памяти, где он был обнаружен.

Возможно, у вас сложилось впечатление, что язык Редкод и система Марс в целом представляют собой завершенную систему. Это не так. В свободное время мы проверяли некоторые новые идеи и много экспериментировали.

Одна из новых идей состояла в том, чтобы включить еще одну команду, которая позволяла бы несколько облегчить действия, связанные с самозащитой и самовосстановлением. Команда РСТ А защитит команду, хранящуюся в ячейке с адресом А, от изменений до тех пор, пока она не будет исполнена. Насколько можно будет уменьшить уязвимость программы за счет применения команды подобного рода?

В подготовленных нами инструкциях, о которых говорилось выше, мы объясняем не только правила игры «Бой в памяти», но и то, как реализовать массив памяти и написать программу-монитор Марс на различных языках высокого уровня. Инструкции содержат также предложения о том, как можно демонстрировать результаты игры. Здесь же мы опишем правила игры с достаточной точностью для того, чтобы читатели могли составлять игровые программы, используя пока что карандаш и бумагу.

1. Две боевые программы загружаются в память в случайным образом выбранные позиции, но на расстоянии

друг от друга не меньше 1000 адресов.

2. Марс поочередно выполняет по одной команде из каждой программы, пока не дойдет до команды, которую невозможно выполнить. Программа, содержащая эту команду, объявляется проигравшей.

3. Программы противника можно атаковать любым доступным «оружием». В качестве «бомбы» можно воспользоваться нулем или любым другим целым числом, включая числа, представляющие дозволенные команды Редкода.

4. На продолжительность сражения накладывается определенное временное ограничение, зависящее от быстродействия компьютера. Если время игры уже вышло и обе программы продолжают выполняться, то исход сражения считается ничейным.

ИСТОРИЯ о Сорняке и Косаре, по-видимому, основана на двух реально существовавших программах. Одна из них представляла собой компьютерную игру под названием «Дарвин» и была изобретена М. Макилроем из AT&T Bell Laboratories. Другая программа под названием «Червяк» была написана Дж. Шохом из Исследовательского центра фирмы Хегох в Пало-Альто. Обе программы были написаны давно и стали достаточно известными. (Игра «Дарвин» была описана в журнале "Software: Practice and Experience", т. 2, с. 93—96, 1972. Довольно туманное описание того, что, по-видимому, представляет собой ту же игру, появилось в издании "Computer lib.", 1978 г.)

По правилам игры «Дарвин» каждый играющий представляет некоторое число программ, написанных на языке ассемблера, которые засылаются в память машины вместе с программами других играющих. Эти программы называют «организмами». Организмы, созданные одним игроком (и принадлежащие к одному и тому же «виду») пытаются «убить» представителей других видов и занять обитаемое ими пространство. Победителем считается тот игрок, организмы которого оказываются наиболее многочисленными к моменту остановки игры. Макилрою удалось изобрести неуязвимый организм, хотя выиграл он всего лишь «несколько игр». Этот организм не очень-то агрессивен, хотя и является «бессмертным».

Червяк — это экспериментальная программа, предназначенная для того, чтобы как можно интенсивнее использовать ресурсы сети ЭВМ фирмы Хегох. Червяк загружался в несопротивляющиеся машины под контролем программы-супервизора. Цель Червяка состояла в том, чтобы взять на себя управление машиной и в сотрудничестве с Червяками, поселившимися в дру-

гих машинах, обеспечивать выполнение больших прикладных программ в образовавшейся таким образом мультипроцессорной системе. Червяк устроен так, что любой, кто хочет воспользоваться одной из занятых машин, может получить ее в свое распо-

ряжение, не нарушая работы более объемных программ.

В легенде о Сорняке и Косаре можно увидеть некоторые элементы как игры «Дарвин», так и программы Червяк. Но лишь в игре «Бой в памяти» Косарь стал наконец реальностью.

Издательство МИР предлагает:

Гааль Э., Медьешу Г., Верецкеи Л.

ЭЛЕКТРОФОРЕЗ В РАЗДЕЛЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАКРОМОЛЕКУЛ

Перевод с английского



Новая книга венгерских авторов посвящена методу, позволяющему разделить макромолекулярные вещества и исследовать каждое из них в отдельности. Рассмотрены теоретические основы электрофореза на бумаге, в колонках и блоках, в гелях, обработка электрофореграмм, особенности электрофореза белков, нуклеопротеидов, нуклеиновых кислот, гликозаминогликанов, варианты иммуноэлектрофореза. Обсуждаются следующие вопросы: теоретические и технические основы методов электрофореза; аналитический электрофорез с движущейся границей в свободной среде; зональный электрофорез на фильтровальной бумаге, других поддерживающих средах и на ацетате целлюлозы; элек-

трофорез в колонках, горизонтальных и вертикальных блоках; электрофорез в гелях (агаровом, агарозном, крахмальном, полиакриламидном); изоэлектрофокусирование и изотахофорез; методы обработки электрофореграмм для выявления зон разделенных макромолекул; электрофорез и иммуноэлектрофорез белков и ферментов; электрофорез нуклеиновых кислот, нуклеопротеидов, полинуклеотидов, гликозаминогликанов.

Книга предназначена для биологов всех специальностей, пользующихся методами современной биохимии, для врачей-лаборантов, а также для студентов и преподавателей университетов, медицинских, педагогических и сельскохозяйственных институтов.

1982, 30 л. Цена 3 р. 20 к.



Издательство **МИР** предлагает:

Г. Готтшалк

МЕТАБОЛИЗМ БАКТЕРИЙ

Перевод с английского



В книге известного ученого из ФРГ Г. Готтшалка рассмотрены типы питания микроорганизмов, пути превращения углеводов, углеводов, аминокислот, органических кислот и других соединений, ассимиляция молекулярного азота, особенности обмена веществ у гетеротрофных, хемолитоавтотрофных и фототрофных бактерий. Эти данные

имеют большое значение для практического использования бактерий в сельском хозяйстве и промышленности.

Предназначена для микробиологов, биохимиков, работников микробиологической промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов университетов, медицинских и сельскохозяйственных вузов.

1982, 312 страниц с иллюстрациями.

Цена 2 р. 40 к.



Книги

Люди-«счетчики»; природа цвета;
жизнь Эрнста Эверетта Джаста;
овоци мира

ФИЛИП MORRISON

Стивен Б. Смит. Люди-«сЧЕТЧИКИ». ПСИХОЛОГИЯ, МЕТОДЫ И БИОГРАФИИ ЧУДО-СЧЕТЧИКОВ ПРОШЛОГО И НАСТОЯЩЕГО

THE GREAT MENTAL CALCULATORS: THE PSYCHOLOGY, METHODS, AND LIVES OF CALCULATING PRODIGES, PAST AND PRESENT, by Steven B. Smith. Columbia University Press (\$25)

ИСКУССТВО сЧета в уме возникло давно. Первым известным «сЧетчиком»-феноменом был Джон Уоллис — лингвист, специалист по шифрам и математик. На его трактат о пределах опирался уже в своих первых работах Ньютон. В 1670 г. Уоллис в очередной раз записал в своем дневнике, как он удовлетворил любопытство одного из своих ученых гостей. «В тот вечер я запомнил на слух, не записывая, число из 53 цифр. . . из которого извлек квадратный корень «длиной» в 27 цифр. . . и продиктовал их по памяти месяц спустя». Правда, в названном им числе сохранилась ошибка, однако корень был вычислен правильно, с точностью до ближайшего целого.

Искусство это живо и сегодня. Читатель увидит в книге фотографию Ганса Эберштарка и прочитает интервью с этим необычным человеком, написавшим свой комментарий к рецензируемому исследованию. По профессии Эберштарк — лингвист и синхронный переводчик. В своей повседневной работе он пользуется лишь немецким, английским, французским, испанским, итальянским, португальским и голландским языками, однако он владеет еще десятком других, в том числе и своим «любимым языком» — суринамским, о котором когда-то написал диссертацию. Еще в школе Эберштарк умел хорошо считать в уме, но в список людей-сЧетчиков он попадает лишь в возрасте 22 лет. Прочитав о замечательных способностях индианки Шакунталы Деви, Эберштарк вызвался повторить перед журналистами ее результаты. Как рассказывает автор книги, также лингвист по профессии, «он быстро и точно умножил в уме 77 567 на 43 559».

Эти числа были представлены Эберштарку написанными на бумаге, так как он всегда предпочитает в буквальном смысле видеть предлагаемую за-

дачу. Кстати, на переумножение двух 5- или 6-значных чисел у него уходит больше половины минуты. Другой феномен — Уим Клейн, также написавший к этой книге комментарий, умножает два 9-значных числа за 48 секунд. Таковы их типичные результаты. А вот уже упоминавшаяся Ш. Деви смогла, по сообщениям в печати, перемножить два случайно выбранных 13-значных числа всего за 28 секунд. Такая скорость вычислений, зарегистрированная в Лондоне в июне 1980 г., настолько превосходит все остальные известные результаты, что скептически настроенный автор книги считает ее «невероятной».

Эта живо и убедительно написанная книга, несомненно, доставит читателям огромное удовольствие, и не только потому, что она рассказывает о вещах необычайных и увлекательных, но и благодаря их рассмотрению с научной точки зрения. Немалый интерес представляют биографии двадцати наиболее известных сЧетчиков, начиная с Джеделии Бакстона, о котором много писали в 50-х годах XVIII столетия в «Джентельменз мэгэзин», и кончая единственным в наши дни профессиональным вычислителем американцем Артуром Бенджамином. Отметим, что сообщения в печати о новых рекордах сЧета в уме не следует сразу принимать на веру. Причинами многочисленных ошибочных сообщений могут быть непроверенные данные, отсутствие специалистов среди свидетелей, опечатки в цифрах, допущенные при публикации, не говоря уже о том, что зрители относятся к показательным сеансам сЧета как к фокусам или волшебству, и потому часто грешат преувеличениями. Наиболее достоверным элементом таких свидетельств, конечно, является непротиворечивость арифметических результатов, приводимых в различных источниках. Рецензируемая книга весьма выигрывает от той тщательности, с которой автор анализирует материалы двухсот- и трехсотлетней давности.

Первая четверть книги посвящена психологическим аспектам быстрого сЧета в уме, вторая — методам вычислений, которыми пользуются люди, наделенные этой способностью, далее следуют биографии наиболее известных сЧетчи-

ков. Важнейшее значение имеют побудительные мотивы. Так, любой нормальный ребенок совершает, овладевая родным языком, настоящее чудо. Его мотивы нетрудно понять — ведь люди вокруг него постоянно говорят о вещах важных и интересных для него. Однако немногим из этих людей приходится часто делать сложные вычисления в уме. А вот для чудо-сЧетчиков, по их же словам, числа — друзья. Они с детства постоянно живут в мире арифметики, тогда как мы изучаем ее в школе лишь несколько часов в неделю, как и иностранный язык.

Со времен Альфреда Бине известны два основных типа сЧетчиков — те, которые мысленно видят числа, и те, которые их как бы слышат. Многие из них демонстрировали свои необычайные способности еще до того, как научились читать и записывать числа. Одним сЧетчикам числа представляются как бы написанными на бумаге, другим кажется, будто они слышат их произнесенными «своим собственным голосом». Так, Эберштарк выполняет вычисления «зрительным» способом, однако при запоминании больших чисел (он, например, помнит 11 944 знака числа π , что, правда, не является рекордом) он пользуется мнемоническим методом. «Я перевожу числа в слова нового языка». В его лингвистическом коде первые десять знаков после запятой в числе π произносятся как «айфисктапсес».

Немалый интерес представляют и алгоритмы вычислений, которыми пользуются эти люди. Арифметика позволяет прийти к одной и той же цели разными путями. Методы умножения и деления, которые мы выучили в школе, удобны лишь для вычисления на бумаге. Для людей, которым нетрудно запоминать большие числа, предпочтительнее другие алгоритмы. Умножают они обычно слева направо, например 348×461 вычисляется как 300×400 плюс 300×60 плюс 300×1 плюс 40×400 плюс 40×60 и т.д.

Нетрудно показать, что сЧетчики не нуждаются в заучивании гигантских таблиц умножения; вероятнее всего, они не держат в памяти даже таблицу 100×100 . Некоторые из них искусно разлагают большие числа на множители, другие используют несколько легко запоминающихся логарифмов и выводят из них все остальное. В последнее время сЧетчики часто состязаются в извлечении целых корней. Несомненно, что именно широкое распространение компьютеров стимулировало развитие этого искусства, поскольку с использованием ЭВМ связаны как разработка более удобных алгоритмов, так и новые возможности для постановки задач. Так, в знаменитую «Книгу мировых рекордов Гиннеса» теперь заносятся лучшие результаты вычисления

на скорость корня тринадцатой степени из 100-значного числа. Клейн, например, делает это менее чем за две минуты. Он охотно делится с читателями своим методом, в котором используются логарифмы, интерполяции и некоторые приближения. Извлечение такого корня в самом деле нелегкая задача, и людям, не искушенным в математике, оно кажется поистине чудом.

Книга заканчивается коротким рассказом о других знаменитых счетчиках. Среди них есть и такие великие математики и физики, как Эйлер, Ампер, Гаусс, хотя до нас дошли лишь отрывочные сведения о вычислительных способностях этих ученых. Известно, например, что Эйлер однажды ночью, пытаясь заснуть, вычислил в уме первые шесть степеней всех целых чисел от единицы до двадцати и хорошо помнил их несколько дней спустя.

Однако не все счетчики становятся учеными. Джедedia Бакстон, например, живший в эпоху короля Георга II в английском графстве Дербишир, был всего лишь неграмотным деревенским батраком. Это, однако, не мешало ему очень быстро считать в уме. Основным занятием этого человека, не отличавшегося другими способностями, была работа в огороде, но он охотно делал в ней перерывы, чтобы продемонстрировать за кружку эля или пива свои способности перед приезжими джентльменами. Интересно отметить, что Бакстон всю жизнь вел в уме счет этим угощениям, причем наиболее щедрым оказался герцог Кингстонский, поставивший Бакстону за много лет не менее 2130 пинт пива. Однажды Бакстон потратил два с половиной месяца на возведение в квадрат некоего огромного числа. Полученный им 78-значный ответ содержал ошибку только в одной цифре, отличавшейся от правильной всего лишь на единицу.

В этом случае именно непротиворечивое указание чисел в различных источниках побуждает нас верить сообщению о Бакстоне. Ведь у джентльменов XVIII столетия не было под рукой компьютеров и вряд ли у них возникало желание хотя бы проверить его результаты вычислений. Бакстон однажды ходил в Лондон пешком, чтобы посмотреть на короля. Монарх он, правда, не увидел, зато предстал перед Лондонским королевским обществом. Бакстон дожил до 70 лет, причем до конца своих дней работал на ферме. Автор этих строк надеется, что кто-нибудь из современных счетчиков, вооруженных быстрой и емкой памятью, помянет кружкой пива старину Джедedia Бакстона, который достиг столь многого, обходясь столь немногим, и любил похвастаться лишь тем, что выпивает пинту в один глоток.

Курт Нассау ФИЗИКА И ХИМИЯ ЦВЕТА: ПЯТНАДЦАТЬ ОСНОВ ЦВЕТА
THE PHYSICS AND CHEMISTRY OF COLOR: THE FIFTEEN CAUSES OF COLOR, by Kurt Nassau. John Wiley & Sons, Inc. (\$43.95)

«В КАЖДОМ ярком цвете есть крупница истины», — писала поэтесса Наталия Крейн. Именно эти строки избрал Курт Нассау, специалист по физической химии из AT&T Bell Laboratories, в качестве эпиграфа к своей увлекательной книге, повествующей о самых сокровенных тайнах природы. Мы знаем со школы, что зеленый цвет травы объясняется свойствами одного очень распространенного органического пигмента, но из этой книги читатель узнает гораздо больше: как хлорофилл поглощает свет, почему ясное небо столь синее, почему рубин такой красный, почему чистое золото такое желтое. За гармонией цвета кроется симметрия микромира, и, хотя мы привыкли считать, что увидеть невооруженным глазом электрон невозможно, все, что мы видим вокруг, есть не что иное, как свет, тем или иным образом, посланный к нашему глазу электронами.

Книга открывается введением, рассказывающим об основных свойствах цвета и его восприятии. Далее следуют главы, посвященные различным физическим процессам взаимодействия света с веществом, — от возбуждения атомов разреженных газов до замечательных интерференционных эффектов в опалах, крыльях жуков и жидких кристаллах. Две заключительные главы посвящены роли цвета в окружающем нас мире; здесь читатель встретит столь различные вещи, как драгоценные камни, шедевры живописи и лазеры. При изложении физической стороны вопроса автор в основном прибегает к графикам и диаграммам, нигде не злоупотребляя формулами, так что для понимания книги не требуется специальной подготовки. В то же время каждый вдумчивый читатель получит полное представление о многих физических явлениях, и в частности, об их количественной стороне. Рассказ о природе цвета невозможен без привлечения квантовой механики, что, естественно, делает изложение несколько абстрактным, но и здесь автор оперирует такими доступными понятиями, как связь зарядов и уровни энергии, а не формальными волновыми функциями и матричными элементами.

Превосходны цветные иллюстрации книги. На первой же фотографии мы видим шесть кристаллов почти одинакового ярко-синего цвета, однако причины такого цвета у всех этих камней совершенно различны. Первый кристалл — это синий берилл максикс. Впервые эта разновидность берилла была открыта в 1914 г. в Машише (Бразилия). К огромному разочарованию

тех, кто их обнаружил, эти камни после извлечения на поверхность быстро тускнели. Как позже выяснилось, необычный голубой цвет таких бериллов объясняется радиационными эффектами в кристаллической решетке, которые создают неглубокие уровни энергии для электронов. Рядом с бериллом максикс мы видим такую же синюю шпинель, однако ее цвет определяется электрическими полями в кристаллической решетке, расщепляющими возбужденное состояние примесного атома на несколько уровней.

А вот другой синий кристалл — шпинель, цвет которого получен искусственно. Между двумя слоями прозрачного камня проложен слой органического красителя. Синий цвет самого красителя определяется потенциалом сдвига электронов в его молекулах. Расчет уровней энергии огромных органических молекул путем численного решения волнового уравнения пока еще представляет большие трудности даже для современных компьютеров, но в принципе «проблему природы цвета в органических веществах можно уже считать решенной». Еще один синий кристалл — соединение кобальта — обязан своим цветом расщеплению уровней энергии некоторых ионов решетки.

Наконец, прозрачный сапфир и непрозрачная ляпис-лазурь имеют синий цвет благодаря одному и тому же эффекту — переносу заряда. В сапфире электрон может переходить от иона железа к иону титана, если эти примеси оказываются рядом в кристаллической решетке окиси алюминия. Перенос заряда является, вообще говоря, фотохимической реакцией, но он легко обратим. Долгое время оставалось неясным, почему ни железо, ни титан не могут по отдельности сделать бесцветный корунд синим, в то время как малая (несколько частей на 10 000) примесь обоих элементов ярко окрашивает кристалл. Лазурный цвет ляписа, напоминающего неорганический пигмент ультрамарин, обусловлен переносом заряда между тремя близко расположенными атомами серы в кристалле. Здесь очевидна аналогия с природой цвета органических красителей.

На этой фотографии, однако, не хватает еще одного синего камня — знаменитого алмаза «Хоуп» из коллекции Смитсоновского института. Его цвет объясняется другим механизмом поглощения света. Чистые алмазы, имеющие структуру полупроводника с широкой запрещенной зоной, совершенно бесцветны. Однако примесный атом трехвалентного бора создает в запрещенной зоне акцепторные уровни, или «дырки», способные захватывать электроны из обычно заполненной зоны. При электронных переходах поглощается видимый свет почти всех цветов,

но синий свет поглощается в меньшей степени. В результате небольшая примесь бора придает этому камню его знаменитый голубой цвет, а заодно и необычно высокую по сравнению с бесцветными алмазами электрическую проводимость.

Во многих случаях цвет кристалла определяется электронной структурой. Например, соли кобальта в силу своей способности изменять цвет в зависимости от присутствия воды долгое время использовались в качестве индикаторов влажности. В кристаллической решетке сухой соли ионы располагаются вокруг атома кобальта тетраэдрически и цвет вещества синий, но структура гидратированной соли становится октаэдрической, и цвет меняется на розовый. Одна и та же примесь в различных кристаллических решетках может придавать им совершенно разные цвета. Например, ион трехвалентного хрома, замещающий атом алюминия в решетке корунда, превращает его в красный рубин, а берилл с такой же примесью становится зеленым изумрудом. Причина такого отличия кроется в несколько меньшей величине электрического поля в кристаллической решетке изумруда. Этого достаточно, чтобы диаграммы энергетических уровней и кривые поглощения кристаллов резко отличались. Особенно удивительно, что в природе существует драгоценный камень, занимающий как бы промежуточное положение между рубином и изумрудом. Это александрит, или хризоберилл с примесью хрома. Расщепляющее электрическое поле в александрите меньше, чем в рубине, но больше, чем в изумруде: в результате при богатом синими лучами дневном свете камень кажется сине-зеленым, а при электрическом освещении или при свечах (спектр которых сдвинут в красную сторону) он выглядит фиолетово-красным. Читатель найдет в книге великолепную фотографию, демонстрирующую это свойство александрита.

Мы не станем даже перечислять в этой рецензии все пятнадцать механизмов возникновения цвета, обсуждаемых в книге. Стоит упомянуть особо лишь проблему окраски живых организмов, цвета которых зависят как от свойств молекул, так и от микроструктуры кожи, волос и других покровов. Эту двойную природу окраски, например птичьих перьев, можно продемонстрировать с помощью таких несложных операций, как смачивание и химическое обесцвечивание. Интересно отметить, что в царстве минералов некоторыми из цветовых свойств павлиньих перьев обладает опал.

В целом книга изобилует яркими примерами и интересными подробностями. Несомненно, она будет пользоваться заслуженной популярностью как среди ученых и студентов, так и у

любителей научно-популярной литературы.

Кеннет Р. Маннинг. ЧЕРНЫЙ АПОЛЛОН НАУКИ: ЖИЗНЬ ЭРНСТА ЭВЕРЕТТА ДЖАСТА. BLACK APOLLO OF SCIENCE: THE LIFE OF ERNEST EVERETT JUST, by Kenneth R. Manning. Oxford University Press (\$29.95)

ШЕСТНАДЦАТИЛЕТНИМ юношей, только что окончившим общеобразовательную школу, Эрнст Джаст становится студентом одного из университетов Новой Англии. Среди выпускников Дартмутского университета 1907 г. он был единственным обладателем диплома с отличием. Признанный знаток классических языков, журналист и поэт, он тем не менее отдает предпочтение занятиям биологией, обнаруживая серьезную склонность к научным исследованиям. Выходец из негритянской семьи среднего класса, Джаст преуспел во всем, кроме одного: ему так и не удалось «приобщиться к профессиональному миру белых».

Хотя практическая медицина открывала перед ним блестящие перспективы, Джаст решает посвятить себя науке. Первая его должность — преподаватель английского языка, а затем зоологии в Говардском университете. Кроме того, во время летних каникул он работает ассистентом в лаборатории Фрэнка Лилли (профессора Чикагского университета, одного из директоров Лаборатории биологии моря в Вудс-Холе), занимаясь исследовательской работой.

Тема докторской диссертации Джаста, которую он защитил в Чикаго, — механизм оплодотворения; этой проблеме посвящена большая часть его научных работ (всего он написал их более 80). Его интересуют в основном ранние стадии развития яйцеклетки у океанических беспозвоночных — червей, морских звезд и морских ежей, которых он имел возможность изучать в лаборатории. Первые десять лет своей научной деятельности Джаст выступает в качестве молодого и способного сотрудника Фрэнка Лилли (в течение всей жизни между ними сохранились самые теплые отношения). К концу первой мировой войны он завоевывает репутацию эрудированного и скрупулезного исследователя. Джаст первым научился, не повреждая живую клетку, проводить на ней тончайшие эксперименты, в том числе связанные с влиянием температуры. Постепенно ученый становится авторитетом в своей области. Бесконечные консультации и большая преподавательская работа в университете оставляют мало времени для исследований. К счастью, «каждый год с ранней весны до начала осени он может совершать паломничество в свою Мек-

ку — Вудс-Холл».

С Вудс-Холлом той поры связаны такие яркие имена, как А.Х. Стюартван, Т.Х. Морган и Кальвин Бриджес (специалисты по хромосомам), К.С. Коул и Зелиг Хечт (американские пионеры биохимической и биофизической неврологии) и цитолог Е.Б. Уилсон. Также работающий в то время в Вудс-Холе Джек Лоуб, физиолог и психолог-бихевиорист, становится близким другом Джаста. Однако после того, как Джаст обнаружил ряд ошибок в некоторых успешных выводах Лоуба, тот обрушился на него с яростным письмом. Он писал, что «искренне желал помочь Джасту и поддержать его, но, к своему глубочайшему сожалению, убедился в ограниченности, невежестве и самомнении» своего бывшего друга. Эта ссора положила конец надеждам Джаста на получение должности в Рокфеллеровском институте медицинских исследований (назначение на этот пост послужило бы вдохновляющим примером для негритянского населения Америки).

Книга написана в спокойной, благожелательной манере, лишенной всякой сентиментальности. С особым интересом читается раздел, где рассказывается о поездке Джаста в Европу в 1928 г. То было время перед Великой депрессией. После долгих колебаний фонд Розенволда принял решение оказывать в течение пяти лет помощь кафедре Джаста в Говардском университете, обеспечивая его необходимыми книгами, приборами и средствами для проведения исследований. Ни один «цветной» ученый Америки еще не получал такого признания. Прежде всего Джаст использует помощь фонда для поездки в Италию, где он в течение полугода работает на знаменитой Зоологической станции, расположенной в Неаполитанском заливе. Джаст работает с упорством и окружен заботой и вниманием (женщины в особенности покорены его обаянием и красотой — из воспоминаний одной из сотрудниц станции и заимствовано название книги «Черный Аполлон»).

Джаст возвращается в Америку приверженцем европейского образа жизни и даже делает попытку организовать в своей стране помощь Зоологической станции. В первой половине 1930 г. он вновь отправляется в Европу, на этот раз в Биологический институт кайзера Вильгельма, в качестве приглашенного профессора. О том, какой это был счастливый период в жизни ученого, изголодавшегося по общению с коллегами и не получившего на родине должного признания, можно судить по его речи на семинаре, посвященном шестидесятилетию Фрэнка Лилли. В июне 1930 г. ученые собрались в Вудс-Холе для чествования этого крупного биолога. С докладами выступали пять его

учеников, в числе которых был и Эрнст Джаст. Свое научное сообщение этот способный и, по всей видимости, любимый ученик Лилли закончил словами: «В течение года, проведенного в институте кайзера Вильгельма, мне было оказано больше помощи и дружеского внимания, чем за все время, которое я провел в Вудс-Холе». Выступление Джаста было встречено гробовым молчанием. Больше он не появлялся в Вудс-Холе.

Великая депрессия и смерть Джулиуса Розенволда в 1933 г. положили конец оказываемой Джасту финансовой помощи. К 1938 г. Эрнст с женой Хедвигой переезжает во Францию, где живут почти без средств к существованию. Они возлагают большие надежды на монографию Джаста, которая должна вскоре выйти в свет у него на родине. Однако немцы захватывают Францию, и Джасты, как иностранцы, вынуждены покинуть страну, хотя Хедвига в это время ждет ребенка. Джасту не остается ничего другого, как вернуться в Америку и вновь стать преподавателем Говардского университета. В 1941 г. в возрасте 58 лет Эрнст Джаст умирает от рака поджелудочной железы.

Джаст принадлежал той эпохе в биологии, когда ученые располагали лишь весьма примитивными средствами для проведения своих исследований. Эмбриональное развитие во многом остается загадкой и в наше время. Однако до появления электронного микроскопа, открытия биохимических циклов, аминокислотной последовательности белков и оснований ДНК можно было сделать лишь первые шаги в постижении природы этого процесса. Тем не менее Джасту удалось установить необычайно важную роль клеточной оболочки, его монография, вышедшая в свет в 1939 г., носит название «Биология поверхности клетки».

Рецензируемая книга — не только биография ученого, но и правдивая история, напоминающая еще раз о той непомерной плате, которую Америке приходится платить за два столетия рабства и его нескончаемые последствия.

Мас Ямагути. ОВОЩИ МИРА: ХАРАКТЕРИСТИКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

WORLD VEGETABLES: PRINCIPLES, PRODUCTION AND NUTRITIVE VALUES, BY MAS YAMAGUCHI. Avi Publishing Company, Inc. Westport, Conn. (\$35)

СОДЕРЖАНИЕ этого сжатого обзора овощных культур не так просто определить: само понятие «овощи» весьма относительно. Выбор автора довольно прихотлив, и далеко не все овощи удостоились его внимания. Не говоря уж о том, что в книге нет места

«вторичным» продуктам, таким, как, например, известный овощной соус кетчуп, исключены из рассмотрения и многие «первичные» продукты овощеводства. Ямагути руководствовался отчасти тривиальным значением слова «овощи», согласно которому, скажем, помидор — это овощ, а апельсин, яблоко или грейпфрут — нет.

Большинство растений, которые обычно считают овощами, имеют сочные части: корень, луковицу, какую-либо надземную часть или плод. Поэтому сухие семена хлебных злаков в книге не обсуждаются, хотя это очень важная группа сельскохозяйственных растений. Плоды, называемые фруктами, — апельсины, грейпфруты, яблоки — не рассматриваются, а в то же время среди крахмалистых овощей описываются не только привычные корнеплоды и клубневые культуры, но и плоды хлебного дерева. В целом в мире овощным культурам (включая бобовые, корнеплоды и клубни) и не считая масличных растений) отведено примерно 15% возделываемых земель.

Ямагути — известный специалист в области сельского хозяйства, сотрудник знаменитой сельскохозяйственной школы Калифорнийского университета в Дейвисе. Три четверти его книги посвящено описанию почти двухсот овощных культур. Даются сведения об их систематическом положении, происхождении, морфологии, физиологии, особенностях выращивания, урожайности, способах хранения, питательной ценности (в основном по изданию Production Year Book, подготовленному Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН). Почти все описания сопровождаются черно-белыми фотографиями. Чем большее значение в мировом сельском хозяйстве имеет культура, тем больше места уделено ей в книге. Поэтому многие крахмалистые корнеплоды и такие виды, как маниок и черная фасоль, обсуждаются подробнее, чем вы могли бы ожидать, зная ассортимент знакомых рынков и продовольственных магазинов, где их продают сравнительно редко.

Нечеткость категории «овощи» особенно наглядна на примере сахарной кукурузы (сахарная кукуруза — подвид известного американского волокнистого хлебного злака — маиса). Хотя это злак, в пищу употребляют — совершенно как овощ — его сочные молодые зерна, а не муку или крупу из них. На долю США приходится большая часть мирового производства сахарной кукурузы: около 3 млн. т в год. Сахарная кукуруза занимает 2500 км² прекрасных пахотных земель — больше, чем горох, морковь или лук. Конечно, это всего лишь 1% от площади полей, на которых кукуруза выращивается как зерновая культура. Правда, американ-

цы потребляют кукурузное зерно, так сказать, переработанным: им кормят скот, а люди едят говядину и свинину.

Лук и родственные ему растения издают острый запах потому, что фермент аллиаза, содержащийся в луковице и стебле, расщепляет органические соединения серы с образованием летучих сульфидов. От лука плачут, так как под действием аллиазы образуется тиопропанилсульфоксид, который имеет слезоточивый эффект. В чесноке есть аналогичное вещество, но его структура несколько иная (в молекуле нет пропильных групп).

Цвет тоже показатель биохимических свойств. Сорта моркови с желтыми и оранжевыми корнями особенно богаты каротином, из которого в организме человека образуется витамин А. Сорта с беловатым корнем почти совсем не содержат каротина. На севере Индии растет ярко-красная морковь; цвет ее обусловлен пигментами, не имеющими питательной ценности.

Шпинат — очень древняя культура. Это однолетнее растение, его выращивают в областях с прохладным климатом. Шпинат выходит в стрелку и дает семена в условиях длинного светового дня, когда наступает теплая погода. Его высокорослого родственника — лебеду (она происходит, как предполагают, из восточной Индии) называют в США горным шпинатом; это растение морозостойко, и на возвышенностях, где обычный шпинат легко идет в стрелку, дольше не переходит от вегетативной стадии к плодоношению. Существуют разновидности шпината с желтоватыми и даже с кроваво-красными листьями.

В перечне бобовых овощных культур примерно 30 видов — от люцерны до фенугрека. Немного найдется культур старше чечевицы. Кстати, знакомая всем деталь оптических приборов — линза — получила свое название давным-давно, еще в эпоху Возрождения, благодаря внешнему сходству с зернышком чечевицы (латинское название чечевицы — *Lens*).

Черная фасоль — основная пищевая культура в южной Индии. Она богата белками и используется как добавка к рису в блюдах, которые готовят путем ферментативного брожения. Черная фасоль действительно черная, таков цвет ее кожуры. Близкородственна черной фасоли многолетняя крылатая фасоль. Ее родина, вероятно, Новая Гвинея; в настоящее время она широко культивируется в Юго-Восточной Азии от Шри Ланки до Филиппин. Крылатая фасоль хорошо растет в жарких районах, где условия непригодны для сои, одной из самых ценных бобовых культур. У крылатой фасоли съедобны и стручки, и семена, и клубневидные корни, и цветы, и листья. У современных разновидностей цветение начинается

лишь при 12-часовом световом дне и плоды созревают довольно медленно, что мало подходит к условиям умеренной зоны. Тем не менее энтузиасты считают, что этот вид в будущем станет культурой мирового значения.

Большое внимание уделено ямсу — основной крахмалистой культуре в зоне тропического климата — от Гвинейского залива до Гайаны и Новой Гвинеи. Подробно рассматриваются также важнейшие крестоцветные: горчица, капуста, репа, брюква. Эти растения — родственники, но внешне они на редкость различны. Виды капусты, которые обычны в районах с прохладным климатом, на стадии проростков трудно отличить друг от друга. Разнообразие же вегетативных частей удивительно: здесь и пышные «розы» листьев белокочанной капусты, и завитки бахромчатой, и плотные головки цветной, и усеянные кочешками стебли брюссельской, и похожая на репу кольраби, и своеобразная брокколи.

Примерно четвертая часть книги отведена общим вопросам. Читатель знакомится с историей овощных культур, узнает об их значении, питательной ценности, токсинах, применении в медицине, условиях выращивания (в том числе об оптимальной освещенности и температуре). В одной из глав кратко описываются практические способы защиты растений от холода: использование естественной подстилки из травы и листьев, устройство колпаков, пластиковых туб, парниковых рам, драночных домиков — словом, всего того, чем пользуются современные огородники.

Книга завершается обзором грибов. В США культивируется губка листовичная (*Fomitopsis officinalis*). Эти грибы выращивают на конском навозе и на различных компостах — органических (из соломы, сена, молотых бобов) или неорганических. В Китае с давних пор разводят съедобные грибы *Volvaria volvacea* и *Volvaria displasia*, которые растут на рисовой соломе. В Японии «одомашнен» черный гриб, который там называют шиитаке. Этот вид выращивают на колодах из твердой древесины. Шиитаке стал экономически важной культурой. Недавно его начали культивировать и в США.

Все сведения в книге абсолютно достоверны; материал разнообразен, но совокупность его вовсе не похожа на овощной суп, в котором все перемешано. Книга может быть рекомендована не только студентам сельскохозяйственных специальностей. Те же, кто захочет получить более глубокие знания, могут воспользоваться библиографией — она дается к каждому обсуждаемому вопросу и охватывает как фундаментальные работы, так и периодическую печать.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

COMPUTER RECREATIONS: "DARWIN". Aleph Null in *Software: Practice and Experience*, Vol. 2, No. 1, pages 93—96; January — March, 1972.

68000 ASSEMBLY LANGUAGE PROGRAMMING. Gerry Kane and Doug Hawkins Lenthall. Osborne — McGraw-Hill, 1981.

СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ МИНИ-ЗАВОДЫ

TECHNOLOGY AND STEEL INDUSTRY COMPETITIVENESS. Office of Technology Assessment, U.S. Government Printing Office, 1980.

THE STEEL INDUSTRY. W.Adams and H.Muller in *The Structure of American Industry*, edited by Walter Adams. Macmillan Publishing Co., 1982.

STEEL — UPHEAVAL IN A BASIC INDUSTRY. D.F. Barnett and L. Schorsch. Ballinger Publishing Co., 1983.

ОКЕАНИЧЕСКИЕ ЗОНЫ РАЗЛОМОВ

A NEW CLASS OF FAULTS AND THEIR BEARING ON CONTINENTAL DRIFT. J. Tuzo Wilson in *Nature*, Vol. 207, No. 4995, pages 343—347; July 24, 1965.

TOPOGRAPHY AND TECTONICS AT THE INTERSECTIONS OF FRACTURE ZONES WITH CENTRAL RIFTS. Norman H. Sleep and Shawn Biehler in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 75, No. 14, pages 2748—2752; May 10, 1970.

VERTICAL TECTONISM IN OCEANIC FRACTURE ZONES. Enrico Bonatti in *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 37, No.3, pages 369—379; January, 1978.

MEMBRANE STRESSES NEAR MID-OCEAN RIDGE — TRANSFORM INTERSECTIONS. Kazuya Fujita and Norman H. Sleep in *Tectonophysics*, Vol. 50, pages 207—221; September 20, 1978.

FORMERLY EMERGING CRUSTAL BLOCKS IN THE EQUATORIAL ATLANTIC. Enrico Bonatti and Andy Chermak in *Tectonophysics*, Vol. 72, Nos. 3—4, pages 165—180; February 10, 1981.

ГЛУБИННЫЕ РАЗЛОМЫ ОКЕАНОСКОГО ДНА. Под ред. Ю.П. Непрочнова. — М.: Наука, 1984.

КАК РЕЦЕПТОРЫ ЗАТЯГИВАЮТ БЕЛКИ И ЧАСТИЦЫ ВНУТРЬ КЛЕТОК

INTRACELLULAR SITE OF ASIALOGLYCOPROTEIN RECEPTOR-LIGAND UNCOUPLING: DOUBLE-LABEL IMMUNOELECTRON MICROSCOPY DURING RECEPTOR-MEDIATED ENDOCYTOSIS. Hans J. Geuze, Jan

Willem Slot, Ger J.A.M. Strous, Harvey F. Lodish and Alan L. Schwartz in *Cell*, Vol. 32, No.1, pages 277—287; January, 1983.

pH AND THE RECYCLING OF TRANSFERRIN DURING RECEPTOR-MEDIATED ENDOCYTOSIS. Alice Dautry-Varsat, Aaron Ciechanover and Harvey F. Lodish in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.80, No.8, pages 2258—2262; April, 1983.

МАШИНЫ ТЬЮРИНГА

ON COMPUTABLE NUMBERS, WITH AN APPLICATION TO THE ENTSCHIEDUNGS-PROBLEM. A.M. Turing in *Proceedings of the London Mathematical Society*, Second Series, Vol. 42, Part 3, pages 230—265; November 12, 1936.

ON COMPUTABLE NUMBERS, WITH AN APPLICATION TO THE ENTSCHIEDUNGS-PROBLEM: A CORRECTION. A.M. Turing in *Proceedings of the London Mathematical Society*, Second Series, Vol. 43, Part 7, pages 544—546; May 20, 1937.

ON NONCOMPUTABLE FUNCTIONS. Tibor Rado in *Bell System Technical Journal*, Vol. 41, No. 3, pages 877—884; May, 1962.

THE UNDECIDABLE. Martin Davis. Raven Press, 1965.

INCOMPUTABILITY. C.A.R. Hoare and D.C.S. Allison in *Computing Surveys*, Vol. 4, No.3, pages 169—178; September, 1972.

ALAN TURING: THE ENIGMA. Andrew Hodges. Simon and Schuster, 1983.

МАШИНЫ ТЬЮРИНГА И РЕКУРСИВНЫЕ ФУНКЦИИ (сборник статей). Перев. с нем. — М.: Мир, 1972.

ПАРАЗИТЫ, КОТОРЫЕ ИЗМЕНЯЮТ ПОВЕДЕНИЕ СВОЕГО ХОЗЯИНА

MODIFICATION OF INTERMEDIATE HOST BEHAVIOUR BY PARASITES. J.C. Holmes and W.M. Bethel in *Behavioural Aspects of Parasite Transmission*, edited by Elizabeth U. Canning and C.A. Wright. Academic Press, 1972.

ALTERED COLOR, BEHAVIOR AND PREDATION SUSCEPTIBILITY OF THE ISOPOD *ASELLUS INTERMEDIUS* INFECTED WITH *ACANTHOCEPHALUS DIRUS*. Joseph W. Camp and Harry W. Huizinga in *The Journal of Parasitology*, Vol. 65, No.4, pages 667—669; August, 1979.

THE LIFE CYCLE OF *OSTOSPINIFEROIDES CHANDLERI* BULLOCK, 1957 (ACANTHOCEPHALA: NEOECHINOPHYNCHIDAE), WITH SOME OBSERVATIONS ON PARASITE-INDUCED, PHOTOPHILIC BEHAVIOR IN OSTRACODS. David J. De-Mont and Kenneth C. Corkum in *The Journal of Parasitology*,

Издательство МИР предлагает:

Б. Шутц

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Перевод с английского

Введение в геометрические методы математической физики, содержит основные сведения по дифференциальной геометрии вплоть до понятий римановой геометрии и теории связностей в расслоениях, а также некоторые физические приложения — в частности из общей теории относительности и теории калибровочных полей.

Для математиков и физиков, желающих ознакомиться с приложениями геометрии в математической физике.

1984, 18 л. Цена 1 р. 60 к.

МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Под редакцией У. Гонсера
Перевод с английского

Коллективная монография, написанная ведущими учеными в соответствующих областях, отражает современное состояние вопросов применения эффекта Мессбауэра для исследований в физике, химии, биологии. В частности, рассматриваются применения к определению структуры биологических макромолекул, к измерению гравитационного красного смещения, к отслеживанию медленных движений макроскопических объектов, к анализу тенденций в проблеме создания гамма-лазеров и др.

Для специалистов-физиков, химиков, биологов, занимающихся эффектом Мессбауэра и его применениями, а также для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

1984, 17 л. Цена 2 р. 90 к.



Vol. 68, No. 1, pages 125—130; February, 1982.

ALTERED BEHAVIORAL RESPONSES IN INTERMEDIATE HOSTS — AN ACANTHOCEPHALAN PARASITE STRATEGY. Janice Moore in *American Naturalist*, Vol. 123, No. 4, pages 572—577; April, 1984.

РАЗДУВАЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Вайнберг С. ПЕРВЫЕ ТРИ МИНУТЫ. Перев. с англ. — М.: Энергоиздат, 1981.

INFLATIONARY UNIVERSE: A POSSIBLE SOLUTION TO THE HORIZON AND FLATNESS PROBLEMS. Alan H. Guth in *Physical Review D*, Vol. 23, No. 2, pages 347—356; January 15, 1981.

A NEW INFLATIONARY UNIVERSE SCENARIO: A POSSIBLE SOLUTION OF THE HORIZON, FLATNESS, HOMOGENEITY, ISOTROPY AND PRIMORDIAL MONOPOLE PROBLEMS. A.D. Linde in *Physics Letters*, Vol. 108B, No. 6, pages 389—393; February 4, 1982.

COSMOLOGY FOR GRAND UNIFIED THEORIES WITH RADIATIVELY INDUCED SYMMETRY BREAKING. Andreas Albrecht and Paul J. Steinhardt in *Physical Review Letters*, Vol. 48, No. 17, pages 1220—1223; April, 1982.

Линде А.Д. ХАОТИЧЕСКАЯ РАЗДУВАЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ. — Письма ЖЭТФ, 1983, т. 38, с. 149.

Линде А.Д. РАЗДУВАЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ. — Успехи физических наук, 1984, в печати.

Старобинский А.А. СПЕКТР РЕАЛЬНОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И НАЧАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ВСЕЛЕННОЙ. — Письма ЖЭТФ, 1979, с. 719.

Зельдович Я.Б. СОВРЕМЕННАЯ КОСМОЛОГИЯ. — Природа, 1983, № 9, с. 11; ПОЧЕМУ РАСШИРЯЕТСЯ ВСЕЛЕННАЯ. — Природа, 1984, № 2, с. 66.

СТОЯНКА ИНДЕЙСКИХ ОХОТНИКОВ С 20-ТЫСЯЧЕЛЕТНЕЙ ИСТОРИЕЙ ЗАСЕЛЕНИЯ

MULTIDISCIPLINARY RESEARCH IN THE NORTHEAST: ONE VIEW FROM MEADOWCROFT ROCKSHELTER. J.M. Adovasio in *Pennsylvania Archaeologist*, Vol. 52, Nos. 3—4, pages 57—68; September, 1982.

EVIDENCE FROM MEADOWCROFT ROCKSHELTER. J.M. Adovasio, J. Donahue, K. Cushman, R.C. Carlisle, R. Stuckenrath, J.D. Gunn and W.C. Johnson in *Early Man in the New World*, edited by Richard Shutler, Jr. Sage Publications, Inc., 1983.

Керам К.В. ПЕРВЫЙ АМЕРИКАНЕЦ. ЗАГАДКА ИНДЕЙЦЕВ ДОКОЛУМБОВОЙ ЭПОХИ. Перев. с нем. — М.: Прогресс, 1979.

ЭПИДЕМИИ КОРИ В ИСЛАНДИИ

MEASLES PERIODICITY AND COMMUNITY SIZE. M.S. Bartlett in *Journal of Royal Statistical Society, Series A*, Vol. 120, Part 1, pages 48—70; 1957.

MEASLES ENDEMICITY IN INSULAR POPULATIONS: CRITICAL COMMUNITY SIZE AND ITS EVOLUTIONARY IMPLICATION. Francis L. Black in *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 11, No. 2, pages 207—211; July, 1966.

SPATIAL DIFFUSION: AN HISTORICAL GEOGRAPHY OF EPIDEMICS IN AN ISLAND COMMUNITY. A.D. Cliff, P. Haggett, J.K. Ord and G.R. Versey. Cambridge University Press, 1981.

Бароян О.В. ИТОГИ ПОЛУВЕКОВОЙ БОРЬБЫ С ИНФЕКЦИЯМИ В СССР И НЕКОТОРЫЕ АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭПИДЕМИОЛОГИИ. — М.: Медицина, 1968.

Бароян О.В., Портер Д.Р. МЕЖДУНАРОДНЫЕ И НАЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭПИДЕМИОЛОГИИ И МИКРОБИОЛОГИИ. — М.: Медицина, 1975.

Чернеску К., Шородок Й, Кажал Н. КОРЬ: ПАТОГЕНЕЗ И ПРОФИЛАКТИКА. — Бухарест, Изд-во Академии наук СРР, 1981.

НАУКА ВОКРУГ НАС

STRUCTURE AND PROPERTIES OF ALLOYS. Robert M. Brick, Robert B. Gordon and Arthur Phillips. McGraw-Hill Book Company, 1965.

MAGNETISM IN SOLIDS. D.H. Martin. The MIT Press, 1967.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.06.84.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,75 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,5.

Уч.-изд. л. 17,28.

Усл. кр.-отт. 42,36.

Изд. № 36/3477. Заказ 438.

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



Издательство **МИР** предлагает:

Р. Адамс

**МЕТОДЫ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК
ДЛЯ БИОХИМИКОВ**

Перевод с английского



Это прекрасное пособие как для начинающих исследователей, так и для опытных специалистов, работающих с культурами тканей. Одним из достоинств книги является то, что, помимо чисто практических рекомендаций и многочисленных прописей, она дает также представление о тех научных направлениях, основным методическим подходом которых служит культивирование тканей.

Основное внимание уделено методикам, позволяющим работать с фракциями изолированных клеточных компонентов. В книге обсуждаются различные аспекты культивирования кле-

ток: типы клеток млекопитающих, используемые реактивы, оборудование и аппаратура, получение и диспергирование клеток; подробно изложены методы получения клеточных культур из различных тканей, способы культивирования, методы синхронизации клеток, рассмотрены клеточные гибриды и мутанты, взаимоотношения между вирусами и клеточными культурами, дифференцировка клеток в условиях культивирования.

Для цитологов, биохимиков, молекулярных биологов и других специалистов, применяющих методы культуры ткани.

1983, 17,36 л.

Цена 2 р. 90 к.



В следующем номере:



ПОДВИЖНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ КУКУРУЗЫ

ЗОЛОЧЕНИЕ И СЕРЕБРЕНИЕ МЕТАЛЛОВ
В ДОКОЛУМБОВОЙ АМЕРИКЕ

МАССОВЫЕ ВЫМИРАНИЯ В ОКЕАНЕ

ГРУДНОЕ ВСКАРМЛИВАНИЕ

НЕСОХРАНЕНИЕ ЧЕТНОСТИ В АТОМНЫХ СИСТЕМАХ

АКУСТИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ
В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ЖУКА

МЕЖЗВЕЗДНАЯ ПЫЛЬ: СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ

ИСТОРИЯ ГАЕЧНО-БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ

НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НА КУХНЕ:
НЕСКОЛЬКО ЗАНИМАТЕЛЬНЫХ КУЛИНАРНЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ

ОБ АНАЛОГОВЫХ КОМПЬЮТЕРАХ ИЗ МАКАРОН,
ШНУРКОВ, ГВОЗДЕЙ И ДАЖЕ МЫЛЬНОЙ ПЕНЫ