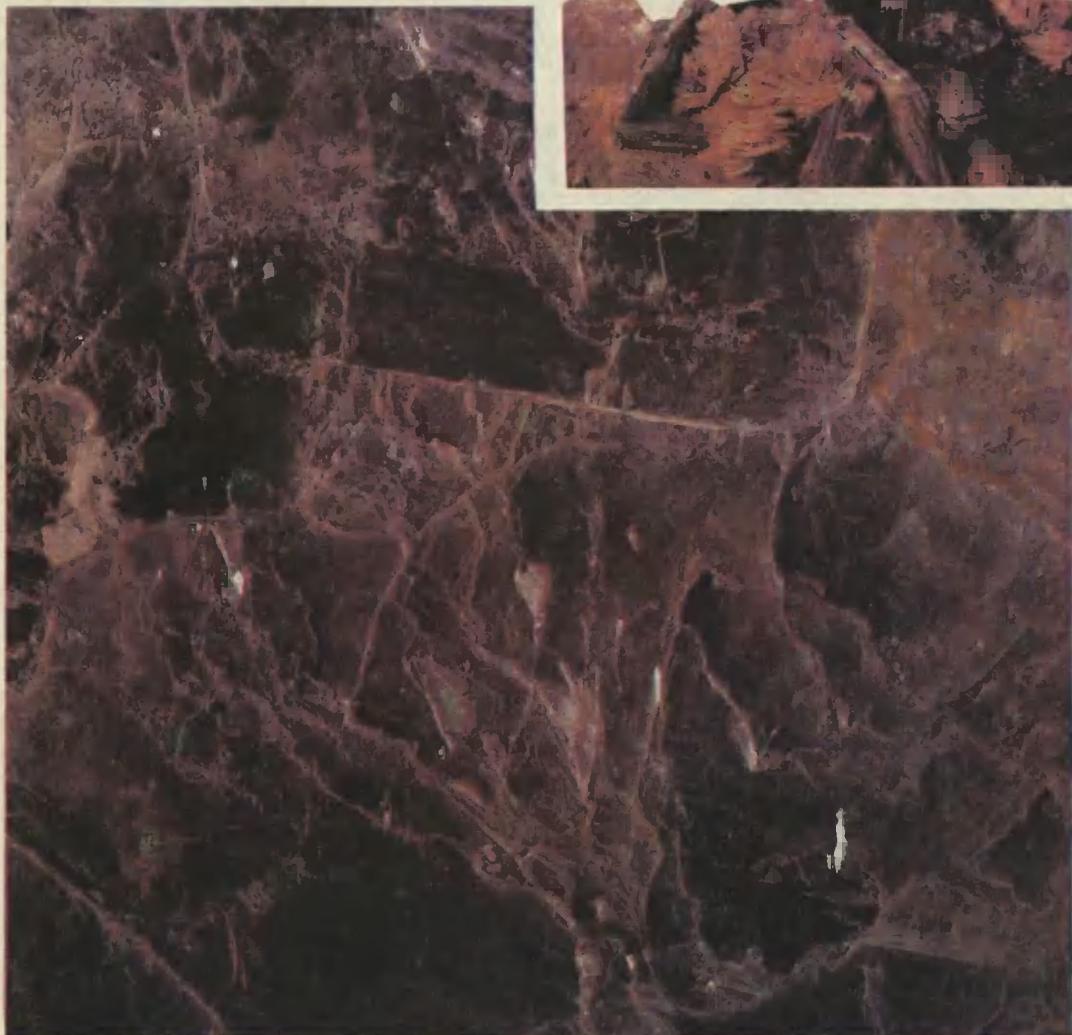


ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

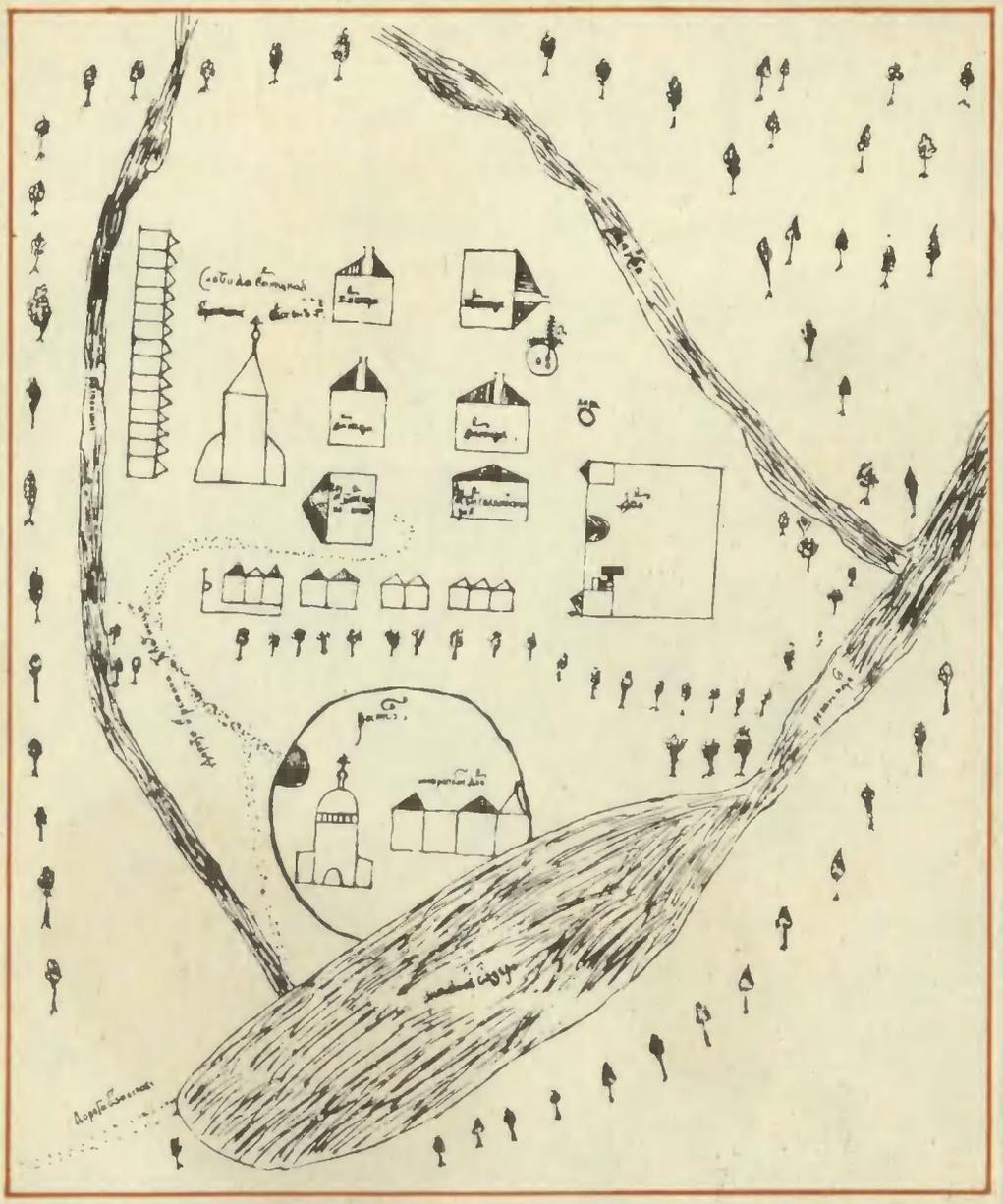


**ПЕГМАТИТЫ—
уникиумы царства
минералов**

АПРЕЛЬ

4

1988



апрель
1988

ПРИРОДА

Основан
в 1912 году

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор академик Н. Г. БАСОВ	Доктор философских наук Н. В. МАРКОВ
Кандидат физико-математических наук А. И. АНТИПОВ	Ответственный секретарь В. М. ПОЛЫНИН
Доктор физико-математических наук Е. В. АРТЮШКОВ	Доктор исторических наук П. И. ПУЧКОВ
Член-корреспондент АН СССР Р. Г. БУТЕНКО	Заместитель главного редактора академик Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ
Доктор географических наук А. А. ВЕЛИЧКО	Доктор философских наук Ю. В. САЧКОВ
Академик В. А. ГОВЫРИН	Заместитель главного редактора доктор биологических наук А. К. СКВОРЦОВ
Член-корреспондент АН СССР И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ	Академик АН УССР А. А. СОЗИНОВ
Заместитель главного редактора Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ	Академик В. Е. СОКОЛОВ
Член-корреспондент АН СССР Г. А. ЗАВАРЗИН	Доктор геолого-минералогических наук М. А. ФАВОРСКАЯ
Академик В. Т. ИВАНОВ	Заместитель главного редактора кандидат технических наук А. С. ФЕДОРОВ
Доктор физико-математических наук Н. П. КАЛАШНИКОВ	Заместитель главного редактора член-корреспондент АН СССР Л. П. ФЕОКТИСТОВ
Доктор физико-математических наук С. П. КАПИЦА	Академик В. Е. ХАИН
Доктор физико-математических наук И. Ю. КОБЗАРЕВ	Доктор физико-математических наук А. М. ЧЕРЕПАШУК
Кандидат физико-математических наук А. А. КОМАР	Доктор физико-математических наук В. А. ЧУЯНОВ
Академик Н. К. КОЧЕТКОВ	
Доктор геолого-минералогических наук И. Н. КРЫЛОВ	

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Крупные кристаллы мусковита и сросток лепидолита с альбитом, дымчатым кварцем и топазом из пегматитов Сибири и Урала. Образцы из коллекции Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана АН СССР. См. в номере: Шапкин Б. М. Удивительный мир пегматитов.

Фото В. В. Фридекса.

НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Чертеж Даниловского соляного завода, составленный неизвестным автором в конце XVII в. См. в номере: Кусов В. С. Русский чертеж — прообраз тематической карты.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Установка «Лептон-Ф» Института физики высоких энергий (Протвино). См. в номере: Ландсберг Л. Г. Мезон C(1480) — кандидат в экзотические адроны.

Фото А. М. Степанца.



© Москва «Наука»
Природа 1988



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

В номере:

4 ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ГЕОЛОГИИ. Интервью с В. А. Жариковым

Один из лидеров нового физико-химического направления в геологии рассказывает о новых методах исследования природных процессов.

16 Зельдович Я. Б. ВОЗМОЖНО ЛИ ОБРАЗОВАНИЕ ВСЕЛЕННОЙ «ИЗ НИЧЕГО»?

Это последняя популярная статья видного советского физика, одного из создателей релятивистской астрофизики. По мнению автора, можно создать непротиворечивую теорию образования Вселенной «из ничего», только осуществив Великое объединение микромира и космологии.

Сахаров А. Д. ПОСЛЕСЛОВИЕ (26)

28 Иванов Ю. Л. НОВЫЙ КЛАСС ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ

Диапазон волн, в котором работают новые источники когерентного излучения, представляет большой интерес для исследований в самых различных областях физики, биологии, химии.

38 Кусов В. С. РУССКИЙ ЧЕРТЕЖ — ПРООБРАЗ ТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТЫ

В самой древней, своеобразной и почти забытой части отечественного картографического наследия — географических чертежах 60-х годов XVII в. — немало ценной информации о Русском государстве.

42 Бондаренко Т. Г., Толчий В. Н. СИБИРСКАЯ РЫСЬ РАЗМНОЖАЕТСЯ В ЗООПАРКЕ

Опыт размножения сибирской рыси в зоопарке может послужить основой для ее разведения на специальных звероводческих фермах.

46 Васильевский Р. С., Дроздов Н. И. СКУЛЬПТУРА МАМОНТА ИЗ СЕВЕРНОГО ПРИАНГАРЬЯ

Обнаруженная при раскопках фигурка мамонта свидетельствует о существовании в Северной Азии палеолитического искусства.

49 Воронцов Н. Н., Гаспарян К. М. ГЕНОФОНД ДИКИХ БАРАНОВ В ОТДАЛЕННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ

Наследственные задатки диких баранов могут быть использованы в выведении новых высокопродуктивных пород домашних животных.

50 Дунаев Е. А., Семенов Д. В. ЗАЙСАНСКАЯ КРУГЛОГОЛОВКА

Этот новый вид ящериц появился в списках фауны СССР благодаря ревизии малоизученного рода пустынных агам.

56 Здоровенин В. В. НАУЧНОЕ БУРЕНИЕ В АРКТИКЕ — МЕЧТА ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Океанское научное бурение в Арктике позволило бы решить ряд фундаментальных геологических задач.

58 Шамакин Б. М. УДИВИТЕЛЬНЫЙ МИР ПЕГМАТИТОВ

За последние годы заметно вырос интерес к пегматитам — породам, отличающимся крупными, даже гигантскими размерами кристаллов, причудливой структурой, очень высокой концентрацией редких элементов, загадочностью происхождения.

60 Ландсберг Л. Г. МЕЗОН С (1480) — КАНДИДАТ В ЭКЗОТИЧЕСКИЕ АДРОНЫ

На Серпуховском ускорителе обнаружен новый мезон, «экзотические» свойства которого не укладываются в рамки обычной кварковой модели строения адронов.

74 Александров Н. Н., Кистер А. Э., Миронов А. А., Певзнер П. А. РАСПОЗНАНИЕ ОБРАЗОВ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКЕ

Подобно тому как после археологов к исследованиям древних текстов приступают лингвисты, так и после биологов, определивших последовательность нуклеотидов, в исследования включаются математики. ЭВМ помогает прочесть непрерывный генетический текст, определяя смысловые участки.

78 Давлет М. А. КРУГОВОРОТ ЖИЗНИ В ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ДРЕВНИХ

Петроглифы Верхнего Енисея рассказывают о духовной жизни их создателей.

79 Рувинский А. О. ЛИДЕР

Современная наука превратилась в коллективное творчество, которое не может развиваться без руководства со стороны талантливых организаторов науки, каким был генетик Д. К. Беляев.

93 Цигельницкий И. И. ВОКРУГ «ОЗОННОЙ ДЫРЫ»

Среди многих гипотез, объясняющих происхождение «озонной дыры» над Антарктидой, заслуживает внимания и динамическая, связывающая уменьшение количества озона с особенностями циркуляции атмосферы.

97 Церава Г. К. МАРАТ КАК ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛЬ

Друг народа Жан Поль Марат известен как один из вождей Великой французской революции, но он был также естествоиспытателем.

НОВОСТИ НАУКИ

104 Редкие земли в сульфидных рудах океана (15) • Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь — декабрь 1987 г.)

(104) • Самая длительная экспедиция на станции «Мир» (104) • Снова о десятой планете (105) • Изучается Плутон (106) • Астрофизическое ограничение на магнитный момент нейтрино (106) • Новый класс объектов в гало Галактики? (107) • Дискретный заряд в связанных туннельных переходах (108) • Влияние фазового перехода на термодесорбцию (108) • Новый лазерный двигатель (109) • Плавление двумерного коллоидного кристалла (109) • Белки, узнающие раково-эмбриональный антиген (110) • Структура цитоплазмы (110) • Молекулярная хирургия: избирательное уничтожение клеток (111) • Форма клетки влияет на синтез ферментов (111) • Кератины и морфогенез (111) • Особенности оптической системы глаза птиц (112) • Нейролептик нарушает синтез белка (112) • Чувствительность нейронов меняется в

онтогенезе (113) • СПИД и нравы (113) • «Легендарный» чеснок (113) • Еще один метод консервирования тромбоцитов (114) • Память на имена и профессии (114) • Успешное обучение попугая (114) • Как жабы находят дорогу (115) • Защитная окраска ужей (115) • Выведение игуан в неволе (115) • Трудное лето в Афинах (116) • О форме земного ядра (116) • 115-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолушн» (117) • Мировой океан расширяется (118) • Образование самородного алюминия (118) • Геодинамика Северной Атлантики (119) • Почему похолодали летние сезоны? (119)

РЕЦЕНЗИИ

121 Гурштейн А. А. «ГАМБУРГСКИЙ СЧЕТ» НАУКИ (на кн.: Ю. Б. Татарин. Проблемы оценки эффективности фундаментальных исследований: логико-методологические аспекты)

Бородин П. М. СУДЬБА «ПРОИСХОЖДЕНИЯ» (на кн.: Ч. Дарвин. Происхождение видов путем естественного отбора) (123)

НОВЫЕ КНИГИ

126 Буряк А. А., Карпова Н. Б. Термоэлектричество: вчера, сегодня, завтра (126) • Розенталь И. Л. Геометрия, динамика, Вселенная (126) • Шеперд Г. Нейробиология: В 2-х т. (126) • Вибе К., Муус Б., Саломонсен Ф. Жизнь в стране ледяного безмолвия (127) • Святловский А. Е., Китайгородский Ю. И. Геодинамическая вулканология (127) • Успенский С. М. Живая Арктика (127) • Лукашев В. К. Геологические аспекты охраны окружающей среды (128) • Фолта Я., Новы Л. История естествознания в датах (128)

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
А. В. ДЕГТЯРЕВ,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
В. В. МАЙКОВ,
Л. Д. МАЙОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Е. М. ПУШКИНА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:

Н. Б. ГОРЕЛОВА,
И. В. ДМИТРИЕВА,
Г. И. ПАНКОВА

Художник

С. И. МИРОНЕНКО

Художественные редакторы:

Л. М. БОЯРСКАЯ,
Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией

О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:

О. Н. БОГАЧЕВА,
Т. Д. МИРЛИС

В номере использованы фотографии:

Т. Г. БОНДАРЕНКО,
Н. Н. ВОРОНЦОВА,
К. М. ГАСПАРЯНА,
Н. И. ДРОЗДОВА,
Е. А. ДУНАЕВА,
Б. А. КУВШИНОВА,
В. А. ПРАСОЛОВА,
В. В. ФРИДКЕСА

В художественном оформлении номера принимали участие:

Г. Д. КИЗЕВАЛЬТЕР,
В. С. КРЫЛОВА,
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 01.02.88

Подписано в печать 16.03.88

Т—05533

Формат 70×100 1/16

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 1445,6 тыс

Уч.-изд. л. 15,1

Бум. л. 4

Тираж 54 000 экз.

Зак. 305

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат

ВО «Союзполиграфпром»
Государственного
комитета СССР
по делам издательств
полиграфии
и книжной торговли
142300, г. Чехов
Московской области

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ

Интервью с В.А.Жариковым

Геология изначально складывалась и развивалась как наука описательная, основанная на огромном количестве эмпирических данных, и в то же время как наука историческая. Основной предмет геологии — история геологических явлений, т. е. характеристика последовательности событий, приводящих к формированию того или иного объекта, будь то минерал, горная порода, месторождение или крупный элемент литосферы.

Вместе с тем образование минералов, горных пород и руд, да и любых геологических объектов — сложные физико-химические процессы, протекающие в условиях очень большого диапазона температур и давлений, переноса громадного количества вещества. Изучение этих процессов и стало основной задачей нового физико-химического направления в геологии.

Один из лидеров этого направления директор Института экспериментальной минералогии АН СССР В. А. Жариков в интервью нашему корреспонденту Л. Д. Майоровой рассказал о том, какими методами исследуют природные физико-химические процессы, о решении с помощью этих методов «застарелых» геологических споров, о трудностях роста и о перспективах молодого направления, возникшего на стыке геологии и точных наук.



Вилен Андреевич Жариков, академик, заместитель академика-секретаря Отделения геологии, геофизики, геохимии и горного дела АН СССР, директор Института экспериментальной минералогии АН СССР, заведующий кафедрой геохимии геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специалист по физико-химической минералогии и петрологии. Лауреат Государственной премии (1975).

КОГДА зародилось физико-химическое направление в геологии и с чем это было связано?

Первые попытки изучения природных физико-химических процессов предпринимались давно, еще в начале нашего века. Но, как правило, это были неудачные попытки, поскольку в ту пору не была осознана приложимость законов и методов физической химии к природным процессам. И только в 50—60-х годах, когда академиком Д. С. Коржинским, его учениками и последователями были выявлены принципиальные особенности природных физико-химических процессов, разработаны методы их исследования и на примере ряда геологических объектов показана эффективность этих методов, в геологии окончательно сформировалось новое физико-химическое направление.

В его основе лежит открытый Коржинским принцип дифференциальной подвижности компонентов, отражающий термодинамическую модель природных систем. Согласно этому принципу, все компоненты в природных системах делятся на инертные и вполне подвижные. Поведение инертных компонентов определяется их массой; от них зависит фазовое содержание природной системы, например количество минеральных фаз в ней. Эти компоненты давно известны в термодинамике и химической технологии, и ничего особенно нового здесь нет. Зато вполне подвижные компоненты являются принципиально новыми. Они вносят в систему дополнительные интенсивные параметры (химический потенциал, активность и т. д.) и наряду с температурой и давлением отвечают за фазовое многообразие природных систем, в частности за то, из каких комбинаций минералов будет сложена та или иная горная порода.

ЭКСПЕРИМЕНТ В ГЕОЛОГИИ

Замечу, что разработанный Коржинским принцип дифференциальной подвижности компонентов приложим не только к геологическим объектам, но и к любым природным системам, например к человеческому организму. И в этом нет ничего удивительного, ведь хорошо известно, что человеческий организм, его органы функционируют при определенных условиях, например при определенной кислотности среды, и этой кислотностью поддерживается проникновение через оболочки наших органов определенных вполне подвижных компонентов. Так что наш организм — один из ярких примеров систем с вполне подвижными компонентами.

Открытие вполне подвижных компонентов в корне изменило наши представления о геологических процессах. Стало ясно, что минералов в природной системе (как я уже говорил, их количество определяется только инертными компонентами) должно быть значительно меньше, чем компонентов в ней. Наряду с этим разнообразных сочетаний минеральных фаз, или, как мы говорим, минеральных парагенезисов, в природных системах должно быть гораздо больше, потому что число парагенезисов определяется не только температурой и давлением, но и теми интенсивными параметрами (активностями, химическими потенциалами), которые вносятся в систему вполне подвижными компонентами.

В этой связи становится понятным, почему раньше, до открытия термодинамической сущности природных процессов, все попытки приложения методов термодинамики и физической химии к природным процессам были безуспешны.

И все же остается вопрос, почему именно термодинамический метод, а не методы, скажем, статистической физики, получил развитие при анализе природных процессов?

Термодинамика изучает тепловые, механические и химические процессы. С этими процессами мы имеем дело и в природе. Кроме того, методы термодинамики хороши тем, что они описывают те или иные процессы, позволяя сравнивать конечное и на-

чальное состояние системы, а тот путь, который система проходит, для термодинамики не важен.

Что мы имеем в природе? Мы знаем конечное состояние природного объекта, наблюдаем прямо в поле, изучаем в лаборатории, из чего сложены горные породы, минералы и т. д. Мы можем, правда не всегда точно, предположить начальное состояние того или иного природного объекта. Но мы абсолютно ничего не знаем о том, какой путь прошли все эти породы и минералы. Отсюда следует, что методы статистической физики, основанные на описании процесса как суммы промежуточных состояний, не подходят для изучения природных процессов.

Расскажите поподробнее о методах изучения физико-химических процессов в геологии. Каковы их возможности и ограничения!

Среди различных методов физико-химической геологии два имеют основополагающее значение — это методы экспериментального и теоретического моделирования.

Цель экспериментального моделирования состоит в изучении природных процессов путем их искусственного воспроизведения. Это единственный метод, который дает нам возможность получить количественные характеристики процессов, протекавших многие миллионы лет назад, потому что вся информация о температурах палеопроцессов, о глубинах и давлениях, об активности компонентов и т. д. закодирована в составе минералов и распределении компонентов между ними. Расшифровать эту информацию мы можем, только воспроизведя экспериментально, в контролируемых условиях, особенности состава минералов и распределения компонентов между ними. Вот почему этот метод является в настоящее время одним из наиболее информативных.

Вместе с тем метод экспериментального моделирования имеет существенные ограничения. Это и технические трудности (бессмысленно, например, пытаться воспро-

изводить вулканическую деятельность), и трудности принципиальные, связанные с масштабами геологического времени. Более того, наука сейчас развивается столь быстро, что если мы поставим эксперимент на 2, 3, 5 лет (техника позволяет это сделать), то по истечении этого времени постановка задачи окажется безнадежно устаревшей.

Методы теоретического моделирования, состоящие в построении и исследовании теоретических моделей природных физико-химических процессов, не имеют принципиальных ограничений. При этом прогрессирующее развитие вычислительной техники и «машинного эксперимента» создает самые благоприятные условия для теоретического моделирования. Однако и тут возможности определяются полнотой и надежностью экспериментальных данных, лежащих в основе любой теоретической модели.

Сочетание экспериментального моделирования (как метода частных количественных решений) и теоретического моделирования (как общего метода) будет генеральной линией развития физико-химической геологии в ближайшие 20—25 лет.

При экспериментальном изучении геологических процессов приходится воспроизводить высокие давления и температуры, а также особые условия, характерные для природных термодинамических систем. Все это требует соответствующего оборудования, и успех экспериментаторов во многом зависит от качества аппаратуры. Что Вы можете сказать о технике, применяемой в экспериментальных исследованиях?

Геологические процессы протекают в широких диапазонах температур и давлений. Для их воспроизведения используют самые разные типы аппаратов: гидротермальные установки, газостаты, твердофазные аппараты, алмазные наковальни (установки принято обозначать по среде, передающей давление). Установки высокого давления позволяют проводить эксперименты в статическом режиме, длительное время поддерживая температуру и давление, характерные для самых разных глубин. Современные установки воссоздают условия земной коры и мантии: давления до 1200 кбар и температуры до 2000 °С. Параметры, отвечающие условиям ядра, пока могут быть достигнуты только взрывом.

Остановлюсь несколько подробнее на разных типах установок и их характеристиках. Гидротермальные установки автоклавного типа, где давление передается водой, позволяют создавать давление до 8—9 кбар и температуру до 700—800 °С. Газостаты, в ко-

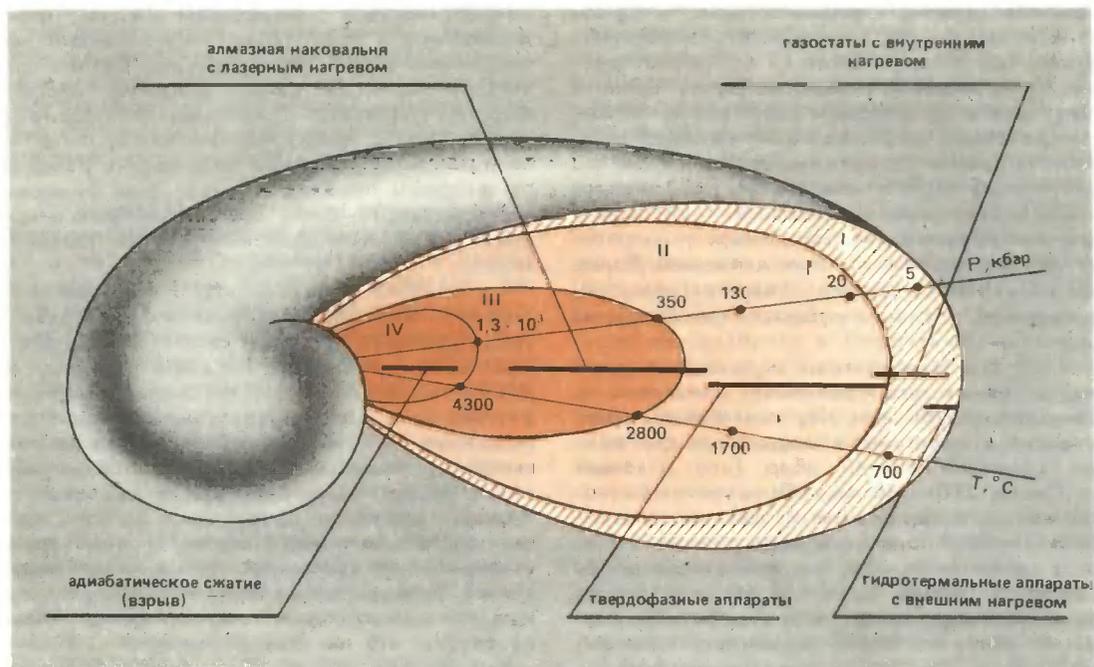
торых давление передается инертным газам, имеют следующие параметры: давление до 10 кбар (до 15—17 кбар на рекордных установках), температура до 1600 °С. Твердофазные установки, где давление от пресса передается твердой средой (соль, пирофиллит, мягкая керамика), обеспечивают давление в диапазоне 10—35 кбар. Давления от 30 до 80 и даже до 100 кбар создаются установками типа наковален. Кроме того, существуют сложные многокомпонентные установки, позволяющие работать при давлениях до 350 кбар.

Наряду с этими установками, ставшими уже привычными, чрезвычайно важно иметь приборы, которые давали бы возможность наблюдать за реакциями непосредственно в режиме опыта. Для этого создаются специальные установки с сапфировыми окнами. Необходимы также установки, позволяющие изучать не только статическое состояние, но и динамику процессов. Я имею в виду серию установок, предназначенных для изучения фильтрации растворов через горные породы, для воспроизведения и изучения метасоматических процессов, обычно сопровождающих образование рудных месторождений (или, как мы говорим, метасоматических околорудных изменений).

И все же, каким образом в условиях эксперимента удается обеспечивать режим вполне подвижных компонентов, характерный для природных термодинамических систем?

Принципиальная особенность природных термодинамических систем, как я уже отмечал, состоит в том, что режим части компонентов, названных вполне подвижными, определяется интенсивными параметрами и не зависит от реакций, протекающих внутри каждой такой системы. Отсюда следует, что при экспериментальном изучении природных систем и процессов необходимо создать такие условия, чтобы активные вполне подвижные компоненты поддерживались на постоянном уровне, не зависящем от процессов внутри системы. Осуществляется это с помощью твердых, жидких или газообразных буферов, вводимых в систему в ходе эксперимента, т. е. буферными методами.

Методы эти разнообразны и довольно сложны для популярного изложения, поэтому я предпочел бы ограничиться примерами. Прежде всего следует назвать метод «двойной ампулы» с твердым минеральным буфером, поддерживающим постоянное парциальное давление одного из вполне подвижных компонентов большинства систем — кислорода, а также метод «боль-



Схематический разрез земного шара с его главными геосферами: земной корой (I), верхней и нижней мантией (II и III), ядром (IV). На рисунке показаны характерные для этих зон значения температур T и давлений P , а также типы аппаратов, позволяющих воспроизводить соответствующие величины T и P .

шой ампулы» с буферным раствором, поддерживающим постоянную активность H_2O , CO_2 , HCl , KCl , $NaCl$ и других вполне подвижных компонентов. Упомянутые мною методы чаще других используются в экспериментальной практике, поскольку подавляющее большинство экспериментов по изучению минеральных равновесий сосредоточено на системах, где именно эти компоненты являются вполне подвижными.

Установки для экспериментальных исследований, как известно, не производятся промышленностью серийно, поэтому эффективность этих исследований определяется зачастую тем, насколько удачной окажется аппаратура, созданная в том или ином коллективе. Какие установки применяются в Вашем институте!

Кроме уже названных, у нас используется несколько полностью оригинальных установок, например гибридная, где твердофазная аппаратура сочетается с небольшой газовой ячейкой, сообщающейся через капилляр с внешней средой. Такое сочетание позволило устранить главный недостаток твердофазных установок, связанный с изменением давления во время опытов и нерав-

номерностью его во всем объеме ячейки. Есть у нас также аппарат с проточным реактором и тремя независимыми системами регулирования давления, две из них обеспечивают необходимую скорость течения раствора, третья — обжим образца. Такая установка дает возможность экспериментально изучать динамические характеристики процессов минералообразования. Интересна и установка с оптическими окнами, позволяющая определять состав фаз, концентрацию компонентов и другие параметры непосредственно в режиме опытов.

Воспроизведение сверхвысоких давлений и температур, существующих в недрах Земли, — одна из основных и для всех очевидных задач экспериментальных исследований. Какие новые сведения о земных глубинах принесли эти работы за последние годы!

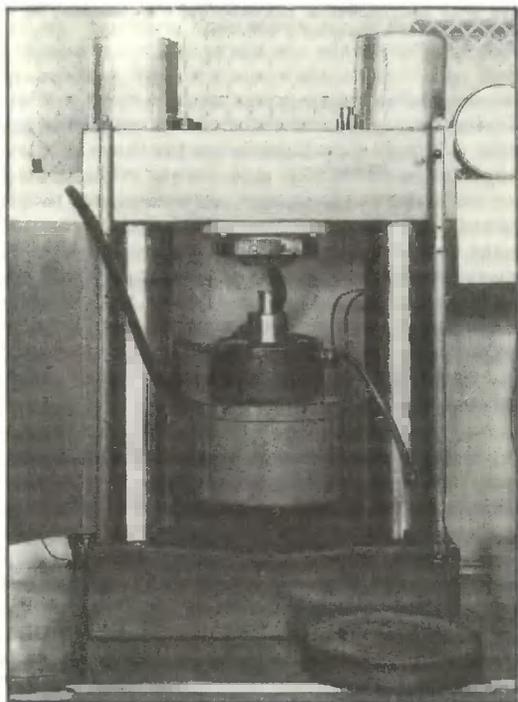
Изучение физико-химических процессов, протекающих в самой крупной оболочке нашей планеты — мантии, имеет первостепенное значение для познания глобальных процессов, контролирующих развитие Земли в целом. В этом направлении за последнее десятилетие достигнуты значи-

тельные успехи. Особый интерес к проблемам мантии характерен для зарубежных стран, где данная тематика составляет около 70 % экспериментальных работ. Важные результаты по фазовым равновесиям и взаимодействию флюидов с мантийным веществом получены советскими учеными, но по количеству экспериментальных работ такого рода зарубежные исследователи, несомненно, нас превосходят. Например, у нас почти нет экспериментов при давлениях более 70—80 кбар (и высоких температурах, естественно), хотя и за рубежом такие работы уникальны.

Чтобы быть кратким, остановлюсь лишь на основных исследованиях, связанных с большими глубинами. Изучены фазовые равновесия в простейших модельных системах до давлений 30—40 кбар (что отвечает глубинам 100—130 км). Проведены разнообразные эксперименты по частичному плавлению мантийного материала разного состава с целью выяснить, в каких условиях образуются разные типы базальтов и других вулканических пород. Начаты работы по изучению взаимодействия воды и флюидов ще-

лочного состава с веществом мантии. Продолжаются исследования, направленные на выяснение условий выплавления разных по составу магм (в каких условиях, например, выплавляются толеитовые или щелочные базальты, алмазоносные кимберлиты и лампроиты). Проведены пионерские работы по фазовым переходам некоторых минералов при сверхвысоких давлениях, проясняющие возможный фазовый состав нижней мантии.

Следует отметить, что о фазовом состоянии минералов при высоких и сверхвысоких давлениях геологи спорят уже давно. Прежде считалось, что по мере увеличения давления сложность состава минералов возрастает (эта закономерность соблюдается примерно до 80—90 кбар), а при еще более высоких давлениях сложные по составу минералы, такие, например, как пироксены и гранаты, начинают распадаться на простые окислы, отличающиеся более плотной кристаллической упаковкой. Но в последнее время появились экспериментальные данные, опровергающие эти представления: оказалось, что некоторые минералы, в том



Внешний вид твердофазной установки (типа цилиндр—поршень) Института экспериментальной минералогии АН СССР.

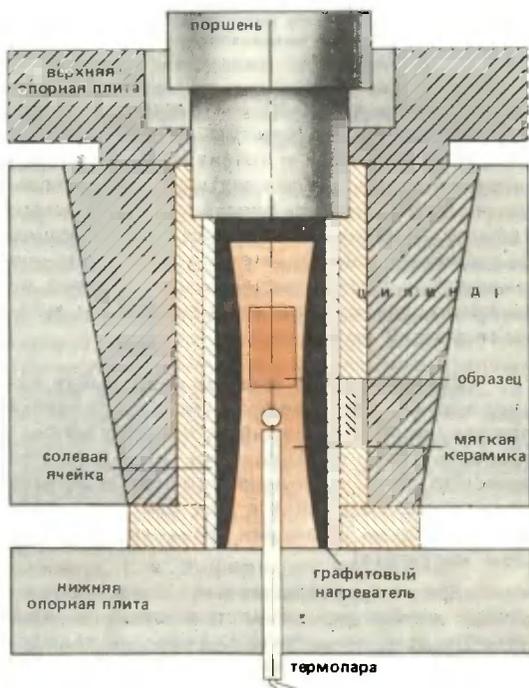


Схема твердофазной установки типа цилиндр—поршень, позволяющей моделировать процессы, протекающие в земной коре и верхней мантии при давлении до 30 кбар и температуре до 1600°C.

числе и гранаты, до 200 кбар сохраняют сложное строение. Таким образом, выяснение фазового состава тех минералов, которые слагают мантию, остается одной из главных задач экспериментальных исследований. Без ее решения невозможно верное истолкование геофизических данных.

Много лет со страниц специальных и популярных изданий не сходят споры по поводу теории литосферных плит. В нашем журнале об этом тоже много писали. Какой вклад в разрешение противоречий между фиксистами и мобилистами внесли физико-химические исследования, в частности работы по изучению процессов в мантии!

Мне представляется, что в настоящее время возможности геофизики в разработке плитовой тектоники почти целиком использованы. Сейчас необходимы экспериментальные данные о вязкости, плотности и других реологических параметрах мантийного материала — без этого не удастся оценить возможные механизмы магмообразования, конвекции в мантии и т. д. Кроме того, одним из главных в тектонике плит является процесс субдукции (т. е. погружения океанической литосферной плиты под континентальную), которым обусловлено возникновение на континентальных окраинах разных по составу магматических пород. Так вот, перед экспериментаторами стоит задача ответить на вопросы, возможны ли те фазовые превращения, которые принято связывать с субдукцией, и насколько реально само явление субдукции.

Первые, пока предварительные, результаты уже появляются, но они не позволяют отдать предпочтение ни сторонникам плитовой тектоники, ни их противникам. Недостаточно охарактеризованы фазовые превращения, неясными остаются вопросы динамики, непонятны реологические свойства тех пластин, которые погружаются, а также того мантийного вещества, в которое они погружаются. В общем, самые большие сомнения связаны с процессом субдукции, поскольку процесс спрединга (т. е. раздвигания литосферных плит) реально наблюдается в природе.

Было бы интересно узнать о применимости методов физико-химической геологии к изучению магматических процессов. Что сделано в этой области!

Экспериментаторы всегда уделяли много внимания магматическим системам, которые служат модельными прообразами вулканических и интрузивных пород, столь широко распространенных в земной коре.

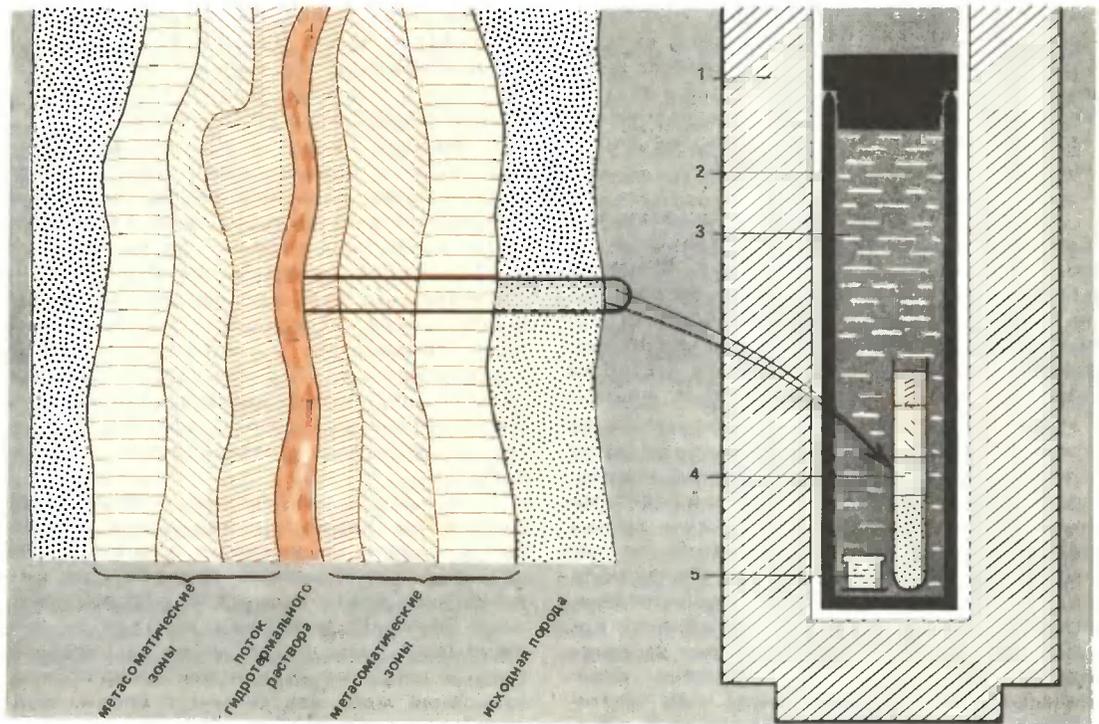
Первые эксперименты такого рода были сделаны еще в начале 50-х годов, но при этом не учитывалось, что магмы, как и прочие природные объекты, являются системами с вполне подвижными компонентами.

Вообще говоря, с 50-х годов начался серьезный эксперимент в петрологии и минералогии. Можно назвать работы американских исследователей Н. Л. Боуэна и О. Ф. Татла по гранитным магмам или работу того же Боуэна по минеральным равновесиям. (Напомню, что до 50-х годов почти все экспериментальные исследования геологического плана проводились в Геофизической лаборатории Института Карнеги в США. У нас были отдельные экспериментаторы, они делали очень интересные работы, но систематические исследования начались несколько позднее.)

Так вот, к тому времени, когда сформировалась теория термодинамических систем с вполне подвижными компонентами, на экспериментальные исследования эти теоретические представления не распространялись. Поэтому сейчас нам приходится разрабатывать совершенно новое экспериментальное направление, основанное на воспроизведении магм как систем с вполне подвижными компонентами.

Какое значение имеет такой подход? Во-первых, оказывается, что активности компонентов магмы, сосуществующей с флюидом, могут влиять на магматические равновесия. Во-вторых, по мере кристаллизации магм изменяется состав флюида, отделяющегося от магматического очага. А раз так, то последовательно изменяется и способность этого флюида экстрагировать рудные компоненты из магмы. В общем виде данная проблема получила название флюидно-магматической дифференциации, и основное внимание в ее разработке уделяется тому, в какой последовательности рудные компоненты выносятся из магматического очага флюидами. Эта последовательность в свою очередь, определяет эволюцию уже отделившихся рудоносных растворов, которые и дают начало различным минеральным месторождениям.

Выясняя, как отделение того или иного рудоносного флюида влияет на фазовый состав магмы, экспериментатор, разумеется, помнит, что все эти сведения в конечном итоге нужны для решения обратной задачи: по минеральному составу природных гранитов, диоритов, сиенитов или каких-то других интрузивных пород определить, была ли данная интрузия рудоносна, происходило ли рассеяние рудных компонентов или, наоборот, их концентрирование. Хорошо из-



Образование метасоматической зональности в природе и в условиях эксперимента. Слева: природная метасоматическая колонка, возникшая в результате поступления гидротермального раствора по трещине в породе. Справа: схема гидротермальной установки для моделирования метасоматической зональности (1 — автоклав, 2 — предохранительный герметичный титановый контейнер; 3 — исходный раствор; 4 — золотая или платиновая открытая капсула, заполненная порошком исходной породы; 5 — кислородный буфер).

вестны, например, расчеты, показывающие, что в среднем гранитном массиве содержится такое количество рассеянных рудных компонентов, которого достаточно для образования рудного месторождения. Задача сейчас состоит в том, чтобы по особенностям минерального и химического состава уже «отработавшего» магматического очага определить его способность генерировать руду.

Вот это, пожалуй, одна из наиболее актуальных проблем, над которой работают экспериментаторы в нашей стране и несколько менее активно — на Западе, где все увлечены проблемами мантии Земли, особенно в связи с плитовой тектоникой.

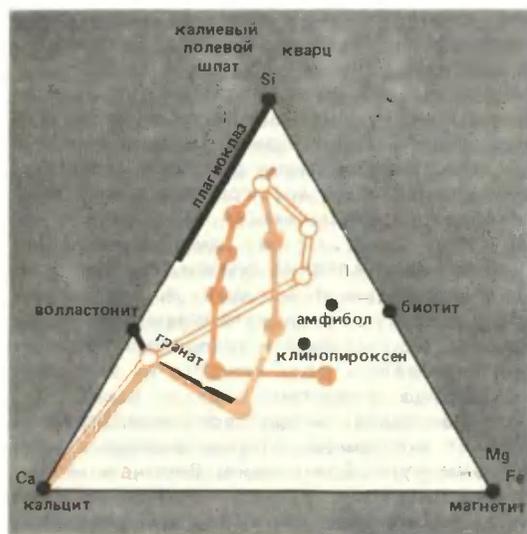
Одна из основных линий экспериментальных исследований в геологии — изучение минеральных равновесий в системах с вполне подвижными компонентами. С какой целью изучают данные равновесия и какие практические выходы имеет это, казалось бы, сугубо теоретическое направление!

Минеральные равновесия в системах с вполне подвижными компонентами изучают, чтобы выяснить, как парагенезисы минералов (т. е. равновесные их ассоциации) зависят от температуры, давления, активности вполне подвижных компонентов и других параметров, определяющих внешние физико-химические условия существования систем. Конечная же цель таких исследований заключается в выявлении исходных физико-химических условий образования минералов и пород по конкретным минеральным парагенезисам в какой-то конкретной горной породе.

Достичь этой цели можно разными путями, но ближе всего к природным объектам стоит физико-химический анализ парагенезисов. Этот метод заключается в построении различных диаграмм, отражающих зависимость природных минеральных парагенезисов от температуры, давления, активности вполне подвижных компонентов и других факторов равновесия минеральных систем. Такая информация об условиях обра-

зования минералов, горных пород и руд очень интересна для геологов, но все-таки физико-химический анализ парагенезисов остается только качественным методом. Для получения количественной информации необходимо привлечь экспериментальные данные и физико-химические расчеты.

Для самых простых систем, где вполне подвижными компонентами являются H_2O и CO_2 (такие системы моделируют процессы метаморфизма), самое важное — определение давлений и температур, при которых образовались данные метаморфические породы. Здесь уже многое сделано: для большинства систем с фазами постоянного состава соответствующие диаграммы уже построены. Теперь результаты этих исследований предстоит внедрить в практику геологического картирования. Перед геологической службой нашей страны стоит задача составления карт нашей территории пятидесяти-тысячного масштаба, и, конечно же, изучение метаморфических толщ должно быть доведено при этом картировании до уровня количественных характеристик температур и давлений (и соответственно, глубинности) всех этих метаморфических процессов. Материалы для этого в настоящее время уже имеются.



Типичная диаграмма, отражающая изменения химического и минерального состава последовательных зон метасоматических колонн, образующихся при взаимодействии гранодиоритов и известняков в присутствии разных по составу растворов. В углах диаграммы — химические элементы, являющиеся инертными для данной системы; черные кружки и линии отвечают составу минералов, а цветные — составу метасоматических зон.

Хорошо известен и другой тип минеральных систем, где подвижными компонентами являются не только H_2O , CO_2 , O_2 , но и многие другие. Данные системы изучены особенно детально, поскольку они моделируют те самые околорудные метасоматиты, которые служат индикаторами оруденения. (Напомню, что метасоматиты образуются в результате замещения одних минералов другими с существенными изменениями химического состава породы, но с сохранением ее объема и твердого состояния.) Изучение метасоматических процессов идет двумя путями: статическим — более простым, и динамическим, когда экспериментаторы непосредственно воспроизводят околорудные изменения, наблюдаемые в природе.

Советские исследователи — пионеры в данной области, наши ученые сделали здесь очень много. В качестве примера можно привести решение экспериментальным путем старого геологического спора о природе околорудной метасоматической зональности. О зональных изменениях вокруг рудных жил знали с начала века, но при этом считали, что образование каждой отдельной зоны связано с воздействием на породу разных по составу растворов. Экспериментальные исследования показали, что ничего подобного не происходит: весь ореол метасоматически измененных пород возникает под действием одних и тех же растворов, а тонкие особенности строения ореола отражают какую-то специфику этих растворов, в том числе и рудную. Завершение экспериментальных работ этого направления, безусловно, будет иметь важнейшее прикладное значение, так как по всякому изменению пород, находящихся далеко от рудного тела, мы сможем прогнозировать возможные рудные месторождения.

И еще один момент, на котором мне хотелось бы остановиться. Очень долго никто не мог ответить на вопрос, сколько времени нужно для образования месторождения. Существуют, конечно, методы изотопной геохронологии, но они пока не позволяют датировать события с точностью до десятков и сотен тысяч лет. Так вот, экспериментальные исследования позволили количественно оценить, сколько времени необходимо для образования рудного тела и ореола околорудных метасоматитов, а также сколько примерно раствора для этого требуется и каковы примерные концентрации элементов в этом растворе. Эти экспериментальные данные представляют собой богатый материал для математического моделирования процессов рудообразования.

Экспериментальное моделирование равновесий между минералами постоянного состава дает лишь самые общие представления о температурах и давлениях палео процессов. Каким образом можно получить более точные сведения о термодинамических условиях образования тех или иных горных пород?

Реакции с минералами постоянного состава дают нам грубую шкалу палеотемператур с делениями порядка 100 °С. Промежутки между этими значениями дробятся с помощью минералов переменного состава. Это оказалось возможным, поскольку константы распределения компонентов между слагающими горные породы минералами переменного состава зависят от температуры и давления. Следовательно, данные константы могут быть использованы в качестве своеобразных геотермометров и геобарометров, позволяющих оценивать условия образования многих горных пород.

Исследование минералов переменного состава — одна из первостепенных задач экспериментаторов. Но задача эта чрезвычайно сложна, так как процессы обмена между минералами переменного состава обычно протекают очень медленно (в природе подобные реакции могут длиться десятки тысяч и даже миллионы лет). Естественно, экспериментаторам придется много работать над ускорением воспроизводимых ими минеральных реакций или какими-то другими способами решать стоящую перед ними задачу в короткий срок. Зато в результате по нескольким минералам и минеральным ассоциациям удается воспроизвести все главные параметры палео процессов: и температуру, и давление, и особенности флюидного режима. Надо сказать, что из-за больших трудностей в данной области экспериментальных исследований работают немногие, но информация, которую удается получить этим немногим, поистине незаменима.

Почему экспериментаторы так много сил тратят на выяснение условий образования тех или иных пород, минералов, руд? Как от этих условий удается перейти к поискам месторождений?

Экспериментальное изучение условий образования рудных месторождений и выявление при помощи эксперимента различных поисковых критериев — вопрос очень простой, скорее, даже несколько самостоятельных вопросов. Об одном из них — о воспроизведении околорудных изменений и выявлении по слабым ореолам потенциальной рудоносности тех или иных пород — я уже говорил.

Дальше идет вопрос о причинах осаждения рудных минералов, т. е. о причинах собственно рудообразования. Здесь возможны два подхода. Традиционно вопрос решался частным путем: изучалась растворимость какого-то рудного минерала (допустим, одного из главных минералов олова — касситерита) в разных растворах и после этого делались выводы о причинах, которые могли привести к рудоотложению, т. е. к выпадению рудного минерала из раствора. Количество рудных минералов велико, и число таких работ может быть бесконечно. Поэтому более правильным представляется системный подход, когда исследуется модельная рудообразующая система в целом, все ее физико-химические характеристики. Это сложная задача, но после того как основной каркас системы (H_2O , CO_2 , H_2S , сульфиды, силикаты и хлориды) будет исследован и станут известны ее основные физико-химические характеристики, можно будет, используя полученную базовую информацию, без особых затруднений решать частные вопросы об условиях образования отдельных рудных ассоциаций, слагающих месторождения.

В результате теоретических и экспериментальных исследований для некоторых типов месторождений главные причины рудообразования уже выявлены. Так, для большой группы гидротермальных месторождений такой причиной оказалось изменение кислотности растворов. Но с чем связано это изменение, пока неясно. Существует предположение, что на кислотности сказывается фильтрация рудоносного раствора через тонкопористую среду: при этом просачивании происходит разделение раствора на компоненты, или, как мы говорим, кислотно-основная дифференциация. Есть также предположение, что на эту дифференциацию существенное влияние оказывают процессы гетерогенезации флюида, т. е. разделения его на газовую и жидкую фазы (при этом, естественно, меняется кислотность раствора). Определить роль каждого из этих процессов еще предстоит.

Вот основной круг вопросов, который волнует экспериментаторов в связи с процессами рудообразования. Впрочем не исключается, чтобы для каких-то конкретных типов месторождений одновременно решались вопросы о конкретных формах переноса рудных компонентов и конкретных причинах их осаждения.

Развивая новое направление, Вы и Ваши коллеги наверняка сталкиваетесь с немалыми трудностями. Какие из них кажутся Вам наиболее серьезными?

Самые большие трудности связаны, конечно, с недостаточной оснащенностью экспериментальных лабораторий. В нашей стране до сих пор не налажен промышленный выпуск аппаратуры высоких давлений и необходимых аналитических приборов: рентгеновских и других типов микроанализаторов, высокоточных плазменных и рамановских спектрометров, высокочувствительных масс-спектрометров и т. д. Явно недостаточно и число исследователей, работающих в физико-химической геологии, особенно на ее главном, экспериментальном направлении.

Еще одна проблема, и немалая, связана с тем, что методы и аппарат, используемые в физико-химической геологии, радикально отличаются от применяемых в обычных геологических исследованиях. По существу, это физико-химический аппарат, экспериментальные и математические методы. Ситуация к тому же усугубляется сложностью природных объектов, необходимостью описывать чрезвычайно сложные и запутанные природные процессы в точных понятиях физической химии. В результате многие достижения нового физико-химического направления оказываются недоступными геологам-практикам.

Думается, без резкого повышения уровня специального физико-химического образования студентов геологического профиля эту проблему не решить. Кроме того, нужна постоянная переподготовка работающих кадров (как это делается, например, по вычислительной математике). Наконец, необходимо более активное внедрение результатов физико-химической геологии в практику геологических работ. И важным шагом в этом направлении могли бы стать совместные с Министерством геологии СССР комплексные исследования на типовых геологических объектах-полигонах. Это, несомненно, приведет к взаимному обогащению теоретических и прикладных исследований.

Каков вклад советских и зарубежных исследователей в развитие физико-химического направления в геологии!

Если в общих термодинамических разработках наш задел существен и его можно успешно развивать, то в расчетной термодинамике с применением ЭВМ несравненно лучше компьютерное обеспечение позволило нашим зарубежным коллегам выйти вперед, по крайней мере по количеству рассчитанных моделей и систем. Преодолеть наметившееся отставание можно лишь резким повышением уровня «компьютеризации» наших институтов и лабораторий, усиленным

развитием математического моделирования.

Возьмем, например, уже упоминавшийся физико-химический анализ минеральных и фазовых равновесий. Этот метод, разработанный в основном усилиями советских ученых, успешно применяется и у нас, и за рубежом. Однако эффективность его применения в ряде зарубежных стран куда выше, поскольку исследователи там несравненно лучше обеспечены аналитической аппаратурой.

В целом экспериментальные исследования, проводимые в нашей стране, безусловно, отвечают мировому уровню, а в некоторых разделах (например, экспериментальное моделирование процессов метасоматизма, изучение систем с вполне подвижными компонентами, гидротермальных и газовых систем, свойств расплавов) заметно его опережают.

Вместе с тем существующие тенденции вызывают большую тревогу. Если в передовых капиталистических странах за последние 10—15 лет экспериментальных лабораторий стало больше в 2—2,5 раза, то у нас ситуация иная. За прошедшие годы число лабораторий не увеличилось, а уменьшилось. Экспериментальные лаборатории работают на пределе возможностей при остром дефиците производственных площадей и аппаратуры. Если незамедлительно не принять меры, то к 2000 г. мы окажемся в глубоком тылу этого направления геологии, где пока еще сохраняем лидерство.

И еще мне хотелось бы остановиться вот на каком моменте. Экспериментальные исследования, несомненно, очень трудоемки, требуют дорогостоящей аппаратуры, специальных установок, зданий и т. д. Поэтому не случайно главные центры экспериментальных исследований находятся в наиболее развитых странах: в Советском Союзе, США, Японии, Австралии, Франции, Англии. Но переход геологии на позиции точных наук невозможен без физико-химических исследований, и в этой связи нам нужно позаботиться, чтобы экспериментальные методы стали доступны и нашим коллегам из социалистических стран. Можно, конечно, предположить, что когда-нибудь они самостоятельно начнут экспериментальные работы, но на это придется потратить очень много сил, средств, а главное — времени. По-моему, куда разумнее было бы поставить вопрос о создании единого центра экспериментальных исследований для всех стран СЭВ, благодаря чему наши коллеги из социалистических стран смогут работать в новом направлении уже в обозримом будущем.

Не могли бы Вы в заключение сказать несколько слов о ближайших задачах физико-химического направления в геологии и о том, как Вы оцениваете значение этого направления?

Я предпочел бы начать с будущего физико-химической геологии, причем о перспективах ее развития лучше говорить не в целом, а по отдельным крупным проблемам.

Прежде всего я хотел бы остановиться на экспериментальных исследованиях, связанных с глубинным строением Земли. Работы эти уже давно находятся в центре внимания экспериментаторов, однако и по сей день мы имеем больше вопросов, чем ответов на них. Необходимо массированное физико-химическое наступление на проблемы глубинного строения Земли. От исследований этого направления мы ожидаем в первую очередь фундаментальных результатов. Уверен, что в ближайшие 10—15 лет будут построены физико-химические модели процессов, протекающих в верхней и, возможно, нижней мантии Земли. Будут определены физико-химические особенности глубинных рудно-магматических систем, ответственных за появление рудообразующих систем земной коры, приводящих к образованию месторождений полезных ископаемых. Наконец, разработка новой аппаратуры и методов исследования при сверхвысоких давлениях, несомненно, окажется полезной для синтеза новых промышленно важных минералов и материалов.

Еще один обширный круг вопросов касается физико-химического исследования магматизма и связанного с ним рудообразования. Здесь, наряду с ожидаемыми в будущем фундаментальными результатами, важными для петрологии, геотектоники, вулканологии, я выделил бы непосредственное прикладное значение, которое будут иметь модели типовых рудномагматических объектов, а также выявление критериев потенциальной рудоносности интрузий.

Весьма перспективно также физико-химическое исследование гидротермального процесса, метасоматизма и связанного с ними рудообразования. В этом направлении накоплен большой эмпирический материал (по растворимости конкретных минералов, определению возможных форм компонентов и констант их диссоциации в растворах и т. д.). Однако дальнейшие исследования будут состоять главным образом в

экспериментальном и теоретическом моделировании всей системы, отражающей идеализированный гидротермальный рудоносный флюид, в экспериментальном и теоретическом обосновании характеристик этого флюида. И уже на этой основе — как решение частных задач — должны определяться условия минерализации и рудообразования применительно к отдельным типам месторождений. Такой путь представляется более эффективным.

Еще одно генеральное направление заключается в непосредственном экспериментальном и теоретическом моделировании взаимодействия гидротермальных растворов с окружающими породами и воспроизведении процессов метасоматизма и оруденения. Развитие этих исследований, где работы советских ученых существенно опережают мировой уровень, несомненно, приведет к крупным теоретическим и прикладным результатам.

Несколько слов я хотел бы сказать и о физико-химических исследованиях процессов метаморфизма. От них мы ждем результатов, которые позволят поднять на новый уровень геологическое изучение территории нашей страны, помогут прояснить физико-химические процессы формирования земной коры на ранних этапах ее развития, выявить условия образования и признаки месторождений многих важных полезных ископаемых: железа, золота, урана, полиметаллов и др.

Что касается значения физико-химического направления в геологии, — я могу, конечно, показаться необъективным, — но мне представляется, что именно оно является надежным фундаментом для перехода геологических наук на принципиально новый уровень, от эмпирического и описательного к точным количественным знаниям и критериям.

Без глубокого понимания существа физико-химических процессов формирования минералов, горных пород и руд, а также основных физико-химических принципов мобилизации, переноса и концентрирования рудного вещества невозможен дальнейший прогресс: неэффективным окажется прогноз скрытых на глубине месторождений, невозможным — поиск новых, нетрадиционных способов извлечения полезных ископаемых, случайным — вовлечение в промышленное использование новых видов минералов и минерального сырья.

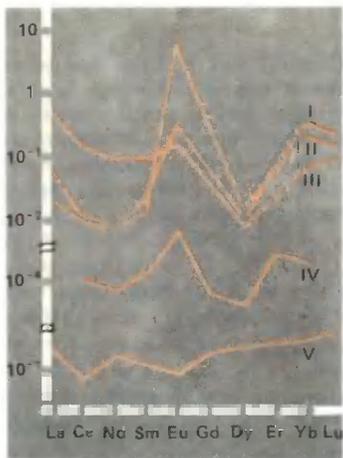
Геохимия

Редкие земли в сульфидных рудах океана

Редкоземельные элементы (или лантаноиды), обладая сходными химическими свойствами, по-разному реагируют на изменения условий среды, что позволяет использовать их в качестве чуткого индикатора различных геохимических процессов, в том числе рудных. Каково поведение этих элементов в высокотемпературном сульфидном рудообразовании? Для исследования этой проблемы группа специалистов, включая автора, анализировала состав ряда образцов сульфидов из различных океанских и наземных рудопроявлений. Концентрация редкоземельных элементов (РЗЭ) определялась наиболее чувствительным методом — нейтронно-активационным.

Во всех исследованных рудах содержание РЗЭ крайне низкое — в сумме всего несколько граммов на тонну, в то время как в земной коре их среднее содержание — около 200, а в океанских базальтах — около 80 г/т. Но наиболее примечательной особенностью состава РЗЭ оказалось обогащение их европием. Наглядно это проявляется при сопоставлении их относительных содержаний (т. е. при делении абсолютных концентраций на средние значения для соответствующих элементов в земной коре или другом эталоне).

На рисунке показаны такие «нормированные» составы РЗЭ. Наиболее резкий пик европия характерен для халькопиритовой фазы рудопроводящего канала в подводном гидротермальном проявлении на Восточно-Тихоокеанском поднятии (13° с. ш., глубина 2600 м); менее значительная аномалия наблюдается в пиритовой фазе



Относительное содержание редкоземельных элементов в сульфидах, гидротермах и морской воде: I — пирит (Восточно-Тихоокеанское поднятие), II — халькопирит (Восточно-Тихоокеанское поднятие), III — рудный ил (Красное море), IV — гидротермальный раствор (Восточно-Тихоокеанское поднятие), V — морская вода; пунктир — отсутствие данных.

сульфидной руды из того же района. Ранее зарубежными исследователями была установлена слабая европиевая аномалия в некоторых образцах рудных илов из впадины Атлантик II (центральная часть Красного моря) и сильная аномалия — в высокотемпературном рудном растворе из подводного гидротермального источника на Восточно-Тихоокеанском поднятии. В составе РЗЭ морской воды, приведенном для сравнения, наблюдается не избыток, а, скорее, дефицит европия. Симптоматично, что в сульфидных рудах Кипра, считающихся наиболее близким древним аналогом современных гидротермальных руд океана, нами также установлена резкая европиевая аномалия; проявляется она и в сульфидах с о. Кунашир, и в сер-

нистой взвеси из fumarольного котла вулкана Эбеко на о. Парамушир, и в сульфидах некоторых колчеданных руд на континентах.

С чем связаны эти особенности поведения европия? В природных соединениях все РЗЭ трехвалентны, но при этом европий может восстанавливаться до двухвалентного, а церий окисляться до четырехвалентного состояния. При прохождении высокотемпературного рудного флюида через толщу океанских базальтов происходит преимущественно выщелачивание европия за счет его восстановления, и флюид приобретает аномальный состав РЗЭ. При излияниях гидротерм осаждающиеся из них рудные фазы наследуют этот состав: наиболее полно — первые высокотемпературные минеральные фазы рудного вещества, менее полно — последующие фазы, на которые влияет смешение гидротерм с морской водой. Почему же фракционирование РЗЭ не затрагивает церий? Вероятно, потому, что в базальтах он уже находится в восстановленном (трехвалентном) состоянии и свойства рудного флюида не влияют на его подвижность.

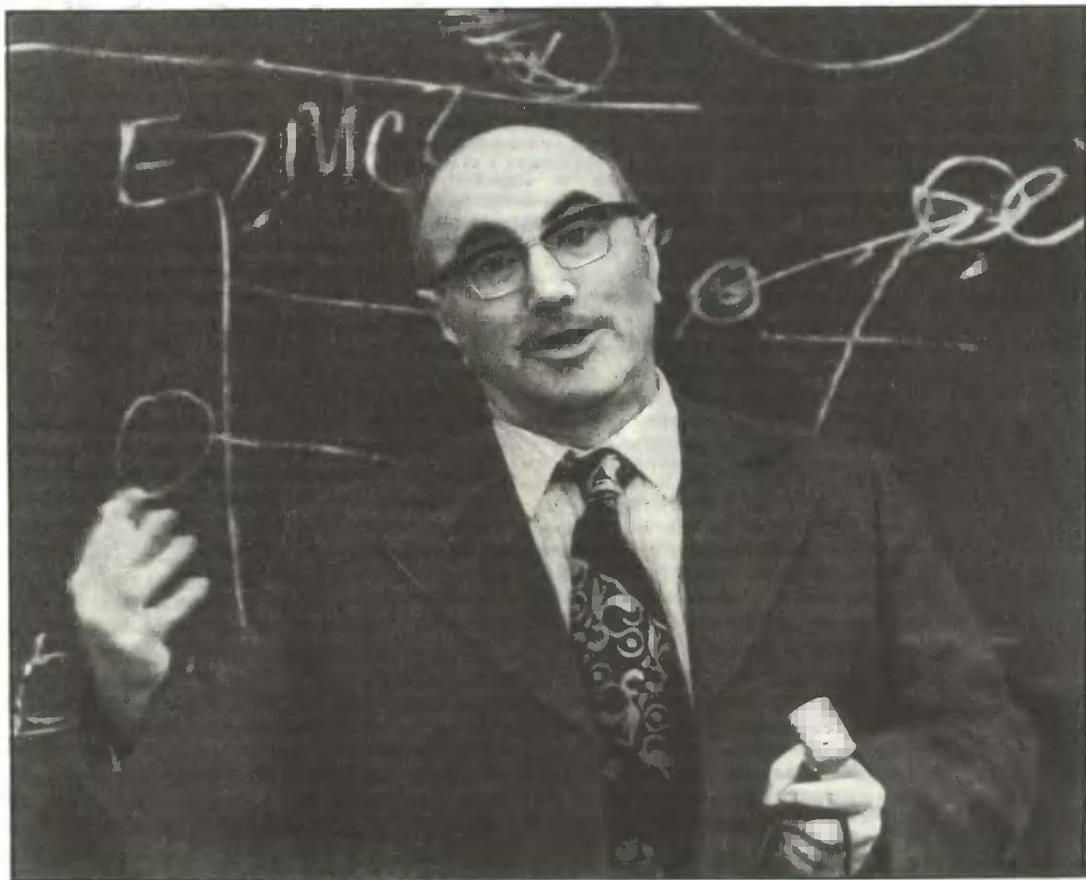
Отражает ли состав РЗЭ массивных сульфидных руд и рудных флюидов поставку рудного вещества из мантийных источников, или же он определяется только составом базальтов? Для ответа на этот вопрос необходимы специальные исследования.

Г. Н. Батурич,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

ВОЗМОЖНО ЛИ ОБРАЗОВАНИЕ

Я.Б.Зельдович

Якова Борисовича Зельдовича нет нужды представлять читателям «Природы». Автор фундаментальных работ в области физической химии, теории элементарных частиц, ядерной физики, астрофизики и космологии, он, кроме того, был еще и блестящим популяризатором, ярко, живо и образно рассказывающим в своих популярных книгах и статьях о наиболее «горячих» проблемах современной науки. В последние годы особое внимание он уделял релятивистской астрофизике и космологии. Именно в это время им написаны для нашего журнала статьи «Черные и белые дыры» (совместно с А. А. Старобинским и И. Д. Новиковым; 1976, № 1); «Современная космология» (1983, № 9); «Почему расширяется Вселенная!» (1984, № 2). Продолжает эту тематику и последняя его статья «Возможно ли образование Вселенной «из ничего!»». Послесловие к ней написал академик А. Д. Сахаров.



Я. Б. ЗЕЛЬДОВИЧ.
8.III 1914—2.XII 1987

ВСЕЛЕННОЙ «ИЗ НИЧЕГО»? ?

ВСЕЛЕННАЯ

Размеры окружающей нас Вселенной и, даже более скромно и более точно, размеры исследованной нами части Вселенной, далеко превышают человеческое воображение.

Древним людям трудно было представить себе, что Земля — это шар. Сегодня, когда самолеты без посадки пролетают многие тысячи километров, в век космических полетов, радио и телевидения (и в век межконтинентальных ракет с ядерным зарядом, к сожалению) Земля представляется маленьким хрупким шариком. Не удивляет нас и расстояние до Солнца — 150 млн км, так называемая астрономическая единица. Однако расстояние от Солнечной системы до центра Галактики (около $10 \text{ кпк} = 3 \cdot 10^{22} \text{ см}$) в два миллиарда раз больше расстояния от Земли до Солнца. В свою очередь, расстояние, на котором еще удается наблюдать яркие галактики, порядка нескольких тысяч мегапарсек — еще почти в миллион раз больше расстояния от Солнца до центра нашей Галактики. Если это наибольшее расстояние уменьшить в 10^{15} раз, т. е. примерно до 1 а. е., то Солнечная система уменьшится до масштаба пылинки размером меньше миллиметра...

Так же, как и линейный масштаб, т. е. размер Вселенной, невообразимо велико и количество вещества, с которым мы имеем дело. Масса Земли около $6 \cdot 10^{27} \text{ г}$. Масса Солнца около $2 \cdot 10^{33} \text{ г}$, т. е. в 300 тыс. раз больше. Галактика имеет массу порядка $2 \cdot 10^{11}$ масс Солнца. В наблюдаемой нами области Вселенной суммарная масса очень грубо, по порядку величины, оценивается как 10^{55} г , т. е. порядка 10^{22} масс Солнца.

Человек, живо и наглядно ощущающий всю огромность пространства и массы, открывающихся современным телескопам, не может остаться равнодушным. Соответствующие величины потрясают воображение настолько, что ощущаешь головокружение. Первым, естественным следствием этого потрясения является отрицание к теории расширяющейся Вселенной. Неужели

все великолепие и громадность Вселенной когда-то умещалось в шаре размером в несколько сантиметров? И еще более диким кажется вопрос: неужели все сущее, все наблюдаемое могло образоваться буквально «из ничего»?

В предлагаемой статье я сознательно ограничусь узкой постановкой вопроса. Обсудим только, не противоречит ли это предположение — образование Вселенной «из ничего» — каким-либо твердо установленным общим законам природы. Иногда ведь самый общий «закон сохранения» так и формулируют: «из ничего не может получиться ничего». Такую формулировку я с порога отвергаю — она наивна и ненаучна. Есть закон сохранения энергии. Есть, например, еще закон сохранения электрического заряда. Мы проверим выполнение этих четко физически сформулированных законов, а также обсудим существование и выполнение других подобных, более или менее твердо установленных физических законов.

Чтобы не превращать эту статью в полный курс космологии, мы не будем исследовать подробно строение Вселенной, закон ее расширения и полный сценарий ее эволюции.

Можно привести такую житейскую аналогию: представьте себе, что к Вам пришел изобретатель с каким-то чудесным двигателем или генератором электрического тока. Разумный шаг эксперта состоит в том, что выясняется вопрос, не принесли ли Вам проект «вечного двигателя» (perpetuum mobile). Давно уже действует обычай с порога отвергать без детального рассмотрения такие проекты. «Perpetuum mobile» нарушает закон сохранения энергии, значит, где-то в проекте содержится ошибка. Выяснение конкретной ошибки уже не интересно никому, кроме самого изобретателя.

Подойдем с такой же меркой к вопросу о возникновении Вселенной «из ничего». Противоречит ли это предположение законам физики? Возможно ли это, можно ли будет (если не сейчас, то в будущем) создать непротиворечивую, правильную теорию этого, поистине самого грандиозного явления?

СОХРАНЕНИЕ ЗАРЯДОВ

Начнем с закона сохранения электрического заряда. Ответ лежит на поверхности, он очевиден: нет никакого запрета на рождение электронейтральной Вселенной, т. е. Вселенной, содержащей равное число положительных и отрицательных зарядов. Есть все основания думать, что именно такова наша Вселенная. В противном случае возникли бы сильные электрические поля, которые нарушили бы ее (Вселенной) однородность и изотропию. Итак, Вселенная, скорее всего, строго нейтральна, а значит, вполне могла родиться «из ничего» (без противоречия закону сохранения электрического заряда).

Обратимся к закону сохранения барионного заряда. Напомним, что во всех известных процессах, происходящих в лаборатории, суммарное число протонов и нейтронов не меняется. В частности, радиоактивность ядер проявляется либо как перегруппировка протонов и нейтронов, либо как превращение протонов в нейтроны и обратно.

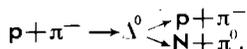
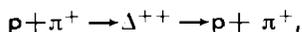
Так, при испускании γ -лучей (т. е. фотонов) перегруппировка происходит при переходе данного ядра из энергетически возбужденного состояния в основное или в состояние с меньшей энергией возбуждения. При α -распаде ядра часть протонов и нейтронов материнского ядра остаются в дочернем ядре, а другие вылетают в виде ядра гелия (два протона и два нейтрона). В β -распаде быстрый электрон (β -частица) и нейтрино рождаются при превращении нейтрона в протон. Есть и обратный процесс испускания позитрона ($p = n + e^+ + \nu_e$) при превращении протона в нейтрон, но такой процесс идет лишь в том случае, если протон находится в ядре и после превращения нейтрон занимает более низкое энергетическое состояние.

Свободный протон легче свободного нейтрона, поэтому свободный нейтрон β -радиоактивен; свободный протон стабилен, нестабильным он бывает только внутри некоторых ядер.

Итак, к концу 40-х годов закон сохранения барионов формулировался просто: сумма числа протонов и нейтронов не меняется. Затем последовало открытие так называемых странных частиц. Сперва они были открыты в космических лучах, а позже очень подробно исследованы в лаборатории на ускорителях. Они нестабильны, образуются из протонов или нейтронов и при распаде снова дают протоны или нейтроны.

Так, например: $p + N = \Lambda + K^+ + N$ (Λ — странный гиперон, K — странный мезон). Странные эти частицы были названы потому, что при сравнительно большой вероятности образования за очень короткое время столкновения они имеют довольно большое время жизни, 10^{-8} — 10^{-10} с.

В начале 50-х годов были открыты так называемые барионные резонансы. Рассеяние π -мезонов на протонах и нейтронах зависит от энергии в соответствии с тем, что эти две частицы сперва сливаются в одну, которая потом снова распадается. Так, например:



После этих открытий закон сохранения барионов усложнился: сохраняется сумма $B = p + N + \Lambda + \Sigma + \dots + \Delta^{++} + \Delta^+ + \Delta^0 + \Delta^- + \dots = \text{const}$, или, иными словами, сохраняется общее количество барионов¹.

В 1955 г. были, наконец, экспериментально открыты антипротоны. Теоретически существование античастиц — антибарионов — было предсказано вскоре после предсказания и обнаружения антиэлектронов, т. е. позитронов. Однако энергия, нужная для рождения пары $p + \bar{p}$, в 2000 раз больше, чем для пары $e^- + e^+$, поэтому между двумя открытиями возник интервал в четверть века. В это время у некоторых ученых нервы не выдерживали и высказывались сомнения относительно существования антибарионов; теперь для этих сомнений нет места!

Итак, окончательная форма закона сохранения барионного заряда: $B = p + N + \Lambda + \dots + \Delta^{++} + \dots - \bar{p} - \bar{N} - \Lambda - \dots - \bar{\Delta}^{++} - \dots = \text{const}$, т. е. сохраняется разность числа барионов и антибарионов.

За последние 20 лет показано, что барионы состоят из 3 кварков. Антибарионы состоят из антикварков. Соответственно, барионный заряд и закон его сохранения на языке кварков формулируется так:

$$3B = \sum q_i - \sum \bar{q}_k = \text{const},$$

где q_i — число кварков i -го сорта; \bar{q}_k — число антикварков k -го сорта; сумма берется по всем сортам.

¹Здесь Λ , Σ , ... — странные барионы; многоточие заменяет перечисление всех странных барионов — от Δ^{++} до Δ^- , самых легких барионных резонансов, а повторное многоточие заменяет перечисление всех резонансов.

Закон сохранения барионного заряда необычайно важен как для Вселенной в целом, так и для непосредственно окружающего нас современного мира. С учетом этого закона данное количество барионов можно использовать для производства энергии, только переводя их в наимизшее энергетическое состояние, а именно в ядра железа². Отсюда следует, что энергию можно получить, либо превращая уран в ядра середины таблицы Менделеева, либо превращая водород в железо.

Первый процесс успешно осуществляется на атомных электростанциях. Второй происходит в звездах. В несколько измененной форме (начиная не с начала и не доходя до конца) второй процесс реализуется при слиянии ядер дейтерия и трития с образованием ${}^4\text{He}$ и нейтрона и в будущем станет источником термоядерной энергии на Земле. Но общим для обоих процессов является использование малой доли — менее 1% — полного запаса энергии горючего.

Полный запас энергии, следуя закону эквивалентности Эйнштейна $E=Mc^2$, равен $9 \cdot 10^{13}$ Дж на 1 г вещества.

Отмена закона сохранения барионного заряда означала бы принципиальную возможность прямого распада протона $p = e^+ + \text{энергия}$ или $p + e^- = \text{энергия}$.

Итак, протон — свободный или связанный в ядре — мог бы быть нестабильным и распадаться с выделением огромной энергии, если бы не было закона сохранения барионного заряда. Огромное современное значение этого закона сохранения очевидно.

То же относится и к рождению Вселенной «из ничего».

Барионный заряд «ничего», очевидно, равен нулю. Если барионный заряд сохраняется, то вся Вселенная, родившаяся «из ничего», должна иметь нулевой барионный заряд, т. е. равное количество вещества и антивещества. Так и думали те, кто первыми в начале 60-х годов высказывали идею рождения Вселенной. Они полагали, что рождается Вселенная с равным количеством барионов и антибарионов, т. е. с равным количеством вещества и антивещества. Но если вещество и антивещество в равном количестве равномерно размещены в пространстве (т. е. их плотность одинакова в каждой точке), то при охлаждении они полностью аннигилируют. К тому же нет механизма, который мог бы их разделить;

тяготение стягивает вещество и антивещество одинаково.

Рождение Вселенной такой, какой мы ее наблюдаем, возможно лишь в том случае, если закон сохранения барионного заряда может быть нарушен³. Не повторяя увлекательную, но сложную трактовку вопроса, резюмируем посвященные ему статьи.

Электрический заряд обязан сохраняться постольку, поскольку справедливы уравнения Максвелла, не допускающие несохранения этого заряда. Иными словами, связь электрического заряда с электромагнитным полем автоматически приводит к сохранению электрического заряда.

Однако не существует поля, которое играло бы подобную роль в случае барионного заряда. Убежденность в сохранении барионного заряда основывалась только на эксперименте.

Каждый эксперимент по необходимости имеет ограниченную точность. Абсолютизируя результаты опыта, физики до 60-х годов молчаливо предполагали, что в мире элементарных частиц не должно быть слишком больших количественных различий.

Когда нейтрон распадается, превращаясь в протон (β -распад), среднее время распада около 1000 с. Казалось, что природа (с маленькой буквы, т. е. не тот уважаемый журнал, где будет помещена данная статья) должна выбирать между двумя крайностями: либо сравнительно быстрый распад, по аналогии с β -распадом нейтрона, либо совсем никакого распада, как в случае абсолютно стабильного электрона. Третий — промежуточный — случай медленного распада до 60-х годов казался неэстетичным и крайне маловероятным.

Вкусы изменились, увеличилась храбрость теоретиков, выступающих в настоящее время под лозунгом: все, что не запрещено, существует, и в частности протон может распадаться.

Однако положение и сейчас остается драматическим: усилиями экспериментаторов нижняя граница времени жизни протона доведена до 10^{32} лет, но распад все еще не обнаружен. Экспериментальная ситуация подробно описана В. С. Березинским⁴.

В его статье не хватает только одного

² Имеется в виду, что в ядрах железа энергия связи нуклонов максимальна. (Прим. ред.)

³ О возможном нарушении этого закона и экспериментальном поиске нарушения подробнее см.: Зельдович Я. Б., Долгов А. Д. Вещество и антивещество во Вселенной // Природа. 1982. № 8. С. 33—45; Березинский В. С. Объединенные калибровочные теории и нестабильный протон // Природа. 1984. № 11. С. 24—38.

⁴ См. сноску 3. (Прим. ред.)

соображения: сегодня убежденность в несохранении барионного заряда основывается в значительной степени на том, что Вселенная содержит вещество и не содержит антивещества. При этом приходится привлекать еще различие свойств частиц и античастиц, а также нарушение термодинамического равновесия, возникающее вследствие расширения Вселенной. (Впервые это отмечено в работе А. Д. Сахарова в 1967 г.⁵) Из оценок в таких теориях с несохранением барионного заряда получается, что число протонов и нейтронов в миллиард раз меньше числа фотонов или нейтрино. Главное же состоит в том, что сейчас ясно понято различие между электрическим и барионным зарядами. Кроме того, физическая общность в целом (или, во всяком случае, физики-теоретики) избавились от страха перед большими числами. Если время жизни протона 10^{10} лет (что, по-видимому, на очень многие годы останется недоступным для проверки в прямых экспериментах), то понадобится предположение о процессах в горячей Вселенной, идущих при температуре порядка 10^{17} ГэВ (10^{30} К), столь же недоступной для ускорителей⁶. Пока не видно, какие косвенные опыты могли бы дать ответ.

Возникла ситуация, которую высоко ценят астрономы: именно астрономические данные указывают путь физикам, как это было со скоростью света и законом тяготения Ньютона.

Существование Вселенной, заполненной веществом, является пока единственным, но очень веским доказательством несохранения барионного заряда!

СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ

Обратимся к закону сохранения энергии для Вселенной как целого. Напомним, что энергия покоящейся частицы эквивалентна ее массе, $E=Mc^2$. Сохранение энергии покоя — это есть и сохранение массы.

Немного истории: Дж. Дальтон и У. Праут обратили внимание на то, что многие атомные веса выражаются целыми числами. Отсюда, естественно, последовала

гипотеза, что все ядра сложены из одинаковых единичных кирпичиков. Однако тот факт, что заряд ядра не пропорционален его весу, привел к выводу, что есть две модификации таких кирпичиков — протоны и нейтроны, отличающиеся зарядом при почти одинаковой массе. Здесь мы несколько отклонились от исторической последовательности, опустив мрачный период, когда ядра строили из протонов и электронов. Грубо говоря, электроны (в силу соотношения неопределенности) не влезают, не помещаются в ядре. Первые правильные идеи о существовании нейтронов высказывались в виде гипотезы еще в начале 20-х годов, научное доказательство существования нейтронов пришлось на 30-е годы, а в 1945 г. были Хиросима и Нагасаки. В очень кратком изложении мы опустили открытие изотопов и весьма точное определение атомных весов отдельных изотопов.

В итоге, с одной стороны, подтвердилась теория единообразного строения ядер из протонов и нейтронов, с другой стороны, первый аргумент в ее пользу — целые атомные веса изотопов — оказался неточным. Такова диалектика развития науки. Но теперь неточность целых весов изотопов приобрела другой, тоже глубокий смысл.

Из того факта, что вес одного атома гелия на 0,6 % меньше веса четырех атомов водорода, астрономы сделали вывод, что водород превращается в гелий в недрах звезд и при этом 0,6 % массы ($0,006 \cdot c^2 = 5,4 \cdot 10^{18}$ эрг/г) превращается в энергию излучения звезд. Особенно стоит подчеркнуть, что вывод этот был сделан задолго до того, как развитие ядерной физики показало конкретные пути такого превращения⁷.

Этот экскурс в ядерную физику нужен нам был для того, чтобы сказать, что и энергия тяготения, выделяясь в том или ином виде, также приводит к уменьшению массы целого по сравнению с массой совокупности частей. Масса нейтронной звезды на 10—15 % меньше суммы масс составляющих ее частиц. Именно эта разность масс является источником энергии взрыва сверхновой, который сопровождает образование нейтронной звезды, даже несмотря на то, что очень большую долю этой энергии уносят нейтрино.

⁵ Сахаров А. Д. Нарушение CP-инвариантности, C-асимметрия и барионная асимметрия Вселенной // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5. С. 32—35. (Прим. ред.)

⁶ Время жизни протона τ_p обратно пропорционально четвертой степени массы тяжелого бозона M_x^4 в теории «Великого объединения». Поэтому если при $M_x \sim 10^{15}$ ГэВ $\tau_p \sim 10^{31-32}$ лет, то при $M_x \sim 10^{17}$ ГэВ $\tau_p \sim 10^{39-40}$ лет. (Прим. ред.)

⁷ Наверное, не случайно В. Гейзенберг — один из крупнейших физиков нашего века — озаглавил свою автобиографию «Часть и Целое» (Der Teil und das Ganze). Появление новых свойств у целого при сложении частей — один из глубочайших вопросов науки.

Есть ли предел у той доли массы, которую тяготение превращает в энергию? Еще в 1962 г. я показал, что такого предела нет. Тело большой массы — больше 2—3 масс Солнца — достигает большой плотности естественно, в ходе эволюции звезды. Тело малой массы может достичь большей плотности, только преодолев чрезвычайно высокий барьер. Реально, железная гиря массой 1 кг устойчива — и все же любопытно, что, затратив предварительно огромную энергию сжатия E , можно получить при последующем сжатии энергию $E + 999 \text{ г} \cdot \text{с}^2$, т. е. превратить 999 г массы в энергию. Масса гири при этом уменьшится до 1 г при невообразимо малом ее размере порядка 10^{-28} см. С этим замечанием у меня связаны очень грустные воспоминания: эти соображения были последними, которыми я успел поделиться со своим учителем Л. Д. Ландау за несколько дней до постигшей его катастрофы...

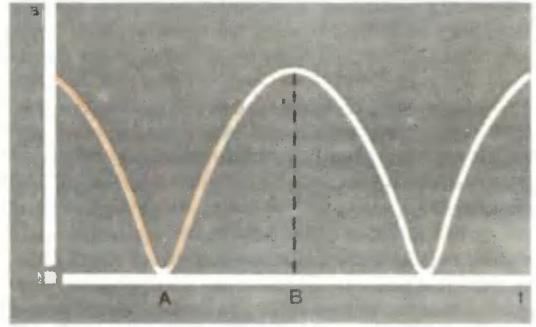
Еще раньше в замечательной книге Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица «Теория поля» проводилось точное и строго формальное доказательство того, что масса (а значит, и энергия) замкнутого мира тождественно равна нулю. Предыдущие рассуждения позволяют понять это утверждение наглядно. Отрицательная гравитационная энергия взаимодействия частей точно компенсирует положительную энергию суммы всех частей, всего вещества. Общая теория относительности, связывающая тяготение и геометрию, доказывает, что точная компенсация происходит тогда и именно тогда, когда становится замкнутым пространство, в котором находится вещество.

Итак, общая теория относительности устраняет последнее препятствие на пути рождения Вселенной «из ничего». Энергия «ничего» равна нулю. Но и энергия замкнутой Вселенной равна нулю. Значит, закон сохранения энергии не противоречит образованию «из ничего» замкнутой Вселенной (но именно геометрически замкнутой, а не открытой бесконечной Вселенной).

АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ. НУЖНА ЛИ ПУЛЬСИРУЮЩАЯ ВСЕЛЕННАЯ?

Астрофизические следствия замкнутости Вселенной подробно рассмотрены в моей предыдущей статье в «Природе»⁸.

⁸ Зельдович Я. Б. Современная космология // Природа. 1983. № 9. С. 11—24. (Прим. ред.)



Зависимость радиуса замкнутой Вселенной a от времени t в теории циклической эволюции. В точке А [радиус минимален] происходит переход от сжатия к расширению, в точке В [радиус максимален] расширение сменяется сжатием.

Первое следствие состоит в том, что общая плотность всех видов материи должна быть достаточно велика; таким образом, является дополнительный аргумент в пользу каких-то форм «скрытой массы», поскольку плотность обычных хорошо известных форм массы (протонов, ядер, электронов, фотонов) недостаточна.

Второй вывод заключается в том, что наблюдаемое в настоящее время расширение Вселенной должно в будущем смениться сжатием — рано или поздно, притом, вероятно, скорее очень поздно, даже по сравнению с сегодняшним возрастом Вселенной⁹.

Идея замкнутого мира, сперва расширяющегося, а потом сжимающегося, наталкивала многих ученых на гипотезу пульсирующей вечной Вселенной. Дело оставалось за малым — в переносном и буквальном смысле слова: понятно, как происходит остановка и смена расширения сжатием при **большом** (максимальном) радиусе Вселенной, осталось понять, как происходит переход от сжатия к расширению при **малом** (минимальном) радиусе. Популярность идеи вечной (в прошлом!) Вселенной возросла, когда было осознано, что при учете поляризации вакуума кривизной пространства (сильным гравитационным полем) или за счет гравитационного поля, источником которого является скалярное поле с неравной нулю массой, действительно

⁹ Отметим, впрочем, вариант, указанный в моей статье в «Природе» (1984. № 2): возможно, космологическая постоянная не равна нулю и имеет такой знак, что заменяет часть массы. Тогда расширение продолжается неограниченно, мир не «замкнут» по оси времени (есть рождение, нет общего коллапса), несмотря на его пространственную замкнутость.

существуют формально правильные строгие решения¹⁰ типа

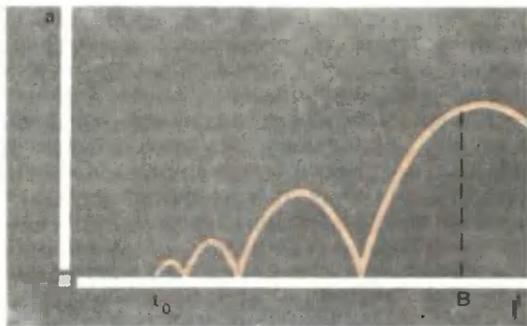
$$a(t) = \frac{1}{H_0} \operatorname{ch}(H_0 t) = (e^{-H_0 t} + e^{+H_0 t})/2H_0$$

с минимальным радиусом $1/H_0$ порядка 10^{-28} см. Эти решения формально существуют и в классической теории. Какие аргументы можно выдвинуть против этих решений?

Лично мне наиболее существенным возражением представляется сама возможность рождения Вселенной «из ничего». Идея вечной Вселенной казалась неизбежной (можно было спорить только о способе, в частности классическом или квантовом, перехода от сжатия к расширению), до тех пор пока казалось, что энергия и барионный заряд — вечные, сохраняющиеся и притом не равные нулю величины. От гипноза этих идей мы освободились. Если гипотеза вечной Вселенной не обязательна, то можно обратиться к деталям, касающимся теории циклической эволюции.

Еще в 30-е годы был выдвинут серьезный термодинамический аргумент против вечной циклически повторяющейся Вселенной. В ходе каждого цикла энтропия растет¹¹. Это приводит к тому, что амплитуда каждого следующего цикла больше амплитуды предыдущего. Обращая этот аргумент в прошлое, можно сделать вывод, что конечно общее число циклов, начиная с первого цикла с нулевой энтропией. Но в таком случае цель не достигнута — циклически эволюционирующая Вселенная все равно оказывается существующей конечное время, т. е. нуждается в «начале».

В самое последнее время вместе с В. А. Белинским, Л. П. Грищуком и И. М. Халатниковым мы анализировали расширение и сжатие Вселенной, заполненной массивным когерентным скалярным полем¹². Аналогичные расчеты проводились и ранее, но, может быть, с менее четкими выводами. Не вдаваясь в подробности, привожу результаты. В зависимости от того, является ли скалярное поле φ почти статич-

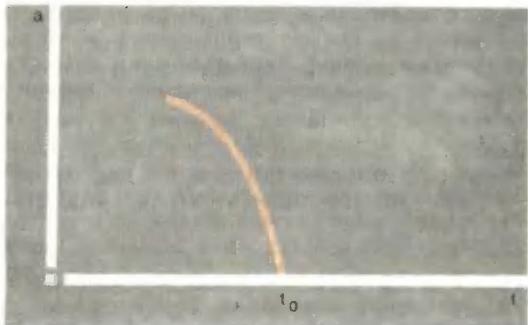


Зависимость радиуса Вселенной a от времени t в теории циклической эволюции при учете роста энтропии. Современное состояние Вселенной описывается точкой B , t_0 — необходимов «начало».

ным ($m\varphi^2 > \hbar\dot{\varphi}^2$) или быстроменяющимся и почти безмассовым ($\hbar^2\dot{\varphi}^2 \gg m^2\varphi^2$), меняется соотношение между давлением и плотностью энергии¹³. В первом случае $p = -\varepsilon$, имеет место гравитационное отталкивание, во втором случае, когда давление максимально велико, $p = +\varepsilon$ — гравитационное притяжение.

В принципе, и при сжатии, и при расширении могут иметь место оба случая. Однако при сжатии устойчивым является второй режим, $p = +\varepsilon$ — давление поля сопротивляется сжатию. В таком случае классическое решение приводит к сингулярности, радиус Вселенной обращается в нуль, кривая сжатия утыкается в ось абсцисс. Решения с плавным переходом от сжатия к расширению оказываются исключительными,

¹³ Здесь $\hbar \approx 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка, точка — производная по времени, $\dot{\varphi} = d\varphi/dt$.



Сингулярное сжатие Вселенной при положительном давлении $p = +\varepsilon$. Закон сжатия одинаков для замкнутого, плоского и открытого мира: $a \sim (t_0 - t)^{1/3}$ (следует иметь в виду, что $t \leq t_0$).

¹⁰ Решения такого типа называются инфляционными. (Прим. ред.)

¹¹ Существует точка зрения, согласно которой при смене расширения сжатием одновременно рост энтропии сменяется ее уменьшением. При этом еще упоминают мистическое изменение направления «стрелы времени». Влияние общего медленного расширения или сжатия на конкретные процессы, происходящие с частицами или в звездах, представляется совершенно не физическим, никак не обоснованным.

¹² Белинский В. А., Грищук Л. П., Халатников И. М., Зельдович Я. Б. // ЖЭТФ. 1985. Т. 89. С. 346—355. (Прим. ред.)

маловероятными. Но дело даже не в детальном исследовании кривых. Более важен анализ тех предположений, которые приходится делать в ходе решения задачи.

Мы рассматриваем строго однородное скалярное поле и строго однородную и изотропную Вселенную. Однородность означает одинаковость, эквивалентность всех пространственных точек в один и тот же фиксированный момент времени. Изотропия означает эквивалентность всех пространственных направлений.

В задаче о расширении эти предположения разумны: в ходе расширения быстрее всего расширяется область, в которой скалярное поле максимально. При этом классическое скалярное поле становится практически постоянным, а все другие поля (в частности, нарушающее изотропию электромагнитное поле) быстро убывают.

Не останавливаясь на деталях, автор такого сценария А. Д. Линде считает расширение «естественным» и приводящим к наблюдаемой картине Вселенной¹⁴.

Однако в ходе сжатия можно ожидать огромной неустойчивости, нарушения однородности и изотропии. Поэтому вариант прохождения Вселенной некоего минимального радиуса становится еще менее вероятным при учете возмущений. По существу аргумент этот близок к соображениям о возрастании энтропии. Итак, если это и не теорема, то все же мы имеем достаточно побудительных причин для размышлений о спонтанном рождении Вселенной, устраняющем идею циклической Вселенной.

О СПОНТАННОМ РОЖДЕНИИ

Знаменитый до революции юморист А. Аверченко начинал свою «Всемирную историю» словами: «История мидян темна и непонятна. Ученые делят ее, тем не менее, на три периода: первый, о котором ровно ничего не известно. Второй, который последовал за первым. И, наконец, третий период, о котором известно столько же, сколько и о первых двух».

Боюсь, что последняя часть моей статьи о ранней истории Вселенной будет похожа на древнюю историю человечества в изложении А. Аверченко.

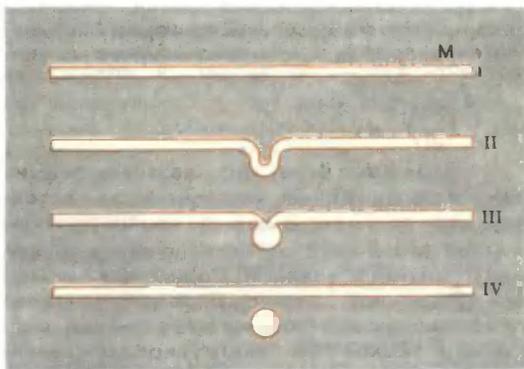
До сих пор мы выясняли только прин-

ципальную возможность рождения Вселенной. Что можно сказать о конкретном механизме этого явления? Придется ограничиться постановкой вопросов.

Прежде всего, словом «ничего», «из ничего» можно придавать разные трактовки. Можно представить себе пустое плоское пространство Минковского — само по себе такое решение уравнений ОТО существует и оно вечное. Рождение можно было бы представить себе наподобие серии картинок (см. рис). Надо только помнить, что в них речь идет об одномерной аналогии. Изображать рождение трехмерного замкнутого пространства (из трехмерного сечения) пространства Минковского я не умею. Время t есть параметр, отличающий одну часть картинки (I—IV) от другой. После отделения замкнутой области остающееся пространство снова плоское. Но ведь оно плоское только в классическом пределе. В действительности в квантовой теории метрика пространства тоже флуктуирует подобно тому, как осциллятор имеет определенную среднюю кинетическую и такую же потенциальную энергию $\overline{mv^2}/2 = \bar{U} \neq 0$ в нижнем энергетическом состоянии.

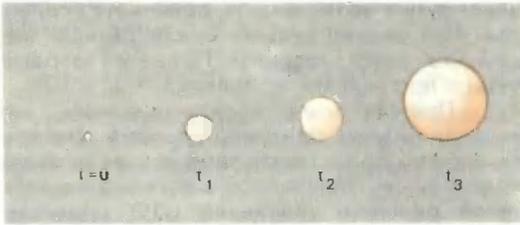
Таким образом, на приведенном рисунке речь идет о флуктуации — но о флуктуации настолько большой, что меняется сама топология, пространство раздваивается. Рассчитывать такие флуктуации сегодня мы не умеем. Напомню, что сами свойства вакуума (его среднюю энергию, т. е. космологическую постоянную) мы находим только из опыта.

Второй популярный вариант состоит в рассмотрении только одного замкнутого мира (без подстилающего или рождающе-



Рождение замкнутой Вселенной (шарик на последней части IV рис.) из плоского мира Минковского [M на стадии I]. На промежуточных стадиях, вдали от флуктуации, приводящей к рождению (отщеплению) шарика, метрика остается плоской («минковской»).

¹⁴ Подробнее об инфляционной стадии и работах А. Д. Линде см., напр.: Новиков И. Д. Как взорвалась Вселенная // Природа, 1988. № 1. С. 82—91. (Прим. ред.)



Спонтанное рождение мира «из ничего». До момента $t=0$ метрика (и, в частности, время) не существовала.

го его пространства Минковского). Тогда до «начала» не было буквально ничего, никакой метрики, в частности не было и времени.

Классические уравнения движения не имеют решения нужного типа. Значит, следует искать квантовомеханические решения. Задача подобна задаче об α -распаде ядра урана или радия. По классической ньютоновской механике α -частица не может пройти весь путь от ядра до бесконечности. Квантовомеханическое решение для α -частицы описывает обе области: «подбарьерную», в которой кинетическая энергия отрицательна (т. е. классическое движение невозможно), и далекую область, в которой существуют оба решения — и классическое, и квантовомеханическое, и они мало отличаются друг от друга.

Подобно теории α -распада строится и квантовомеханическая теория рождения Вселенной. Естественно, задачу сейчас решают лишь в самом грубом приближении, рассматривая всего две величины — радиус замкнутой Вселенной $a(t)$ и скалярное поле φ . В квантовой теории вводятся соответствующие импульсы P_a и P_φ ; строится волновая функция $\Psi(a, \varphi)$. Импульс $P_a = M_{\text{эф}} \dot{a} = f(a) \dot{a}$ пропорционален скорости расширения, и в классическом пределе можно найти $\dot{a} = \frac{da}{dt}$, а значит, и время $t = \int \left(\frac{da}{dt}\right)^{-1} da$.

Заметим также, что квантовая теория даже в сегодняшнем неразвитом ее состоянии дает аргумент в пользу замкнутой Вселенной (в отличие от бесконечной плоской или открытой Вселенной). Только для замкнутой Вселенной можно определить некое небесконечное значение эффективной массы $M_{\text{эф}}$. Какой бы формулировкой квантовой механики мы ни пользовались (волновая функция, или «интегрирование по путям», или любой иной), вероятность спонтанного рождения бесконечной Вселенной тождественно равна нулю¹⁵.

В целом, однако, интерпретация полученных результатов остается не вполне ясной. Квантовомеханические формулы указывают на возможность рождения Вселенной. Представляют интерес результаты в части сравнения вероятности рождения Вселенной с тем или иным начальным значением скалярного поля φ . По-видимому, более вероятны большие значения φ , обеспечивающие достаточно большую инфляцию¹⁶ на классической фазе. Однако нет интерпретации абсолютного значения волновой функции и вероятности. Есть и более глубокие основания для скепсиса по отношению к конкретным теориям рождения Вселенной «из ничего».

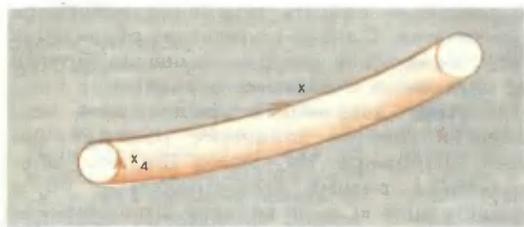
Дело в том, что развитие фундаментальной физики еще явно не закончено! Более того, именно сейчас оживают все более геометризованные теории элементарных частиц. С одной стороны, это теории, объединяющие бозоны и фермионы, объединяющие внутренние переменные частиц и полей с координатами и преобразованиями Лоренца. В перспективе эти теории должны дать и прямое доказательство существования скалярных полей, а также определить их свойства. Рано или поздно возникнет и теория масс частиц, и физики скажут нам, что такое скрытая масса, которую открыли астрономы. Еще более близкое отношение к вопросу о рождении Вселенной имеют гипотезы о пространстве-времени высокой размерности. Еще в конце 20-х годов была сформулирована идея, согласно которой есть одна «лишняя» координата X_4 , свернутая в кольцо длиной $l = 2\pi R$, где R — радиус кольца¹⁷. Схематически ситуация изображена на с. 25. Три пространственных координаты X_1, X_2, X_3 заменены одной X вдоль трубки.

В квантовой теории движение вдоль X_4 , или локализация частицы по координате X_4 , требуют гигантских энергий. Поэтому во всех опытах вплоть до самых больших энергий, 10^{17} или даже 10^{19} ГэВ (срав-

¹⁵ А. А. Старобинский и я рассматривали плоскую Вселенную, конечную, как тор, за счет отождествления противоположных стенок куба. Однако при этом теряется точная изотропия пространства: направления по диагоналям куба не эквивалентны направлениям, перпендикулярным сторонам или ребром. Однако формального опровержения такой гипотезы еще нет.

¹⁶ См. сноску 13. (Прим. ред.)

¹⁷ Такое замыкание, ограничивающее интервал изменения координаты X_4 малой величиной l ($X_4 + l = X_4$), математики называют компактификацией. Мы назовем эту координату X_4 , имея в виду, что время обычно обозначают X_0 , а пространственные координаты — X_1, X_2, X_3 . В итоге пространство — время оказывается пятимерным. Такую теорию предложили физики Т. Калуца и О. Клейн еще в 20-х годах.



Схематическое изображение пространства Калуцы-Клейна. Показано сечение одного заданного значения времени $X_0 = \text{const}$, три пространственные координаты X_1, X_2, X_3 заменены одной — X . В итоге получилась двумерная поверхность трубки с координатами X, X_4 на поверхности.

ните с 10^3 ГэВ на ускорителях 80-х годов), нет движения по особой координате X_4 (или от X_4 до X_0). Теоретики говорят, что в низкоэнергетическом пределе пространство-время остается эффективно четырехмерным. Если к тому же ограничиваться размерами, малыми по сравнению с астрономическими, то пространство и время описываются старой доброй метрикой Минковского.

И тем не менее, введение в рассмотрение дополнительных измерений — X_4 в простейшем примере — не проходит бесследно. Можно рассмотреть малые изменения метрики, при которых координатная ось дополнительного измерения X_4 предполагается не перпендикулярной координатной сетке основных (макроскопических) измерений. Оказывается, что эффективно такое предположение эквивалентно появлению электромагнитного поля в обычном пространстве.

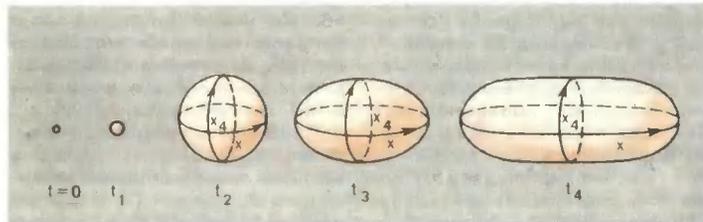
Увеличение числа компактифицированных («свернутых») переменных с 1 до 6 или 7 (переход к 10-мерному исходному пространству-времени) дает возможность ввести не только электромагнитное поле, но и те поля (W^\pm, Z^0), которые описыва-

ют слабое взаимодействие, и поля (глюонные), которые описывают сильное взаимодействие. К тому же, теория суперсимметрии, объединяющая бозонные поля (такие, в частности, как электромагнитное) и фермионные поля (такие, как электрон-позитронное), тоже «геометрична», она вводит новые — удивительные, но геометрические переменные. Мечта А. Эйнштейна о геометризации всей физики сегодня представляется гораздо более реальной, чем это казалось всего 5 или 10 лет назад.

Но почему я пишу обо всем этом в космологической статье?

Первая (не самая главная) причина состоит в том, что мы, наконец, присутствуем при рождении теорий, для которых скалярные поля являются необходимым следствием. О значении скалярных полей уже говорилось — без них не было бы инфляционной Вселенной. Поляризация вакуума как источник энергии и отрицательного давления для инфляции (раздувания) Вселенной, есть тоже разновидность скалярного поля.

Однако более существен и более специфичен второй аспект влияния теорий с «лишними» измерениями на космологию. В момент рождения в замкнутом мире пространственные переменные X_1, X_2, X_3 меняются в очень узких пределах порядка $0 < 2\ln a(t)$, где $a(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow 0$. Естественно предположить в таком случае, что в действительности Вселенная рождается симметричной по всем пространственным переменным (размерность $D = 5$ или выше). Разделение геометрических переменных на «внутренние», т. е. компактифицированные, $D = 4$ переменные и на обычные геометрические три переменные и время происходит лишь позже. Это разделение представляет собой типичное спонтанное (самопроизвольное) нарушение симметрии! Первоначально мы имеем, например, 9-мерный «шар», все направления в котором эквивалентны,



Рожение симметричного мира с координатами X_1 и X_4, X_2, X_3 при «замораживании» X_4 (в момент t_2). Этот рисунок создает у читателя неправильное впечатление о неоднородности пространства [большая кривизна на концах эллипса]. Однако нужно помнить, что в многомерной геометрии существуют пространства (так называемые решения Бланки), однородные, но с разной кривизной по разным направлениям. К сожалению, я не умею изображать их на плоскости рисунка.

а позже 6 измерений застывают с $a_1 \dots a_6$ (их характерные размеры порядка 10^{-33} см)^{1а}, а три измерения растут экспоненциально и, в конце концов, становятся больше $5000 \text{ Мпк} = 10^{28}$ см, т. е. больше всей наблюдаемой области Вселенной.

Намерения у нас остались те же, что

^{1а} Размер 10^{-33} см соответствует энергии 10^{19} ГэВ, при которой квантовые свойства гравитации становятся существенными. (Прим. ред.)

ПОСЛЕСЛОВИЕ

2 декабря 1987 г. скоропостижно скончался выдающийся советский физик академик Я. Б. Зельдович. Его 56-летняя необыкновенно плодотворная научная деятельность охватывает такие разнородные области, как химическая физика, теория элементарных частиц, работы по реактивному, ядерному и термоядерному оружию и — в последние 25 лет — по астрофизике и космологии. Очень велики заслуги Зельдовича как учителя молодых ученых, автора монографий, популярных статей и обзоров.

Об одном из них¹ особенно уместно здесь вспомнить, так как его тема недавно обсуждалась на страницах журнала². Речь идет о так называемой «релятивистской теории гравитации» (РТГ), авторы которой пытаются противопоставить ее общей теории относительности Эйнштейна (ОТО). Зельдович и Гришук убедительно показали, что фактически речь идет об эквивалентной формулировке уравнений теории Эйнштейна, а не о новой теории. В РТГ вводится, наряду с искривленным пространством Римана, вспомогательное плоское пространство. Однако неправомерно интерпретировать величины, определенные в терминах этого про-

странства, в качестве наблюдаемых. Неправильно утверждение авторов РТГ о неоднозначности выводов ОТО. Необоснован и отказ от рассмотрения иных, чем у мира Минковского, топологических структур пространства-времени, в частности от рассмотрения космологической модели замкнутой Вселенной. Именно эта модель представляется наиболее правдоподобной. Она обсуждается в данной статье Зельдовича.

Работы Зельдовича в значительной степени способствовали возникновению нового научного направления, лежащего на стыке теории элементарных частиц, астрофизики и космологии. Вся Вселенная при этом выступает в качестве гигантской лаборатории (или полигона) для проверки следствий современных теорий и гипотез о природе элементарных частиц и пространства, в том числе в той области энергий и масштабов, которые пока недоступны ускорителям.

Зельдович ставит задачу построения полной космологической теории ранней Вселенной, описывающей самую первую, «квантово-гравитационную» стадию расширяющейся Вселенной и отвечающей на вопрос — как возникли качественные и количественные особенности строения Вселенной, проявляющиеся на более поздней стадии, почему Вселенная именно такова, какой мы ее наблюдаем. Полная космологическая теория глубочайшим образом связана с построением единой теории всех существующих взаимодействий элементарных частиц, т. е. элект-

и раньше, — описать рождение Вселенной «из ничего». Однако конкретная реализация этого намерения становится совсем другой по сравнению с первыми вариантами.

Итак, дальнейшее продвижение космологии требует коренного развития физики микромира. Не только «Великое объединение» разных взаимодействий, но и предстоящее «Самое великое объединение» микромира и космологии — такова наиболее фундаментальная и амбициозная программа конца XX века.

ромагнитных, слабых, сильных и гравитационных взаимодействий; как предполагается, такая теория должна включать глубокий пересмотр представлений о структуре пространства на так называемом квантово-гравитационном масштабе (это масштаб порядка 10^{-33} см в пространстве и порядка 10^{-44} с для возраста Вселенной), для которого необходимо рассматривать квантово-гравитационные эффекты. Пока мы лишь приближаемся к пониманию всех этих самых фундаментальных вопросов о Природе. Есть много идей, много надежд, проделана и делается колоссальная работа, но, вероятно, еще гораздо больший путь впереди, может быть, бесконечный...

Последняя статья Зельдовича, написанная, как всегда, очень живо, ясно и доходчиво, вводит читателя в эту волнующую, головокружительную проблематику.

Аргументация Зельдовича в статье сильна и убедительна. Все же само состояние нашего знания сегодня таково, что некоторые утверждения являются гипотетическими, и не исключено, что в действительности все обстоит иначе. Зельдович неоднократно повторяет это. Позволю себе со своей стороны добавить еще несколько замечаний в том же направлении.

В статье излагаются представления, согласно которым наблюдаемая барионная асимметрия Вселенной (и «скрытая» лептонная асимметрия) возникли на ранней (неравновесной) стадии расширения Вселенной вследствие различия свойств ча-

¹ Зельдович Я. Б., Гришук Л. П. Тяготение, ОТО и альтернативные теории // Усп. физ. наук. 1986. Т. 149. Вып. 4. С. 695—707.

² Логунов А. А. Релятивистская теория гравитации // Природа. 1987. № 1. С. 36—47.

стиц и античастиц и отсутствия в природе точного закона сохранения числа барионов и лептонов. При этом как бы подразумевается, что барионная асимметрия имеет одинаковый знак не только в наблюдаемой нами области Вселенной, а вообще во всей Вселенной. Но на самом деле кажется наиболее правдоподобным, что различие свойств частиц и античастиц само носит вторичный характер и возникает из-за неустойчивости в системе взаимодействующих квантовых полей на ранней стадии эволюции (расширения) Вселенной. Поэтому в разных областях Вселенной, пространственно удаленных друг от друга и, вероятно, очень больших (миллиарды световых лет), различие свойств частиц и античастиц и, соответственно, барионная асимметрия могут иметь разный знак. Предполагается, что в наблюдаемой нами части Вселенной есть только вещество, но где-то «много дальше» лежат антибарионные области (состоящие из антивещества, в частности из антипротонов, антинейтронов и позитронов). В замкнутой Вселенной суммарные объемы барионных и антибарионных областей, вообще говоря, различны, и даже не исключено, что вся Вселенная состоит из одной барионной области. Подчеркнем, что вся эта картина совершенно отлична от предполагавшейся ранее некоторыми авторами в рамках модели с сохранением барионного заряда и пространственным разделением барионов и антибарионов при помощи каких-то неизвестных гипотетических процессов.

Другое замечание относится к гипотезе пульсирующей Вселенной. Безусловно правильно, что в ходе сжатия Вселенной можно ожидать огромной неустойчивости, нарушения однородности и изотропии. Но это само по себе не исключает возможности в будущем бесконечного числа пульсаций (циклов расширения и сжатия Вселенной). При этом не исключено также, что существуют «выравнивающие» механизмы (типа вязкости), и хотя бы в некоторых пульсациях Вселенная будет качественно похожей на нашу («не исключено» означает, что мы не можем на теперешнем

уровне знаний ни опровергнуть, ни обосновать эти возможности).

Я писал о пульсациях в будущем. Но можно ли представить себе такую модель Вселенной, которая приводит к бесконечной последовательности пульсаций, продолжаемой и в будущее, и в **прошлое**? Повидимому, существует по крайней мере один вариант. Рассмотрим пространственно-плоскую бесконечную Вселенную. Предположим, что в уравнении общей теории относительности присутствует член с так называемой космологической постоянной. Еще Эйнштейн постулировал в одной из работ наличие такого члена с положительной космологической постоянной. Мы предполагаем, что космологическая постоянная отрицательна, что эквивалентно «самопритяжению» вакуума и приводит к периодическим пульсациям Вселенной. При этом, так как объем Вселенной, радиус ее кривизны и энтропия бесконечны, происходящий, согласно второму началу термодинамики, рост энтропии не обуславливает каких-либо качественных различий между пульсациями.

Наиболее интересна рассматриваемая в статье Зельдовича модель замкнутой Вселенной. В этом случае энтропия конечна и закон ее возрастания, по-видимому, исключает возможность экстраполировать историю Вселенной в бесконечное прошлое. Однако и тут существует «лазейка». Можно предположить, что числовая ось времени представляет собой бесконечную в обе стороны прямую, при этом в одной ее точке энтропия Вселенной равна нулю. Для определенности предположим, что в этот момент Вселенная существует в виде очень маленького замкнутого объема, например трехмерной сферы (представляющей собой трехмерное обобщение известной всем с детства двумерной сферы). Нулевую энтропию имеет, по определению, вакуум.

В современных теориях поля (об этом пишет Зельдович в своей статье) вакуум может существовать в нескольких состояниях: с равной нулю плотностью энергии — это «обычный» вакуум, а также с положительной плотностью энер-

гии и отрицательным давлением — это «ложный» вакуум, обладающий свойством «самоотталкивания». «Ложный» вакуум неустойчив и за некоторое время переходит в «обычный» с образованием различных частиц и полей и соответствующим увеличением энтропии. Пока «ложный» вакуум существует, Вселенная расширяется по экспоненциальному закону, а точнее, в окрестности нулевой точки — по закону гиперболического косинуса. Вся картина качественно симметрична относительно нулевой точки. Особенно существенно, что энтропия автоматически возрастает при удалении от особой точки **в обе стороны**. Ведь энтропия, по самому своему определению, положительная величина! Таким образом, мы имеем как бы две не взаимодействующие Вселенные, существующие независимо друг от друга, с обратным ходом времени в одной Вселенной по отношению к другой. В 1967 г. я описал подобную ситуацию, употребив термин «поворот стрелы времени»³. Предполагать «рождение» Вселенной в такой модели, вероятно, нет необходимости, но оно не исключено.

Все это я пишу не для того, чтобы бросить тень на идею квантового рождения Вселенной в особой точке времени, а чтобы указать на большую неопределенность в нашем понимании ситуации. Эта неопределенность носит глубоко принципиальный характер даже философский характер. Философский острый является, в частности, вопрос о так называемом антропном принципе, объясняющем особенности нашей Вселенной тем, что только в такой Вселенной могла возникнуть разумная жизнь, в отличие от бесконечного числа других, спонтанно возникающих «мертвых» Вселенных.

В статье Зельдовича показано, что, по крайней мере, **нет препятствий** к квантовому рождению Вселенной со стороны основных физических законов сохранения. Вселенная при этом должна быть замкнутой (иметь конечный объем).

Академик А. Д. Сахаров

³ Сахаров А. Д. // Письма в ЖЭТФ. 1967. Т. 5. С. 32—35.

НОВЫЙ КЛАСС ПОЛ

Ю.Л.Иванов



Юрий Леонидович Иванов, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР. Область научных интересов — физика неравновесных электронных процессов в полупроводниках. Один из авторов открытия «Токово-конвективная неустойчивость плазмы» (1970). Лауреат Государственной премии СССР (1997).

Д АЛЕКО не всегда можно предугадать, к чему приведет открытие тех или иных закономерностей в науке. Когда Фарадея, который делал доклад в Лондонском королевском обществе, спросили, как можно применить открытое им явление электромагнитной индукции, он ответил, притом вполне серьезно: при изготовлении детских игрушек. На явление радиоактивности долгое время смотрели лишь как на любопытный физический эффект, а Эйнштейн и не предполагал, что предсказанное им индуцированное излучение будет реализовано в лазерах.

Физические предпосылки теории новых приборов, к которым мы хотим привлечь внимание читателей, появились в середине 60-х годов. Было высказано предположение о существовании новых гальваномагнитных эффектов в полупроводниках, помещенных в сильные скрещенные поля — электрическое и магнитное. В своем проявлении эти эффекты были далеки от той практической реализации, к которой привело развитие первоначальных идей. Однако и на сей раз, как это неоднократно случалось в физике, красивые теоретические идеи нашли свое практическое воплощение: был создан новый класс полупроводниковых источников когерентного излучения в дальнем инфракрасном (ИК) и ближнем субмиллиметровом диапазоне. Все ключевые этапы работы — от зарождения идей до получения первых практических результатов — были выполнены у нас в стране.

Диапазон волн, в котором работают новые лазеры, представляет большой интерес для исследований в самых разных областях физики, биологии, химии. В то же время он очень «беден» излучателями. Фактически в нем работают лишь газовые лазеры с накачкой от CO_2 -лазера. Это весьма громоздкие приборы, в которых длина волны меняется только дискретно. В субмиллиметровой области есть еще радиотехнические генераторы с плавной перестройкой частоты — так называемые лампы обратной волны. Однако они тоже громоздки, сложны в эксплуатации и излучают лишь в области от 250 мкм и выше. Созданные полупроводниковые лазеры достаточно просты как в изготовлении, так и в работе, могут плавно изменять частоту излучения и, в отличие от своих «собратьев» по диапазону излучения, миниатюрны. Громоздко только их название — «лазеры на горячих дырках германия», но расшифровывается оно легко. Германий — это полупроводник, который служит рабочим телом лазера. Носителями заряда в нем в данной случае являются дырки. Горячие они потому, что к полупроводнику приложены греющие электрические поля. А теперь попытаемся разобраться в принципе работы новых лазеров, в процессах, которые приводят к генерации когерентного излучения в обсуждаемом диапазоне длин

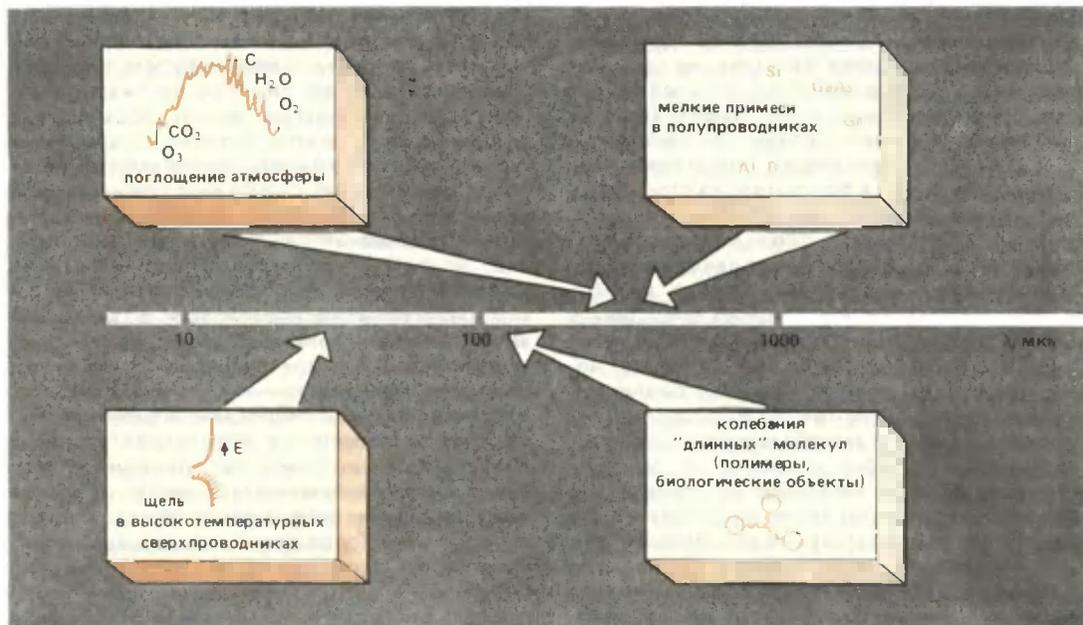
Полупроводниковых Лазеров

ГОРЯЧИЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА

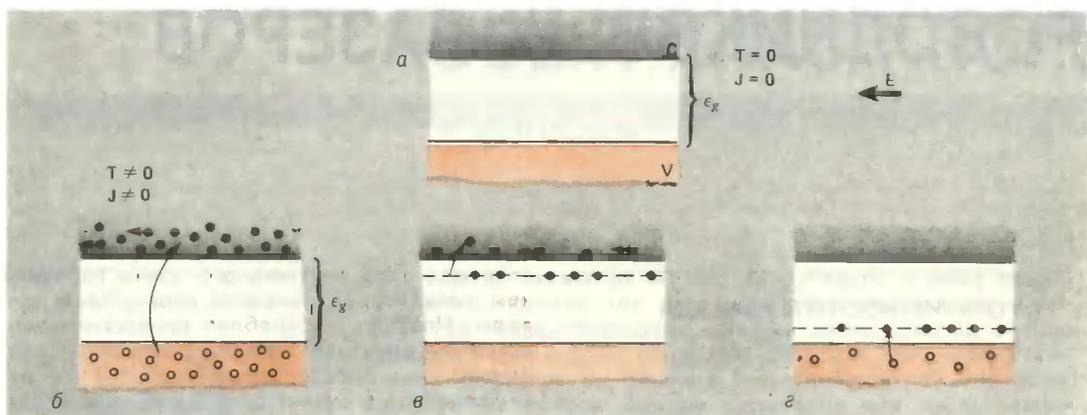
Понятия «горячий» и «холодный» в физике, так же как в быту, относительны. Мы говорим «горячий душ», когда температура воды больше температуры нашего тела. В то же время плазма газового разряда считается холодной, хотя ее температура в десятки раз превышает комнатную — просто она не нагревает до некой характерной температуры, например той, при которой могут происходить термоядерные реакции. Для жидкого гелия, температура кипения которого — $-268,8^\circ\text{C}$, образец, охлажденный до температуры кипения жидкого азота (-196°C), является очень горячим, а лабораторный

стол для того же жидкого азота горячее, чем раскаленная докрасна сковорода для воды. Поэтому употребляя словосочетание «горячие носители заряда» (электроны или дырки), мы просто хотим сказать, что их температура (точнее, средняя кинетическая энергия) больше температуры кристалла. Оговоримся сразу — кристалла полупроводникового, потому что такая ситуация реализуется только в полупроводниках, где концентрация подвижных носителей сравнительно невелика (10^{13} — 10^{14} см^{-3}).

Как реализуется столь необычное состояние в полупроводниковых кристаллах? Дело в том, что носители заряда в них легко выводятся из состояния равновесия (в котором они полностью обмениваются энергией с атомами кристалла), например, с помощью электрического поля. Под его воздействием носители разгоняются, т. е. увеличивают свою энергию, быстро, а сами



Объекты, характерные частоты которых расположены в области дальних инфракрасных и субмиллиметровых волн. Эта область бедна хорошими источниками монохроматического излучения. Новый класс полупроводниковых лазеров работает именно в этом диапазоне волн.



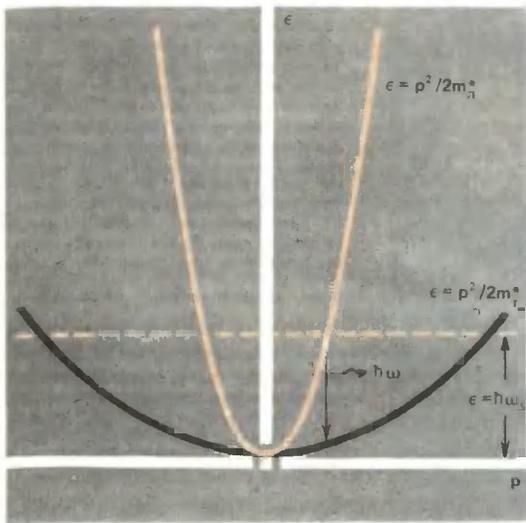
Зонная структура полупроводников и движение носителей зарядов в них под действием электрического поля E : чистый полупроводник при $T=0$ (а) и $T \neq 0$ (б), полупроводник с донорными примесями (в) и акцепторными примесями (г). В чистом полупроводнике при $T=0$ зона проводимости C пуста, а валентная зона V (отделенная от C запрещенной зоной шириной ϵ_g) полностью заполнена электронами: электропроводность отсутствует и ток $J=0$. При повышении температуры часть электронов попадает в зону проводимости, а на их месте в валентной зоне остаются свободные места — дырки. Дырки, так же как и электроны, являются носителями заряда, только положительного. И те, и другие могут участвовать в процессе электропроводности. В этом случае мы имеем дело с так называемым собственным полупроводником. Поставщиками носителей заряда могут служить атомы примесей: электронов — доноры, а дырок — акцепторы. В первом случае полупроводник электронный, а во втором — дырочный.

атомы кристалла, получая энергию от носителей, нагреваются медленно. Поэтому всегда можно выбрать электрический импульс такой длительности и силы, что в определенном промежутке времени носители, успев приобрести от электрического поля энергию, будут характеризоваться большим ее средним значением, а кристаллу от носителей она еще не передается — он будет характеризоваться прежней низкой температурой.

Передача энергии от носителей кристаллу происходит в результате их столкновений с теми атомами или группами атомов, которые в результате тепловых колебаний отклоняются от положения равновесия. Несколько слов о характере тепловых колебаний атомов кристалла. Их можно представить в виде набора волн различных частот, или, на корпускулярном языке, как движение неких квазичастиц — фононов — с различными значениями энергии и импульса. Если соседние атомы в колебательном процессе отклоняются в одну сторону, то соответствующие фононы называют акустическими, если в противоположную — оптическими. Таким образом, столкновение носителей с атомами кристалла можно рассматривать как взаимодействие носителей с фононами, в процессе которого происходит обмен энергией и импульсом (рассеяние носителей на фононах). Особенность акустических фононов заключается в том, что они взаимодей-

ствуют с носителями заряда упруго. Это означает, что в таком процессе изменение энергии носителей оказывается малым, а изменение импульса может быть большим. Что касается оптических фононов, то их взаимодействие с носителями имеет характер сильно неупругого рассеяния, при котором носитель отдает или получает энергию почти целиком. При этом фактически может происходить рождение оптического фонона. Существуют и другие механизмы рассеяния носителей — при столкновениях с атомами примесей или друг с другом. Однако в нашем случае они не имеют сколько-нибудь существенного значения.

От механизма рассеяния зависит характер разогрева носителей при воздействии электрическим полем. Все они, кроме рассеяния на оптических фононах при не слишком больших электрических полях, приводят к хаотизации скоростей носителей. Наоборот, рассеяние на оптических фононах в определенных условиях приводит к возникновению преимущественного направления в движении носителей — вдоль электрического поля. Такое движение называют стримингом (от англ. stream — поток). Именно стриминг в поперечном магнитном поле служит основой того механизма усиления электромагнитного излучения, на котором работают полупроводниковые лазеры на горячих носителях заряда.



Зависимость кинетической энергии ϵ дырок германия от их импульса p . Цветная парабола соответствует легким дыркам (эффективная масса m_n^* составляет 0,042 массы электрона m_0), черная — тяжелым дыркам ($m_p^* = 0,35m_0$). В электрическом поле дырки «разогреваются», т. е. увеличивают свою кинетическую энергию. При одном и том же импульсе легкие дырки имеют большую энергию, чем тяжелые, и могут перейти в них, излучив квант $\hbar\omega$. Разогрев дырок сверх энергии оптического фотона $\hbar\omega_0$, характерной для данного кристалла, затруднен вследствие сильного взаимодействия дырки с оптическим фононом.

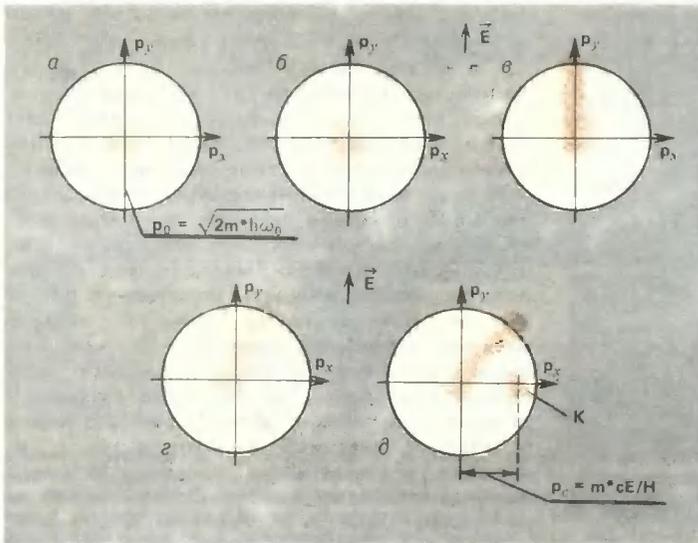
СТРИМИНГ В ИМПУЛЬСНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ГЕРМАНИЯ

За судьбой горячего носителя, движущегося под действием электрического и магнитного полей, легче проследить, мысленно переместившись из привычного координатного пространства в импульсное, где по осям отложены компоненты импульса P_x, P_y, P_z частицы массы m , движущейся в обычном пространстве со скоростью v . Такое импульсное пространство, естественно, тоже будет трехмерным. Легко себе представить, что если в обычном пространстве частица покоится в точке с координатами x, y, z , то в импульсном она находится в начале координат, так как $p_x = p_y = p_z = 0$. Равномерному прямолинейному движению в обычном пространстве в импульсном соответствует покой в точке P_x, P_y, P_z , а равноускоренному — равномерное движение.

В нашем случае импульсное пространство удобно разделить на две области — пассивную и активную. Границей служит

импульс носителя, энергия которого равна энергии оптического фотона $p_0 = \sqrt{2m^* \hbar\omega_0}$, где \hbar — постоянная Планка, ω_0 — частота оптических колебаний, m^* — эффективная масса носителя, отличающаяся от массы свободного электрона m_0 из-за того, что носитель движется в периодическом поле атомов кристалла. Пассивная область представляет собой сферу радиуса p_0 с центром в начале координат, а называется она так потому, что носители, находящиеся внутри нее, не могут рождать оптические фотоны — для этого у них не хватает энергии. Наоборот, носитель, по тем или иным причинам попавший в область вне сферы радиуса p_0 , за короткое время τ^+ рождает оптический фотон, сам оставаясь с малыми энергией и импульсом, т. е. попадая в окрестности начала координат импульсного пространства. Поэтому область вне сферы радиуса p_0 называется активной.

Теперь представим себе, что кристалл охлажден настолько, что средняя энергия носителей гораздо меньше энергии оптического фотона. (Скажем сразу: температура должна быть порядка десятков градусов Кельвина). Тогда в импульсном пространстве носители будут сосредоточены в окрестности начала координат далеко от границы пассивной области. Если теперь приложить электрическое поле \vec{E} , носители начнут разгоняться, а их импульсы смещаться в направлении поля \vec{E} . При не очень большой напряженности поля носители, двигаясь в пассивной области, могут рассеяться на акустических фотонах или на примесях с характерным временем τ^- . А поскольку это рассеяние, как мы отмечали, упругое, то оно приведет лишь к хаотизации скоростей носителей. Они будут распределяться все в большем объеме пассивной области импульсного пространства, несколько смещенном в направлении поля \vec{E} . Однако если увеличить электрическое поле до такой величины, что время набора носителями энергии оптического фотона $\tau_f = p_0 / eE$ (здесь e — заряд электрона) окажется меньше τ^- , то носители, не испытывая столкновений в пассивной области (в баллистическом полете), достигнут ее границы, испустят оптический фотон и окажутся в непосредственной близости от начала координат. Распределение носителей в импульсном пространстве из сферического превратится в вытянутое вдоль поля \vec{E} , причем в этом направлении они будут двигаться по прямым линиям. Это и есть стриминг. В обычном пространстве такому движению носителей будет соответствовать движение по параболе, подобное движению камня,



Мгновенное распределение дырок (цветные точки) в плоскости p_x, p_y импульсного пространства. Пассивная область заключена внутри окружности радиуса $p_0 = \sqrt{2m^*\hbar\omega_0}$, где m^* — эффективная масса носителя, ω_0 — частота оптического фонона. Вне окружности расположена активная область импульсного пространства. Изображены 5 наиболее характерных ситуаций: а) равновесный случай низкой температуры; б) «вспухание» области, заполненной дырками, в слабом электрическом поле \vec{E} ; в) стриминг в сильном поле \vec{E} ; г) стриминг в слабом поле \vec{H} , перпендикулярном \vec{E} ; д) стриминг в достаточно сильном поле \vec{H} ; когда возникает область замкнутых траекторий К (ловушка), расположенная на расстоянии $r_c = m^*cE/H$ от оси p_x .

брошенной под углом к горизонту (отсюда и термин «баллистический полет»).

Со стримингом связано сильное отклонение от закона Ома в полупроводниках — почти полная независимость тока от напряжения при больших значениях поля \vec{E} . Слово «почти» означает, что время испускания оптического фонона τ^+ хоть и мало, но конечно, и носители все-таки успевают углубиться в активную область. При этом чем больше поле \vec{E} , тем дальше они проникают в активную область, тем больше их конечная скорость и, следовательно, тем больше ток. В активной области энергия носителей больше энергии оптического фонона, поэтому, испустив такой фонон, они попадают в отличные от нуля точки импульсного пространства, распределяясь в нем изотропно. Такое распределение носителей, возникающее непосредственно после испускания ими оптического фонона, называется источником.

Приведем характерные значения для дырочного германия. Для чистых образцов с концентрацией примеси порядка 10^{12} см^{-3} (это составляет $10^{-8} \%$ от количества основного вещества) $\tau^+ = 2 \cdot 10^{-11} \text{ с}$ при температуре $T = 4,2 \text{ К}$. Чтобы тяжелая дырка германия ($m^* = 0,35m_0$), стартуя, что называется, с нуля, за это время могла достичь энергии оптического фонона, нужно электрическое поле напряженностью около 200 В/см . При таком поле и начинается стриминг тяжелых дырок. Характерное время испускания оптического фонона в германии (оно уменьшается с увеличением энер-

гии) порядка $10^{-12} - 10^{-13} \text{ с}$. Пользуясь этими данными, легко подсчитать, что уже в полях с напряженностью около 2000 В/см дырка успевает достичь удвоенной энергии оптического фонона. В этом случае, испустив оптический фонон, она окажется далеко от окрестности нуля импульсного пространства — у границы пассивной области. Иными словами, в таких электрических полях источник полностью заполняет пассивную область. Время баллистического полета дырки при этом составляет по порядку величины 10^{-12} с . Дальнейшее увеличение поля \vec{E} приводит к хаотизации скоростей и ухудшению стриминга.

СТРИМИНГ В ПОПЕРЕЧНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В середине 60-х годов И. И. Восиллюс и И. Б. Левинсон (в то время сотрудники Института физики АН ЛитССР) задались вопросом: что будет, если на стриминг подействовать поперечным магнитным полем? На движущийся в магнитном поле \vec{H} заряд действует сила Лоренца, и траектория его движения искривляется. Из решения уравнений движения заряженной частицы в скрещенных полях \vec{E} и \vec{H} следует, что теперь движение в импульсном пространстве происходит по концентрическим окружностям. Их центры расположены от оси p_x (вдоль нее для определенности направлено магнитное поле) на расстоянии $r_c = cE/H$, (где c — скорость света). В малых по-

лях H , когда центры находятся вне пассивной области, все окружности, по крайней мере какой-то своей частью, пересекают активную область, где рассеяние носителей сопровождается испусканием оптического фотона. При увеличении магнитного поля центры окружностей приближаются к оси p_z и при некотором его критическом значении

$$H^* = cE\sqrt{m^*/2\hbar\omega_0}$$

входят в пассивную область. В магнитном поле $H > H^*$ вокруг центров образуются траектории, которые целиком лежат в пассивной области. Попав в нее, носители (для определенности здесь и далее — дырки германия) не смогут испустить оптический фотон и будут находиться на замкнутых в пассивной области траекториях в течение времени рассеяния дырок в пассивной области τ^- . А попасть туда с других траекторий (тех, что проходят по активной области) дырки смогут в результате испускания оптического фотона. Конечно, для этого источник должен пересекать область замкнутых траекторий, что хорошо выполняется для электрических полей с напряженностью в несколько сот вольт на сантиметр (тем более что граница источника не резкая, а достаточно размытая). В таких полях время баллистического полета дырки до испускания оптического фотона в 10 раз меньше времени рассеяния в пассивной области τ^- . Поэтому попадать на замкнутые траектории дырки будут гораздо чаще, чем уходить с них в результате упругого рассеяния в пассивной области. Это приведет к накоплению дырок на замкнутых в пассивной области траекториях — в своеобразной «ловушке», из которой они, несмотря на сильное электрическое поле, долго (в течение времени $\tau^- > \tau^+$) не в состоянии выбраться, поскольку не могут испустить оптический фотон.

Сколько же оборотов могут совершить дырки в ловушке? Это зависит, конечно же, от величин τ^- и H . Дело в том, что на всех окружностях, о которых говорилось выше, дырки вращаются с так называемой циклотронной частотой ω_c , зависящей от H :

$$\omega_c = eH/m^*c.$$

Для характерных в эксперименте магнитных полей (около 10 кЭ) циклотронная частота тяжелых дырок германия $\omega_{ct} = 5 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$, так что за время τ^- дырка успевает совершить 10 оборотов. Про такие дырки говорят, что они сильно замагничены, а со-

ответствующее магнитное поле называется сильным (условие сильного поля выражается неравенством $\omega_c \tau^- > 1$, в данном случае $\omega_{ct} \tau^- > 1$).

Итак, существуют условия, при которых дырки оказываются в ловушке и накапливаются в ней. И чем лучше выполняются неравенства $\omega_{ct} \tau^- > 1$ и $\tau^- > \tau_E + \tau^+$, тем таких дырок будет больше.

ЛЕГКИЕ И ТЯЖЕЛЫЕ ДЫРКИ ГЕРМАНИЯ

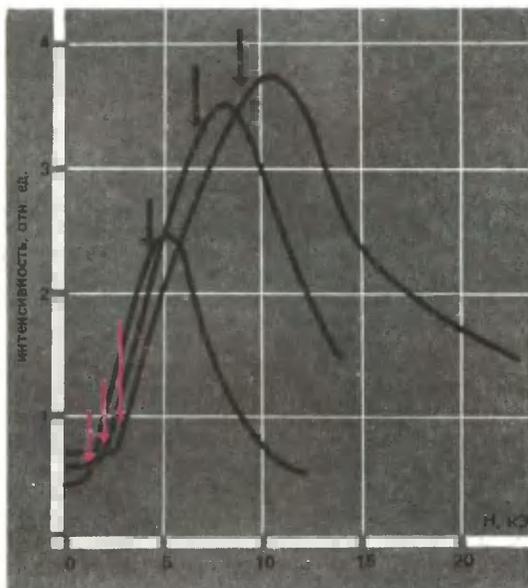
Мы подошли к одному из самых важных моментов нашего рассказа. Мы уже не раз упоминали тяжелые дырки германия. Но коль скоро есть тяжелые дырки, то, очевидно, должны быть и легкие. И это действительно так. Электропроводность в дырочном германии осуществляется дырками 2 сортов, различающимися значением эффективной массы примерно в 8 раз. Дырки могут превращаться друг в друга при любых актах рассеяния, а также при поглощении или излучении квантов электромагнитных колебаний — фотонов.

Поглощение и излучение фотонов происходит по так называемым прямым оптическим переходам, без изменения импульса дырок, поскольку импульс фотона пренебрежимо мал по сравнению с импульсом дырок. Очевидно, что при одном и том же импульсе легкие дырки имеют большую энергию, чем тяжелые. Поэтому поглощение фотонов сопровождается переходом тяжелых дырок в легкие, а испускание — переходом легких в тяжелые (без столкновения с фонанами или примесями). Электромагнитное излучение, связанное с переходом легких дырок в тяжелые, наблюдается при разогреве дырок электрическим полем. Оно лежит в дальней ИК и субмиллиметровой областях спектра.

А теперь вновь обратимся к выражению для критического поля H^* , при котором в пассивной области импульсного пространства возникает ловушка. Из него видно, что в тех же полях E легкие дырки замагничиваются при меньших магнитных полях, чем тяжелые. Иными словами, существует такой интервал значений напряженности магнитного поля

$$H_{l^*} < H < H_{t^*}$$

(здесь l — индекс легких дырок, t — тяжелых), при котором легкие дырки замагничены, а тяжелые — нет. Незамагниченные тяжелые дырки находятся в баллистическом полете до тех пор, пока не достигнут



Зависимость интенсивности излучения горячих дырок германия от напряженности магнитного поля H , перпендикулярного электрическому полю E (представлены кривые для трех значений поля E : нижняя — $E=750$ В/см, средняя — $E=1250$ В/см, верхняя — $E=1500$ В/см). Цветными стрелками обозначены те значения H , при которых возникает ловушка для легких дырок и происходит резкое увеличение электромагнитного излучения («возгорание»). При дальнейшем увеличении поля H возникает ловушка для тяжелых дырок (соответствующие значения H указаны черными стрелками), в результате чего интенсивность излучения начинает падать.

энергии оптического фонона. Испустив его в акте рассеяния, тяжелая дырка может, как мы уже отмечали, превратиться в легкую и, поскольку легкие дырки замагничены, попасть в ловушку для легких дырок. В результате легкие дырки будут накапливаться. Этот процесс хорошо прослеживается по росту интенсивности («возгоранию») электромагнитного излучения, связанного с переходом легких дырок в тяжелые, при увеличении магнитного поля. Возгорание начинается при том значении H , при котором образуется ловушка для легких дырок. При дальнейшем увеличении магнитного поля образуется ловушка для тяжелых дырок. Этот процесс конкурирует с накоплением легких дырок, и их число начинает уменьшаться. В результате интенсивность излучения тоже уменьшается. Таким образом, кривая возгорания (зависимость интенсивности излучения от магнитного поля) имеет характерный максимум, по величине которого можно судить о максимально накопленном числе легких дырок.

ЛАЗЕР НА ПЕРЕХОДАХ МЕЖДУ ЛЕГКИМИ И ТЯЖЕЛЫМИ ДЫРКАМИ

Накопление легких дырок приводит к тому, что их число (по отношению к обычному равновесному их значению) превышает относительное число тяжелых дырок. Иначе говоря, дырок с большей энергией оказывается больше, чем дырок с меньшей энергией. Такое распределение числа частиц по энергии называется инвертированным. Чисто математически его можно описать, введя понятие отрицательной температуры. Вещество с такими свойствами способно не поглощать, а усиливать излучение. На этом основано действие всех существующих лазеров.

Итак, благодаря инвертированному распределению дырок по энергии образец германия, помещенный в сильные скрещенные E и H поля, может быть усилителем излучения (конечно, той длины волны, которая соответствует разности энергий между легкими и тяжелыми дырками). Но, как известно, усилитель можно сделать генератором, снабдив его положительной обратной связью. В качестве положительной обратной связи в лазерах — генераторах когерентного излучения — применяются зеркала, установленные друг против друга. Они составляют оптический резонатор, обладающий избирательными свойствами. Излучение, поочередно отражаясь от каждого из них, многократно проходит через активное вещество, каждый раз усиливаясь. Таким образом в резонаторе накапливается энергия излучения и, если усиление превосходит неизбежные потери, возникает генерация. Причем по мере роста усиления в результате увеличения возбуждения (например, напряженности магнитного поля) генерация возникает резко, а именно, интенсивность возрастает на много порядков по сравнению со спонтанным излучением. Такой пороговый по отношению к параметру возбуждения характер генерации присущ всем лазерным системам, в том числе и лазерам на горячих дырках.

Одним из основных свойств генерируемого излучения является чрезвычайная узость его спектрального состава, так как усиливаться может лишь излучение той длины волны, которую «выбирает» резонатор. Излучение лазеров на горячих дырках этим свойством тоже обладает. Наконец, устроены лазеры на горячих дырках принципиально так же, как все лазеры: имеется резонатор из двух зеркал: одного, полностью отражающего излучение, другого — полу-

прозрачного или с отверстием посередине для выхода излучения, между которыми находится активное вещество — дырочный германий, помещенный в скрещенные \vec{E} и \vec{H} поля. Электрическое поле подается импульсами длительностью около 5 мкс с частотой посылок в несколько герц. Излучение повторяет форму импульса, а его мощность в импульсе составляет несколько ватт.

Как уже говорилось, излучение, связанное с переходом легких дырок в тяжелые, лежит в дальней ИК и ближней субмиллиметровой областях. Естественно, что генерация возникает в максимуме возгорания спонтанного излучения, т. е. в максимуме накопления легких дырок. Изменяя величину электрического и магнитного полей, можно менять длину волны генерируемого излучения от 75 до 120 мкм.

ЛАЗЕР НА УРОВНЯХ ЛАНДАУ

В этой части рассказа нам придется учесть, что энергия дырки (или электрона) в магнитном поле квантуется. Это означает, что сплошной энергетический спектр дырки при $H=0$ становится дискретным при $H \neq 0$, распадаясь на ряд уровней, называемых уровнями Ландау:

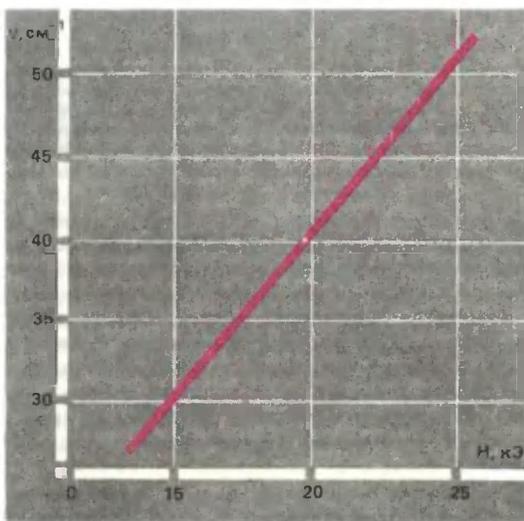
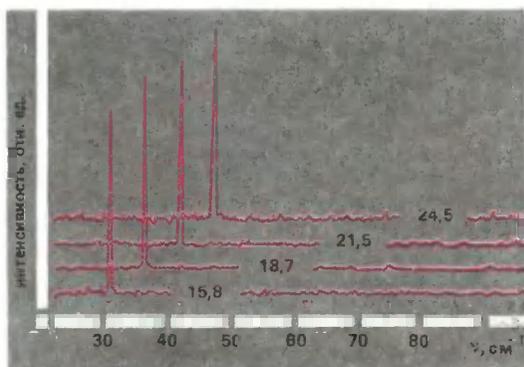
$$\epsilon_n = (1/2 + n)\hbar\omega_c + p_z^2 / 2m^*$$

(число $n=0, 1, 2, \dots$ обозначает номер уровня Ландау). Чем больше номер, тем больше энергия ϵ и выше уровень. Между любой парой соседних уровней существуют прямые оптические переходы, т. е. излучение поглощается при переходе дырки на более высокий уровень и возникает при ее переходе на более низкий. Энергия перехода соответствует уже знакомой нам циклотронной частоте

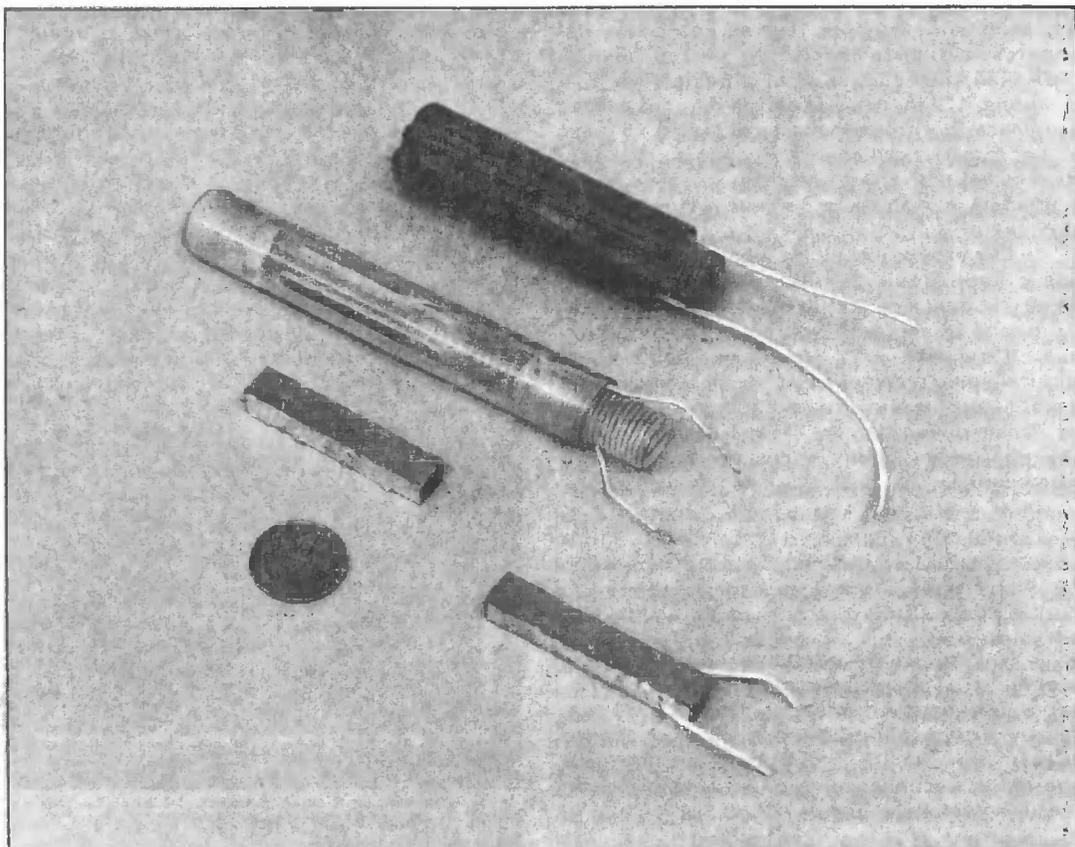
$$\Delta\epsilon = \hbar\omega_c = \hbar eH / m^*c.$$

При характерных для эксперимента магнитных полях $H=20$ кЭ излучение горячих легких дырок, связанное с переходами между уровнями Ландау, лежит в субмиллиметровой области спектра. В импульсном пространстве уровням Ландау соответствуют траектории, представляющие собой концентрические окружности с центром в начале координат. Прикладывая к кристаллу германия поперечное электрическое поле, мы тем самым смещаем центр этих окружностей по оси дрейфа частиц, т. е. в направ-

лении, перпендикулярном электрическому и магнитному полям. Этот центр становится и центром ловушки для легких дырок, о которой уже шла речь. Иными словами, ловушку теперь следует рассматривать как дискретный набор концентрических окружностей. Мы видели, что при одних и тех же полях \vec{E} и \vec{H} дрейф легких и тяжелых дырок различен. При $E=2000$ В/см и $H=20$ кЭ центр ловушки для легких дырок расположен вблизи оси p_x , так что практически все легкие дырки пассивной области замагничены и все траектории охватывают начало координат. Что же касается центра ловушки для тяжелых дырок, то он, хоть



Спектральные линии излучения при циклотронной генерации (вверху) и зависимость ее частоты от магнитного поля (внизу). Числа у кривых на рисунке вверху обозначают значения напряженности магнитного поля [в кЭ], при котором возникает генерация на данной частоте [из: Митягин Ю. А., Мурзин В. Н. и др. // Краткие сообщ. по физике [ФИАН]. М., 1987. С. 11—13].



Рабочие тела лазеров на горячих дырках германия и их компоновка с резонатором в держателе. Рабочие тела представляют собой прямоугольные блоки германия размерами $5 \times 6 \times 35$ мм³, снабженные контактами на гранях 5×35 мм² для создания электрического поля. Магнитное поле направлено вдоль большого размера образца. Этим обеспечивается взаимная перпендикулярность полей. Зеркала установлены по торцам образца, так что выходящий свет распространяется вдоль магнитного поля.

и находится в пассивной области, расположен значительно дальше от оси p_z , так что тяжелые дырки в основном не замагничены и находятся в баллистическом полете, пока не достигнут энергии оптического фона. Оказывается, в этих условиях может образоваться инверсия в распределении легких дырок по уровням Ландау. Один из ее возможных механизмов заключается в следующем.

Легкие и тяжелые дырки, траектории которых проходят через начало координат импульсного пространства, могут иметь одинаковую полную энергию. Специфика этих дырок такова, что они с большой вероятностью переходят друг в друга без рассеяния или взаимодействия с излучением, т. е. с сохранением полной энергии. Траектории легких и тяжелых дырок с оди-

наковой полной энергией можно найти и среди тех, которые, охватывая начало координат импульсного пространства, не проходят через него. Между такими дырками тоже происходят переходы с сохранением полной энергии, но с тем меньшей вероятностью, чем дальше от начала координат расположены траектории. В результате переходы легких дырок в тяжелые с нижних уровней Ландау будут происходить чаще, чем с верхних. Поскольку этот переход означает потерю дырки для ловушки (соответствующие тяжелые дырки не замагничены), то нижние уровни будут опустошаться быстрее, чем верхние. Поэтому при одинаковом пополнении их за счет рассеяния тяжелых дырок с испусканием оптического фона возникает инверсия в распределении легких дырок по уровням

Ландау. Генерация излучения в этом случае будет идти на циклотронной частоте легких дырок, зависящей от величины приложенного магнитного поля.

Лазеры, работающие на переходах между уровнями Ландау легких дырок германия, созданы. Они похожи на те, что работают на переходах между легкими и тяжелыми дырками, но излучают в другой, более длинноволновой области спектра — от 120 до 160 мкм и от 200 до 360 мкм. Их отличительная особенность — возможность плавной перестройки частоты во всем диапазоне. Настройка осуществляется изменением величины магнитного поля, а генерация происходит вдоль его направления. Эти лазеры работают в импульсном режиме с длительностью импульса до 2 мкс и частотой посылок до 50—60 Гц. При уменьшении длительности импульса электрического поля частоту посылок можно пропорционально увеличить. Мощность в импульсе составляет чуть меньше 1 Вт. Заметим, что лазерный эффект на переходах между легкими и тяжелыми дырками получен на образцах с концентрацией дырок N примерно от 10^{14} см $^{-3}$ и выше, в то время как лазерный эффект на циклотронных переходах легких дырок — на образцах с N от $6 \cdot 10^{13}$ см $^{-3}$ до $6 \cdot 10^{12}$ см $^{-3}$. Полного теоретического обоснования этот факт еще не получил.

Несколько слов о техническом обеспечении работы лазеров на горячих дырках германия. Как уже говорилось, размеры таких лазеров невелики: вместе с внешним резонатором они представляют собой цилиндры длиной около 10 см и диаметром до 1,5 см. Но работают такие лазеры только при температуре жидкого гелия. Это, конечно, техническое неудобство, но при существующей криогенной технике вполне преодолимое. Более того, необходимость применения жидкого гелия позволяет использовать для создания в общем не такого уж слабого магнитного поля небольшие по размерам сверхпроводящие соленоиды. Так что и вместе с криостатом лазер представляет собой довольно компакт-

ную конструкцию. Что же касается электро-технического обеспечения, то выработать возбуждающий электрический импульс с нужными параметрами (длительностью несколько микросекунд, напряжением до 1000 В, током до 100 А) современными средствами полупроводниковой электроники несложно. Питание сверхпроводящего магнита постоянным током 20—30 А также не вызывает затруднений, тем более что он может работать без длительного потребления тока из внешней цепи.

Полупроводниковые лазеры, работающие при воздействии на дырочный германий сильных скрещенных E и H полей, — еще очень молодые приборы. Первое сообщение о наблюдении генерации при переходах горячих легких дырок в тяжелые появилось в 1982 г. В 1984 г. оно подтвердилось в экспериментах других авторов. Генерация на переходах между уровнями Ландау впервые была осуществлена в 1983 г., а первый лазер на этих переходах создан в 1985 г. От широко известных инжекционных полупроводниковых лазеров новые лазеры отличаются объемным возбуждением, что обеспечивает высокую направленность излучения и перспективы повышения их мощности. Есть надежды и на улучшение других параметров. В частности, имеются сообщения о наблюдениях генерации на переходах легких дырок в тяжелые при температуре жидкого азота. Сейчас, когда перейден рубеж азотных температур в сверхпроводимости, появились реальные надежды на создание более «теплых» сверхпроводящих магнитов. А в этом случае техническое обеспечение работы лазеров на горячих дырках станет гораздо проще.

По существу, пока действуют лишь первые лабораторные модели лазеров на горячих дырках, однако они уже нашли практические применения в лабораторных исследованиях. Эксперименты продолжаются!

РУССКИЙ ЧЕРТЕЖ — ПРООБРАЗ

В. С. Кусов,
кандидат технических наук

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

ПРИНЯТО считать, что тематическое картографирование, т. е. составление не общегеографических, а специальных карт, началось в Западной Европе. Однако если обратиться к отечественному картографическому наследию, то в его самой древней, своеобразной и почти забытой части — русских географических чертежах — можно увидеть прообраз тематических карт.

Удалось выявить почти тысячу таких чертежей, разбросанных по двум десяткам хранилищ в нашей стране и за рубежом. Почти все они рукописные, а значит, существуют в единственном экземпляре, и лишь пять из них печатных, тиражированных. Очень незначительная часть чертежей (около 1%) обладает метрическими свойствами: они построены строго по масштабу, имеют точную азимутальную ориентировку. Остальные содержат в основном качественную информацию о местности, причем многие именно тематическую.

В современных инвентарных описях древнейших картографических памятников их названия обычно начинаются со слова «план»: «План местности между улицами...», «План земель деревни...», «План местности по рекам...» и т. п. В этих названиях отражено прежде всего местоположение изображаемой территории. Между тем на многих чертежах подписи иные: «Чертеж пустошам...», «Чертеж варницам...» и т. д.

В тексте грамоты Сибирского приказа от 4 декабря 1698 г. о новом поручении тобольскому картографу С. У. Ремезову есть такая строчка: «...ему всякие чертежи делать за обычай»¹. Что же понимать под словом «всякие»?

Среди большой коллекции русских географических



Фрагмент чертежа земель по большой Калужской дороге и р. Черничной с изображением лесного массива.

чертежей в Центральном государственном архиве древних актов (ЦГАДА) числятся «Два чертежа городам и селам Казанской губернии»². Это два экземпляра одного изображения значительной части правобережья Волги от Нижнего Новгорода до Симбирска. И хотя чертеж не имеет какой-либо геодезической основы, изображение весьма напоминает современное. Наиболее подробно пока-

заны бассейны двух рек — Суры и Мокши, на притоках которых среди лесов нанесены 23 кружка — 23 «будных стана». Суть этого давно исчезнувшего из русского языка словосочетания можно понять и не обращаясь к словарю Даля — на чертеже немало надписей русской скорописью. Чуть выше г. Кадома текст гласит: «Кадомской Полховской будный стан на речке Полховке, заведен в 1690 г., лесу черного около ево по 4 версту, а на поташное дело на одно лето».

Это означает, что будный стан — завод, перерабатывающий древесину на поташ и за

¹ Архив АН СССР. Ф. 21. Оп. 4. № 13. Л. 136.

² ЦГАДА. Ф. 192. Оп. 1. Казанская губ. № 2. № 2а.

ТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТЫ



Фрагмент чертежа крепостей и засек юга Русского государства.

одно лето сжигающий 1,8 тыс. га леса. В другом месте следует такая запись: «Леса в Курмышском, в Кузьмодемьянском, в Цывилском, в Кокшайском, в Чебоксарском, в Свяжском, в Симбирском, в Алатырском, в Саранском уездах, по реке Суре и по реке Свяяге, по обе стороны тех рек и по иным рекам и малым речкам, которые леса досматриваны в прошлом 1700-г.»

Таким образом, перед нами документ, отражающий состояние лесов, который было бы правильнее назвать «Чертежом досмотра лесов и будных станом Поволжья в 1700 г.»

В той же коллекции чертежей имеется еще одно изображение Поволжья, на котором растительность полностью отсутствует, гидрографическая сеть предельно упрощена, например у Суры и Мокши не показано ни одного притока. Однако в верховьях этих рек на чертеже мы видим новую информацию — линию с выступающими зубцами, направленными в южную сторону. Она соединяет значки, которыми отмечены крепости городов Пензы и Мокшана. Вторая такая же линия, но большей длины, проведена от берега Волги возле Симбирска до верховья р. Воронеж. Обе линии по-

казывают положение важнейших оборонительных сооружений Русского государства XVII в. — засечных черт (многорядных деревянных сооружений, препятствующих прохождению конницы). В московском архиве это изображение хранится под названием «Чертеж городам, лежащим по Дону, Оке и Волге от Москвы до Астрахани», а в Ленинграде — «Карта пути русской армии на Азов», согласно надписи на французском языке на обороте оригинала³. Целесообразнее было назвать изображение «Чертежом крепостей и засек юга Русского государства».

Картографирование оборонительных сооружений, регулярная инвентаризация их содержания стали традиционными к началу XVIII в. Уже в послепетровском указе от 7 февраля 1728 г. читаем: «... старинную черту описать и учинить чертеж»⁴. К этому времени в русском языке закрепились термины «ландкарта», «карта», «масштаб», но здесь, рядом с древним оборонительным сооружением — чертой, снова «чертеж». Часто и много их приходилось составлять и в XVII в. Так, среди описи чертежей Разрядного приказа 1668 г., в которой значатся 249 утраченных чертежей, встречаются следующие: «Чертеж Веневской засеке, каков прислал Иван Вельяминов в 1638 г.», «Два чертежа городом по черте, деланным в Москве в Разряде», «Чертеж Белгородскому и Карповскому валу 1644 г.», «Чертеж Карпову сторожевью» и другие чертежи — валу, острогу, засеке, крепости⁵.

Чертеж крепостей и засек полностью лишен сведений о растительности. Однако никакая другая картографическая школа не сохранила таких ярких изображений лесных массивов, как

³ ЦГАДА. Ф. 192. Оп. 1. Астраханская губ. № 7; Библиотека АН СССР. ОР. Картогр. собр. № 613.

⁴ Полн. собр. законов Российской имп. Т. 8. № 5236.

⁵ Гоздаво-Голомбьевский А. А. Опись чертежам, хранившимся в Разряде во второй половине XVII века // Описание документов и бумаг, хранящихся в архиве Министерства юстиции. М., 1889. Отд. 2. Ст. 3—35.

древнерусская. Наглядный пример — лесной пейзаж, сделанный в конце XVII в. на «Чертеже земель по большой Калужской дороге и реке Черничной». Это одно из последних изображений такого типа, в ближайшие годы на русских картах появятся стандартные значки⁶.

Составление тематических изображений путем изменения содержания, но без изменения масштабных соотношений — явление, как видим, достаточно распространенное на Руси в XVII в. Характерны также «чертежи пустошам» и «чертежи дворам», на которых, например, самым тщательным образом отображаются каждый излом ограды, каждая калитка, и здесь же стена Московского Кремля лишена даже самых известных угловых башен. Попадаетея и другой вариант тематического отбора. При составлении чертежей, предназначенных для инвентаризации сооружений города, показывают лишь их стены и башни, внутренняя застройка полностью отсутствует.

Уникальный памятник отечественной картографии — рукописный атлас из 186 чертежей под названием «Хорографическая чертежная книга», составленный С. У. Ремезовым с учениками, — в 1920-х годах оказался в США. Изучавший атлас канадский картограф Г. Кестнер, выступая в 1976 г. в Москве на Международной картографической конференции, отметил, что в чертежах явно проявляются зачатки тематического картографирования, и высказал предположение, что в архивах, несомненно, будут обнаружены новые памятники с тематическим содержанием. Действительно, выявляется все больше таких чертежей.

До сих пор мы познакомились с теми из них, на которых масштаб изображения различных объектов примерно одинаков. Но сохранилось несколько памятников XVII в., на которых применен другой графический прием: элементы тематического содержания показаны с большим увеличением, с масштабным акцентом или с коммуникативным ударением, как го-

Реконструкция чертежа дозора лесов и будных станов Поволжья в 1700 г. Размер чертежа — 0,9 × 1,3 м, примерный масштаб 1:400 тыс., значки ориентированы на восток.



Фрагмент чертежа с изображением 4 будных станов на правом берегу р. Мокши выше г. Кадома.



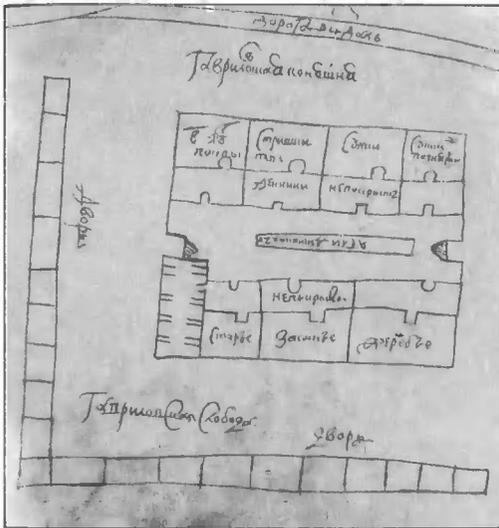
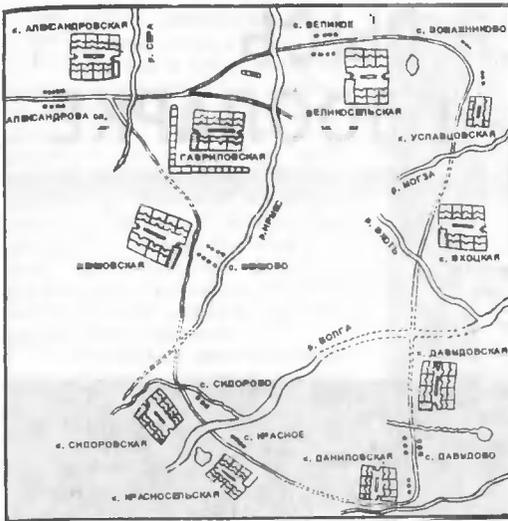
ворят семиотики — специалисты по знаковым системам.

Характерный пример — «Ситуационный план Даниловского соляного завода, недалеко от Московской дороги и реки Ишни», воспроизведенный и названный так в будущем известным славистом, академиком В. И. Ламанским в 1861 г.⁷ Место хранения оригинала в настоящее

время неизвестно. На территории Ростова Великого, огромного по тем временам города, показан лишь метрополичий

⁷ Сборник чертежей Москвы, ее окрестностей и города Пскова XVII столетия // Зап. славяно-русского отд. Археол. о-ва под ред. В. Ламанского. 1861. Т. 2. Приложение.

⁶ ЦГАДА. Ф. 1209. Столбцы, Алексин. 31494. Л. 115.



Реконструкция плана расположения 10 царских конюшен. Пути и дороги показаны предполагаемые участки рек и дорог на утраченных частях оригинала. Уменьш. в 8 раз.

щажниково — село Давыдово», почти прямая в действительности, на чертеже изогнута. И все же чертеж дает богатую тематическую информацию — можно проследить последовательность расположения конных заводов, получить представление о близлежащих источниках воды, дорогах, а главное, о внутренней структуре и планировке каждого завода. Все ячейки конюшен заполнены многочисленными надписями, позволяющими судить об их назначении.

Таким образом, вместо чертежа со строгим геометрическим подобием местности мы наблюдаем здесь отражение реальной ситуации на ином уровне абстрагирования. Не предвосхитили ли древнерусские картографы выводы американской исследовательницы Б. Печеник о сути тематической карты как интеллектуального образа пространства, являющегося в некоторых случаях контрастно противоположным обычным приемам топографического картографирования?

Наиболее вероятная дата составления чертежа коннозаводства — 1667 г. Это середина временного интервала от появления в 1658 г. первого русского документа на бумаге с филигранью типа «герб Амстердама» (на ней и сделан чертеж) до момента ликвидации Тайного приказа (1676), которому он принадлежал. Таким образом, можно считать, что первые русские тематические карты появились по крайней мере в 60-х годах XVII в.

Еще бытует скептическое отношение к русским географическим чертежам: что это, мол, за карта, если с ее помощью нельзя точно определить расстояние или измерить площадь? Но мы уже убедились, что именно по чертежам нередко можно получить ценную информацию о Русском государстве и его истории.

двор, а соляной завод занимает все междуречье Ишни и Устья протяженностью около 15 км. Неизвестный автор чертежа, чтобы полностью отразить заводское хозяйство, увеличил значки «варниц и анбаров» до огромных размеров.

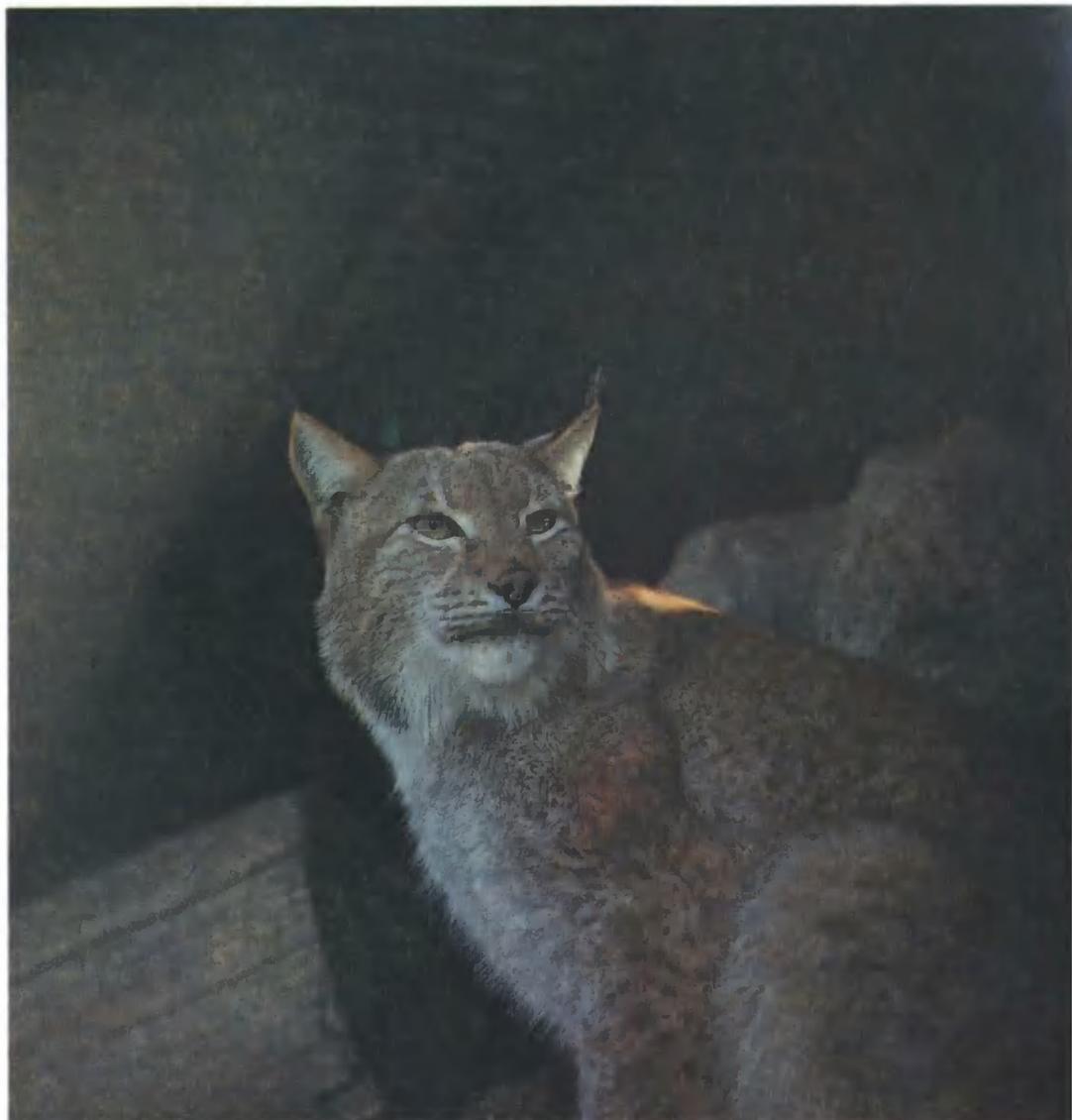
Но, пожалуй, наиболее ярко масштабный акцент виден на 6 ветвях лоскутков, хранящихся под названием «План расположения конюшен (царских?) Александровой, Гавриловской, Юхорской и др.» Автору статьи

удалось провести реконструкцию этого чертежа. Он охватывает огромную территорию — от Александровой слободы до правобережья Волги возле устья Юхоти и часть левого берега реки с селами Красное и Давыдово. На чертеже отсутствуют такие значимые объекты, как Ростов Великий с его озером и варницами и Переяславль, р. Которосль и др. Из-за «сверхкрупномасштабности» изображения десяти конных заводов топографическая основа не только обеднена, но и сильно искажена. Например, линия «Александрова слобода — село Во-

⁶ ЦГАДА. Ф. 27. Д. 484. Ч. 4. № 2.

СИБИРСКАЯ РЫСЬ РАЗМНОЖАЕТСЯ В ЗООПАРКЕ

Т. Г. Бондаренко
В. Н. Толчий
Николаев



РЫСЬ — крупная кошка на высоких ногах с коротким хвостом и кисточками на ушах — знакома нам с детства по картинкам и книгам. Но, видимо, редко кому удавалось встретить ее в природе, хотя обитает она по всей лесной зоне Евразии и Северной Америки. Леса от западных границ до восточных, Кавказ и Средняя Азия — ареал рыси в нашей стране. Там, где лесов нет, она живет в горах, находит укрытия среди скал и камней.

Городской житель может познакомиться с рысью только в зоопарке. Сейчас она содержится в 26 зоопарках СССР, но регулярно размножается только в двух — в Новосибирском зоопарке и в нашем Николаевском. Двух молодых сибирских рысей (*Felis lynx wrangeli*) — самца и самку — Николаевский зоопарк получил в октябре 1978 г. Отловлены они были в природе и поступили к нам из Зоологического центра. Точный возраст нам узнать не удалось, знали мы лишь, что животные родились в этом же году. А так как самец, которого мы назвали Ворчуном, был значительно мельче самки — Лины, мы решили, что они из разных пометов.

С первых дней совместной жизни в вольере зоопарка доминирующее положение заняла самка и сохраняет его за собой вот уже семь лет в семье, состоящей теперь из четырех взрослых рысей. Она первая устремляется к корму, выбирает лучшие места для отдыха; если она прогуливается по клетке, другие звери уступают ей дорогу. В критической ситуации от ее действий зависит поведение других членов семьи.

Первое потомство Лина и Ворчун дали в трехлетнем возрасте; ни брачного поведения, ни спаривания мы не заметили, а о беременности самки узнали по округлившемуся животу и изменившемуся поведению: Лина стала менее активной и днем предпочитала находиться в гроте — укрытии в клетке. 2 июня 1981 г. здесь же в гроте родился котенок — самка. Хотя

Самец Ворчун — родоначальник семьи рысей в нашем зоопарке.



Лина на прогулке с трехлетним сыном.

поведение самца, находившегося в одной клетке с самкой, не вызывало тревоги, из предосторожности мы перевели его в смежную, отделенную металлической сеткой клетку. Когда новорожденной, мы назвали ее Липси, исполнилось две недели, семью объединили. Самец заглядывал в грот, даже заходил туда ненадолго, к детенышу отнесся с интересом, без агрессии и все же на ночь мы отсаживали его, пока Липси не исполнился месяц.

Наша первая пара рысей за 1982—1984 гг. дала еще три приплода — по 1—3 котенку в год. К нашему большому огорчению, мы не сумели сохранить всех шестерых, один коте-

нок пал от инфекционного энтерита кошек. Двух котят мы передали в другие зоопарки, двух других отправили через Зоологическое объединение в Канаду для разведения на звероферме, а Вагая — самца из третьего помета — оставили у себя. Сейчас в нашем зоопарке живут четыре рысы — родители и их разновозрастные дети, за всеми ведутся тщательные наблюдения. Кое-что удалось выяснить, например срок наступления половозрелости и продолжительность беременности, постепенность формирования материнского инстинкта, возраст, в котором котята наиболее подвержены заболеванию энтеритом.

Самыми ценными были наблюдения за Липси. На втором году жизни в своем младшем брате она видела живую игрушку, но нередко ее игры напоминали сцену охоты, в которой молодой котенок мог оказаться жертвой. Тогда мать приходила ему на помощь и отгоняла Липси. На следующий год у молодой самки стали проявляться признаки материнской заботы к котятм следующего помета, она вылизывала их, позволяла трепать себя за хвост, защищала, закрывая их собой от мнимого врага. В трехлетнем возрасте у Липси появились котята, чьим отцом был тот же Ворчун. Но, видимо, потому, что у нее еще не полностью сформировался материнский инстинкт, она уничтожила их.

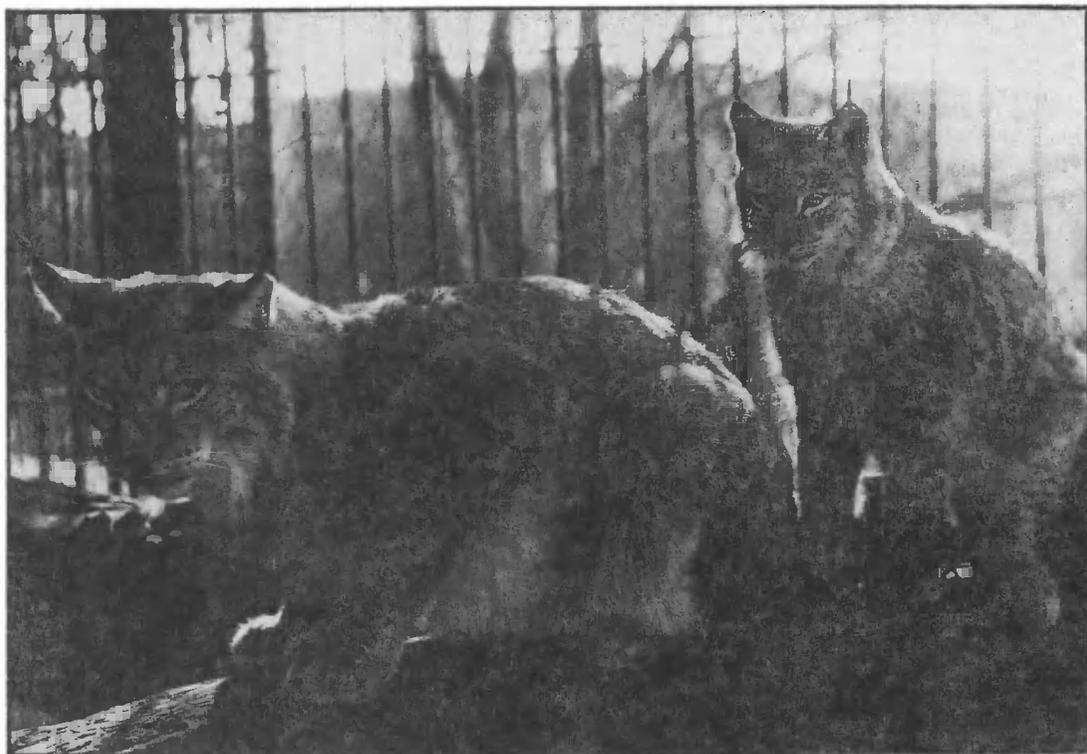
В конце мая 1985 г. в одном гроте, хотя в смежной клетке был свободный домик, с перерывом в четыре дня, окотились и Лина и Липси. Кошки лежали рядом, «вале-

том», а котята — между ними. Лина, родившая первой, вылизывала Липси после родов. Мы не смогли ни пересчитать новорожденных, ни узнать, сколько котят родилось у каждой самки, — они, особенно молодая, были очень агрессивны. Через несколько дней на полу клетки мы нашли мертвого котенка. Вероятно, в гроте было слишком тесно и одна из матерей придавила его телом. Когда труп начал разлагаться, самки выбросили его.

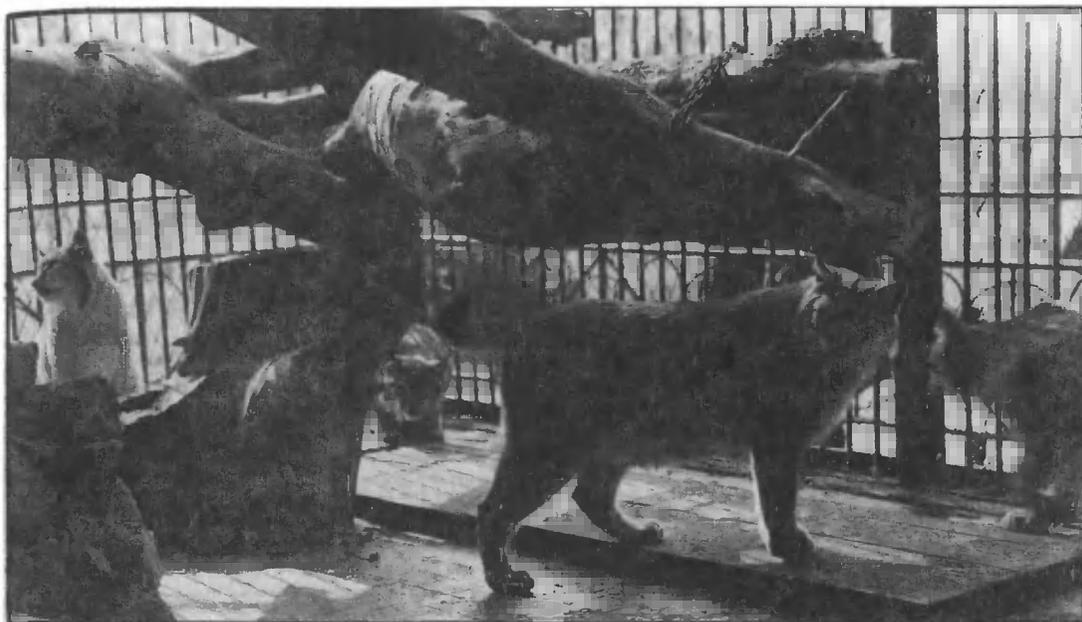
В течение полутора месяцев котята были предметом общей заботы самок, казалось, матери не различают, где чьи дети. Но вскоре, когда им было около двух месяцев, мы поняли, что это не так. В игре два котенка стали нападать на третьего, игра грозила перейти в драку, и тут вмешались мамы. Лина рьяно защищала двух не в меру разыгравшихся котят, а Липси — третьего, самки всерьез передрались, пришлось срочно рассадить их,

каждую со своим потомством. Только тут и выяснилось, что самки прекрасно различают своих котят. Самки успокоились, и через несколько дней мы снова объединили семейства, тут же были и оба самца, со стороны которых нам не приходилось видеть какого-либо недоброжелательства.

Жизнь рысей проходила на наших глазах, и нам удалось проследить за развитием молодняка. Новорожденные со светлой коричнево-серой однотонной шерстью появляются на свет слепыми, с закрытыми слуховыми отверстиями, их масса не превышает 300 г. На двенадцатый день у котят открываются глаза, на семнадцатый они различают движущиеся предметы, испугавшись, шипят. Котята быстро ползают, но с трудом держатся на коротких лапах. В этом столь нежном возрасте у них уже полностью прорезаются клыки. К 3—4 неделям котята начинают выходить из логова и живо интересоваться окружаю-



Лина с шестимесячным котенком из четвертого помета.



Лина ограждает свое семейство от мнимой опасности.

щим миром. В полуторамесячном возрасте обликом они похожи на взрослых: при небольшом увеличении длины тела сильно вытягиваются по-детски короткие ноги, на ушах появляются кисточки. Тело наливается мышцами, а шкурка так плотно облегает их, что взять котенка за загривок невозможно.

В три месяца котята переходят на самостоятельное питание мясом, у самки к этому времени заканчивается лактация. Чтобы котята не заболели рахитом, мы добавляли в корм витамины и соли кальция. Именно в этом возрасте котята наиболее восприимчивы к инфекционному энтериту кошек, поэтому двухмесячным котятам необходимо делать прививки.

Гон рысей в природе приходится на февраль — март, наши звери, достигшие трехгодичного возраста, спаривались обычно в марте, в конце мая появлялись котята, т. е. беременность самок длилась 70—74 дня.

Интересно, что в природе рыси обычно ведут одиночный образ жизни, существуют лишь группы из самки с сеголетками, да и то недолго.

У нас со времени появления первого помета звери жили группой, которая увеличивалась с рождением очередного потомства, и новорожденные никогда не вызвали агрессии со стороны взрослых зверей или подростков, а были предметом общих забот. В искусственно созданной семье сеголетков воспитывала не только мать, участие в этом принимали и самец, и молодые звери предыдущих пометов. Какой-либо иерархии в отношениях между рысями разного возраста мы не заметили, лишь Лина — самка-родоначальница — пользовалась правами главы семьи. Может быть, это положение изменится, когда станет взрослым ее сын Вагай? Об этом мы еще узнаем.

Групповое содержание рысей в неволе нам кажется целесообразным, во всяком случае, наш опыт показывает, что это не может быть препятствием при искусственном разведении этих кошечек на специальных фермах. А для организации таких ферм в нашей стране, как нам кажется, есть все основания.

Испокон веков человек охотится на рысь ради ее гу-

стого, легкого и шелковистого меха — лучшего из мехов всех других диких кошек. Мех рыси высоко ценится на международных пушных аукционах, однако целенаправленного промысла не ведется. Чтобы не изымать из природы не столь уж многочисленную рысь, видимо, стоит разводить ее на фермах, подобно американской норке, соболу, песцу и другим пушным зверям. В Канаде такой способ уже налажен, именно туда до недавнего времени продавало Зоологическое объединение тех рысей, которые родились в нашем зоопарке. Сейчас пытаются наладить разведение рыси и у нас в стране — в зверосовхозе «Салтыковский» Московской области. В 1986 г. Николаевский зоопарк передал туда свой молодняк.

СКУЛЬПТУРА МАМОНТА ИЗ

Р. С. Васильевский,
доктор исторических наук
Н. И. Дроздов,
кандидат исторических наук

Институт истории, филологии
и философии СО АН СССР
Новосибирск

В ПЕРВЫЕ пластическое изображение эпохи палеолита было найдено в 1834 г. во Франции, в гроте Шаффо на берегу р. Шаранты. Сельский нотариус А. Бруйе раскопал тогда небольшой обломок кости северного оленя с тщательно выгравированными двумя фигурами грациозных ланей. За истекшие после открытия в гроте Шаффо полтора века археологами разных стран обнаружены всевозможные образцы искусства мелкой пластики палеолита, причем не только во Франко-Кантабрийской области, известной своими пещерами с художественными росписями, но и в других районах Центральной и Восточной Европы, в Северной Азии. На востоке Европы таких находок больше всего.

Уже при первом знакомстве отчетливо видно, что их основным сюжетом, как и в монументальном искусстве палеолита, являются звери. Причем не звери вообще, а определенные их виды. Чаще всего это крупные плейстоценовые животные: мамонты, носороги, быки, лошади, олени, медведи. Понятно, почему палеолитические художники изображали именно этих животных: они были главной добычей охотничьих промыслов и представляли наибольшую ценность для первобытной общины¹.

Среди зверей в искусстве мелкой пластики особое место занимает мамонт — крупнейший обитатель суши ледниковой эпохи. Его изображения встречаются в двух вариантах: в виде контурного рисунка, выгравированного на поверхности кости или камня, и в виде небольших скульптур, вырезанных из бивня или мягкого камня, чаще всего мергеля. Скульптурных изображений мамонтов больше всего найдено на палеолитических стоянках Европейской части СССР: в Костенках I — 10 образцов, в Костенках IV — 10, в Аносвке — 15, в Авдеево — 1. В Северной Азии достоверные скульптуры мамонтов не были известны до самого последнего времени. И вот при раскопках многослойной стоянки Усть-Кова в Северном Приангарье одному из авторов (Н. И. Дроздову) посчастливилось открыть первое в Сибири скульптурное изображение этого животного.

Стоянка расположена на 58° с. ш. на левом берегу Ангары, несколько выше устья р. Ковы, против Ковинской шиверы (шиверами в Сибири называют мелководные каменистые участки рек с быстрым течением). Вторая терраса Ангары высотой 14—17 м достигает в районе стоянки ширины 0,4 км. Выше по течению Ангары она постепенно сужается, а ниже соединяется со второй надпойменной террасой Ковы, тянущейся вдоль левого берега на расстояние 1,5 км. При раскопках стоянки Усть-Кова было вы-

делено три комплекса археологического материала, относящегося к палеолитическому времени. Эти комплексы обнаружены в трех литологически разнородных отложениях: в коричневом суглинке — поздний комплекс, включающий 2144 изделия; в карбонатизированном суглинке — средний, самый многочисленный, состоящий из почти 3 тыс. изделий из камня и более 10 тыс. фрагментов костей северного оленя, мамонта, бизона, изюбря, лося и лошади; и в гумусированной погребенной почве — ранний комплекс.

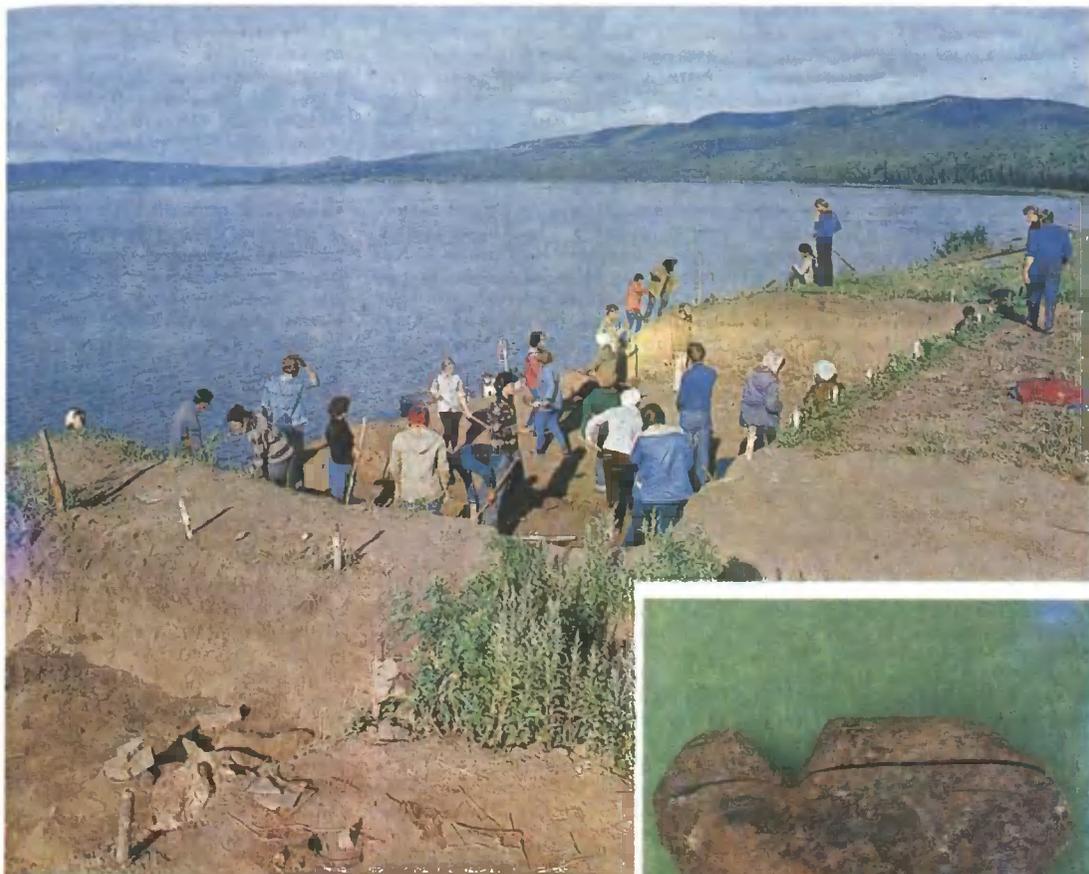
Скульптурное изображение мамонта найдено во втором, среднем комплексе скульптурных отложений. Рядом лежали каменные отщепы и обломок пластины леваллуазского облика (леваллуазская техника обработки камня, названная по местонахождению Леваллуа-Перре, близ Парижа, характерна для эпохи древнего палеолита), а по соседству — фрагменты копья или, возможно, каменного ножа, провертка, а также две крупные пластины из бивня мамонта, трубчатая кость с закругленным краем и скопленные битые кости.

Скульптура вырезана из бивня мамонта. Ее длина 8,4 см, высота 4,8, толщина 2,3 см. Мамонт изображен в позе, хорошо знакомой специалистам: большая голова с крутым затылком и длинным покатым лбом низко опущена, короткое туловище (5,1 см) отделено от головы характерной выемкой (треугольным вырезом), спина изогнута, короткие, массивные, тумбообразные ноги как бы вросли в землю. Ноги только две (вид сбоку). На месте бивней имеет-

¹ О причинах изображения животных в палеолитическом искусстве подробнее см.: Окладников А. П. Утро искусства. Л., 1967. С. 59—72; Селиванов В. В. Человек и зверь // Первобытное искусство. Новосибирск, 1976. С. 25—39; Фролов Б. А. Мотивы первобыт-

ного анималистического творчества // Звери в камне. Новосибирск, 1980. С. 36—47.

СЕВЕРНОГО ПРИАНГАРЬЯ



Раскопки стоянки Усть-Кова, расположенной при впадении р. Ковы в Ангару.

Скульптурное изображение мамонта, найденное на стоянке Усть-Кова.



ся узкий срез, возможно, подправка слома бивней. Хобот обозначен треугольным выступом, опускающимся до уровня ног. Спереди над хоботом заметна характерная выпуклость.

Фигурка мамонта, по-видимому, была раскрашена. Об этом свидетельствуют сохранившиеся

следы красной краски (охра). Особенно хорошо они видны на верхней части головы и в вырезе, отделяющем голову от туловища. В некоторых местах на туловище прослеживаются небольшие пятна черного цвета. Объяснить их происхождение пока трудно, возможно, это

остатки черной краски. Раскрашен скульптуры мамонта — любопытный факт, ведь у многих народов мира красный и черный цвета в прошлом символически связывались с жизнью (огнем) и смертью.

Фигура в целом создает впечатление громоздкого и не-

уклюжего животного. Древний мастер скупно обозначил только наиболее важные с его точки зрения детали, что типично для искусства палеолита. Интересно в этой связи привести высказывания специалистов, изучавших палеолитические наскальные росписи. Вот, например, как описывает изображение мамонта на стене пещеры Комбарелль в Дордони (Франция) Д. В. Айналов: «Его движение не выражает никакой страсти, но полно мощи и тяжести... Как гора, движется это чудовище, и в рисунке дана эта мощь огромных тумбообразных ног и величественно поднятой вверх головы»². Аналогичное впечатление при изучении палеолитического рисунка быка на скалах у д. Шишкино на Лене сложилось у А. П. Окладникова: «Рисунок насыщен грузной и тяжелой первозданной мощью. Вытянутый хвост, опущенная вниз голова и крутой горб при переходе от шеи к спине усиливают это впечатление»³.

Однозначность впечатлений, возникающих у разных исследователей при изучении палеолитических изображений животных, обнаруженных в различных географических областях, указывает на стремление художников палеолита скульпными техническими приемами передать в изображении животного самое существенное и важное, выразить ощущение мощи и силы. В этом же ключе выполнена и усть-ковинская скульптура. Она проста и даже примитивна по форме, но, несмотря на отсутствие мелких деталей, дает достаточно реалистическое представление о животном.

До открытия в Усть-Кове в Сибири было известно лишь два изображения мамонта: одно с палеолитической стоянки Мальта на Ангаре, другое со стоянки Берелех в бассейне Индигирки⁴. Однако оба изображе-

ния не скульптурные, а гравированные. Они отличаются от усть-ковинского не только манерой исполнения, но и деталями в образе самих зверей. К тому же у мамонта на берелехской гравюре такие гипертрофированно длинные ноги, что О. Н. Бадер, опубликовавший эту находку, вынужден был отметить, что это какой-то особенный зверь, наделенный фантастическими, мифологическими чертами. В целом скульптурное изображение из Усть-Ковы представляется более грубым и архаичным. Далее на запад рисунки мамонтов, выполненные в цвете, открыты на Урале в Каповой и Игнatieвской пещерах⁵. Мамонт из Каповой пещеры, кстати, по общему контуру профиля, форме головы похож на усть-ковинскую скульптуру.

Неожиданно близкие аналогии скульптурному изображению мамонта из Усть-Ковы обнаруживаются далеко на западе от Ангары, в Европе. Это, прежде всего, скульптура мамонта, вырезанная из пористой кости, со стоянки Авдеево в Курской области и скульптура из слоновой кости, найденная на стоянке Пршедмости в Моравии⁶.

Моравская скульптура особенно схожа с усть-ковинской. Можно говорить не только об общем сходстве позы и профиля животного, но и о совпадении некоторых деталей. У мамонта из Пршедмости такая же округлая голова с покатым лбом и с характерной выпуклостью над хоботом, хобот выполнен в той же манере и так же опущен вниз к ногам. Следует отметить и общий у обеих скульптур выступ сзади туловища.

Закономерно встает вопрос о возрасте скульптуры ма-

монта из Усть-Ковы. Комплекс культурных отложений, в котором найдена скульптура, стратиграфически не нарушен и имеет абсолютную дату, полученную радиоуглеродным методом: $23\ 920 \pm 310$ лет. Найденный вместе со скульптурой мамонта каменный инвентарь имеет некоторое сходство с материалами стоянок Мальта и Бурет на Ангаре, Толбага в Забайкалье, Мольтынам в Монголии. Это позволяет датировать весь комплекс находок в пределах 28—22 тыс. лет. Этим временем должен определяться и возраст скульптурного изображения мамонта. Такая датировка подтверждается аналогиями с европейскими произведениями искусства. Так, по новейшим данным костенковско-авдеевская палеолитическая культура датируется временем не позднее 23—22 тыс. лет. Близкую дату имеет также скульптура мамонта из Пршедмости, относящаяся по западноевропейской классификации к ориньякской культуре⁷.

Находка скульптурного изображения мамонта на палеолитической стоянке Усть-Кова — факт примечательный. Такие изображения в Сибири пока единичны. Однако не статистика определяет облик искусства той или иной эпохи. Среди тысяч противоречивых произведений достаточно лишь нескольких, чтобы эпоха, искусство которой они представляют, обрела свое лицо в истории развития человечества. В этом смысле усть-ковинская скульптура имеет принципиальное значение. Вместе с родственными по содержанию гравюрами Мальты, Бурети и Берелеха она является еще одним убедительным свидетельством того, что в эпоху палеолита в глубинах Северной Азии существовал развитый очаг художественного творчества.

Мальте. (Предварит. отчет о работах 1928—1932 гг.) // Палеолит СССР. М.; Л., 1935. С. 110—115; Бадер О. Н. Палеолитическая гравировка из Индигирского Заполярья // Археология Северной и Центральной Азии. Новосибирск, 1975. С. 30—33.

⁵ См.: Бадер О. Н. Каповая пещера. Палеолитическая живопись. М., 1965.

⁶ Leroi-Gourhan A. Prehistoire de l'art occidental. P., 1965.

⁷ Ориньякская культура (33 000—19 000 лет до н. э.) сменила в Европе мустьерскую, причем генетической связи между ними не прослежено. Поэтому многие археологи считают, что ориньякская культура была привнесена в Европу извне.

² Айналов Д. В. Первые шаги европейского искусства // Сообщ. Гос. архива Ин-та материальной культуры. Т. II. Л., 1929. С. 426.

³ Окладников А. П. Олень Золотые рога. М.; Л., 1964. С. 28.

⁴ Герасимов М. М. Раскопки палеолитической стоянки в селе

ГЕНОФОНД ДИКИХ БАРАНОВ В ОТДАЛЕННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ

Н. Н. Воронцов,

доктор биологических наук

Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР
Москва

К. М. Гаспарян

кандидат биологических наук

Зоологический институт АН АрмССР
Ереван

ДИКИЕ родичи домашних животных — хранители генофонда, который может быть использован для селекции. Мы по сей день живем на проценты с капитала, оставленного нам нашими неолитическими предками. Однако во времена неолита основным принципом искусственного отбора животных была не селекция на какие-то особенно ценные для потомков признаки, а отбор на приручаемость и выживаемость животных в тех суровых условиях. Через такой отбор прошли немногие особи. Они-то и стали источниками того генофонда (термин, введенный в мировую науку отечественным генетиком А. С. Серебровским), с которым имели дело «селекционеры» эпохи козового пастушеского животноводства, эпохи великих культур номадов, античности, средневековья. На основе этого генофонда, опираясь на значительное разнообразие местных пород домашних животных, приспособленных к конкретным условиям жизни данного народа или племени, селекционеры XIX—XX вв. создали множество пород домашних животных. Однако далеко не все гены диких предков, представляющие несомненный хозяйственный интерес, прошли через упомянутый отбор, многие остались лишь у диких предков и не сохранились у домашних животных. Вот почему их дикие предки и родичи представляют особый интерес как хранители ге-

нофонда, как резерв еще неиспользованных в селекции генов.

Ситуация с охраной предков домашних животных и их родичей крайне тревожна не только в нашей стране, но и во всем мире. На них давит не антропогенный пресс вообще, а в первую очередь их собственные потомки. Развивающееся животноводство наступает на места обитания диких предков и родичей домашних животных. Создание заповедников и заказников, специальных ферм и зоопарков не спасает за катастрофическим сокращением численности и даже исчезновением диких видов копытных — хранителей ценного для селекции генофонда. В погоне за сиюминутными интересами местные породы скота замещаются высокопродуктивными, но недостаточно жизнестойкими метисами. Так, в Якутии в 60—70-х годах была утеряна из-за метизации хорошо приспособленная к местным условиям аборигенная порода крупного рогатого скота, по счастью сохранявшаяся в экспериментальном хозяйстве Института цитологии и генетики СО АН СССР в Новосибирске, откуда чистопородных животных в конце 70-х годов завезли на их родину в Якутию. Неуклонно сокращаются и ареалы диких баранов.

В 20-х годах один из основоположников отечественной генетики Ю. А. Филипченко организовал от Комиссии по изучению естественных произво-

дительных сил России (КЕПС) при Академии наук серию экспедиций по изучению генофондов местных пород скота в Казахстане, Средней Азии и Монголии. В этих экспедициях участвовали многие ученики Филипченко, блестящие представители ленинградской генетической школы Ф. Г. Добржанский, Я. Я. Лус, Т. К. Лепин, Ю. Я. Керкис и др. В недрах этого кружка генетиков зародилась идея использования генофонда диких родичей домашних животных для отдаленной гибридизации. В 1930—1932 гг. М. Ф. Иванов в Аскании-Нова начал работы по скрещиванию европейских муфлонов с домашними овцами. Но если Иванов вел свои работы с точки зрения цитогенетики вслепую, то в школе Филипченко считали, что дорогостоящим опытам по отдаленной гибридизации должны предшествовать исследования хромосом.

Увы, цитогенетическая методика 30-х годов была крайне несовершенна. Ученик Луса Н. С. Бутарин изучал хромосомы домашней овцы (*Ovis aries*) и тьян-шаньского дикого барана архара (*O. amnion karelini*). Он точно зарисовал наборы хромосом (кариотипы) этих форм (на рисунках четко видны 54 хромосомы у овцы и 56 у архара), но из осторожности написал, что обе формы имеют около 60 хромосом, по-видимому, одинаковых. Это побудило Луса с учениками к последующим опытам по отдаленной гиб-



Четырехлетние самцы муфлонов в питомнике Зоологического института АН АрмССР.

Родившаяся в питомнике самка муфлона с ягнятами.

Годовалый самец — гибрид первого поколения [с л е в а] среди домашних овец. На заднем плане — гибрид домашней козы с безроговым козлом.



ридизации архаров. Они провели искусственное оплодотворение самок киргизских мериносов спермой дикого архара, получили группу гибридных животных и начали вести поглотительное скрещивание гибридов с местными формами домашних овец. Этими работами живо интересовался Н. И. Вавилов. Даже в трудные годы войны поголовье удалось сохранить и провести его репродукцию. На сессии ВАСХНИЛ 1948 г. говорил о «бесплодности реакционного вейсманизма-морганизма», а тем временем на высокогорном пастбище Тянь-Шаня уже паслись архаро-мериносы. В начале 50-х годов труд по созданию на основе отдаленной гибридизации архаро-мериносов был отмечен Государственной премией СССР, однако в число лауреатов не попал инициатор этих работ «формальный генетик» Лус.

Разработанные в конце 50-х годов методы хромосомного анализа позволили расширить цитогенетические исследования во всем мире. В 60-х годах в Сибирском отделении АН СССР, а затем в Московском университете и других местах началось широкое изучение кариотипов диких видов млекопитающих в экспедиционных условиях. К настоящему времени уже описаны нормальные кариотипы почти всех представителей нашей фауны. В этих работах мы значительно опередили наших американских коллег, начавших цитогенетическое обследование своей фауны раньше нас.

В конце 60-х годов в отдельных публикациях западногерманских и английских исследователей появились сообщения о различиях в хромосомных наборах диких баранов и домашних овец. Однако эти публикации были основаны на материа-



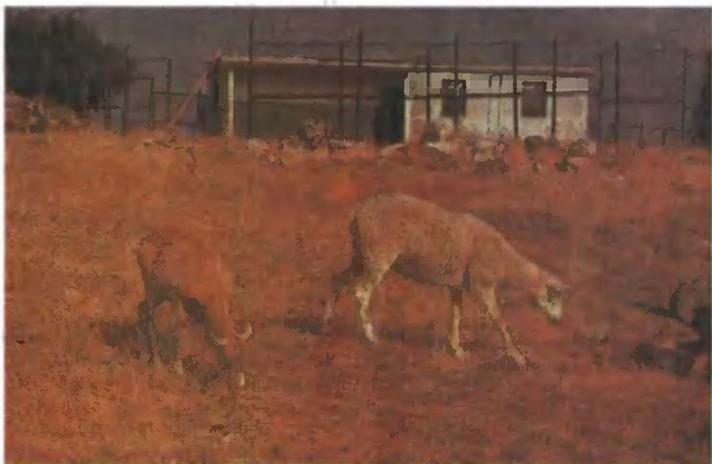
лах из зоопарков, в которых часто сохраняются животные неизвестного происхождения и может идти случайная гибридизация. Возникли сомнения в достоверности результатов; стало ясно, что нужно изучить хромосомы диких баранов в природе.

В 1968 г. на проходившем в Москве Международном конгрессе биологов-охотоведов первый автор этой статьи обсуждал с американским зоологом Р. Хофманом возможность целенаправленного исследования генетики диких баранов в их природных популяциях. Главными представлялись популяции Среднего Востока и СССР. В 1969—1971 гг. состоялись экспедиции в разные районы Ирана, Туркмении, Таджикистана, проведенные порознь американскими и советскими биологами. В 1971 г. на основе соглашения между АН СССР и Национальной академией наук США была создана совместная советско-американская меакадемическая программа «Генетика, систематика и зоогеография голарктических млекопитающих». В рамках этой программы, а затем соглашения по охране окружающей среды, состоялись совместные советско-американские экспедиции: в 1971 г. на Алтай, а в 1976 г. на Колымское нагорье.

В итоге этих работ было показано, что если все породы домашних овец имеют 54 хромосомы, то диких баранов Голарктики можно разделить на пять цитогенетически различных видов¹. Самые мелкие — европейские муфлоны Корсики и Сардинии (*Ovis musimon*), акклиматизированные также в предгорьях Альп, Татрах и у нас в Крыму, и более крупные азиатские муфлоны (*O. orientalis*) имеют $2n=54$ (как и домашние овцы). На востоке Ирана, в Афганистане, Туркмении и на юго-западе Таджикистана



Трехлетний самец муфлона во время линьки.



Пятимесячные ягнята: муфлона (слева) и гибрида первого поколения.

их сменяют еще более крупные уриалы (*O. vignei*, $2n=58$). От Памира до Монголии простирается ареал самых крупных баранов — архаров и аргали (*O. ammon*, $2n=56$). На северо-востоке нашей страны живут снежные бараны (*O. nivicola*) с $2n=52$. На Аляске обитают аляскинские снежные бараны (*O. dallii*), а к югу от таежной зоны Канады — канадские бараны-толстороги (*O. canadensis*); обе эти формы имеют по 54 хромосомы. Результаты хромосомного анализа говорили о том, что domestikация баранов могла происходить лишь к западу от линии Кас-

пий — Персидский залив, а уриалы, архары и аргали должны быть исключены из числа прямых предков домашних овец².

На основании полученных данных были выдвинуты предложения об использовании генофонда диких баранов в отдаленной гибридизации с домашними

¹ Воронцов Н. Н., Коробицына К. В., Надлер Ч. Ф., Хофман Р., Сапожников Г. Н., Горелов Ю. К. Хромосомы диких баранов и происхождение домашних овец // Природа. 1972. № 3 С. 74—82; Они же // Зоол. журн. 1972. Т. 51. № 8. С. 1109—1122.

² Воронцов Н. Н. О работах по советско-американской программе «Систематика и эволюция голарктических млекопитающих» // Биологические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток, 1975. С. 23—28.

овцами³. Ясно, что европейский и азиатский муфлоны, равно как аляскинский и канадский бараны, имеющие не только одинаковое число ($2n=54$), но и идентичную морфологию хромосом, могут давать плодовитые потомство как с домашними овцами, так и в любых сочетаниях друг с другом. Последнее обстоятельство открывает определенные перспективы в продвижении овцеводства на север и в более суровые зоны высокогорий. В США в 70-х годах были получены плодовитые гибриды европейского и канадского муфлонов. В Чикагском зоопарке начаты работы по отдаленной гибридизации канадских горных баранов с домашними овцами.

Какую из 54-хромосомных форм диких баранов, обитающую в СССР, следовало бы взять для работ по отдаленной гибридизации? В Крыму акклиматизирован европейский муфлон, в Армении и Азербайджане сохраняются в небольшом числе (около 500 особей) более крупные дикие бараны (*O. orientalis armeniana*), относящиеся к самостоятельному подвиду азиатского муфлона. Вполне понятны причины, в силу которых в Зоологическом институте АН АрмССР обратили свое внимание именно на генофонд автохтонной (аборигенной) формы баранов. Последующие исследования показали, что предпочтение азиатской формы муфлона по сравнению с европейской было оправдано и с генетической точки зрения.

Вопрос о родственных связях европейских муфлонов Корсики и Сардинии с муфлонами о. Кипр (форма *orhion*) и с азиатскими муфлонами (*O. orientalis*) оставался неясным. До относительно недавнего расселения корсиканских муфлонов дикие бараны в континентальной Европе отсутствовали со времен верхнего палеолита. Вызывало удивление, почему бараны сохранились в значительно более уязвимых островных экосистемах, но исчезли на мате-

рике. Впрочем, зная бурную историю Европы в ледниковый период, можно было предположить, что именно на крупных островах Средиземноморья и сохранились дикие бараны.

Известно, что на средиземноморских островах вплоть до голоцена существовали карликовые формы крупных копытных. Так, карликовый бегемот обитал на Мальте, Крите и Кипре. На островах Средиземного моря жили и карликовые слоны. В последние годы стало известно, что вскоре после заселения человеком островов Средиземноморья миниатюрные варианты крупных млекопитающих были уничтожены и верхнепалеолитические охотники вынуждены были покинуть острова. На Корсике и Сардинии и на Кипре в отложениях возрастом около 7 тыс. лет кости диких баранов отсутствуют, нет их и в тех слоях пещерных отложений Кипра, где находят остатки карликовых слонов и карликовых бегемотов. По мнению известного английского археолога Э. Легга и других исследователей, дикие бараны появились на островах Средиземноморья в результате древнейшей акклиматизации! Поскольку 7 тыс. лет назад муфлоны в континентальной Европе, по-видимому, уже не встречались, предполагается, что на Корсику, Сардинию и Кипр бараны были завезены из Малой Азии. В этом случае можно говорить, что островной европейский муфлон произошел от азиатского. Значительно более мелкие размеры европейского муфлона по сравнению с азиатским, вероятно, объясняются не условиями островной изоляции, а скорее ограниченностью исходного генофонда и близкородственным скрещиванием — инбридингом.

Трудно привыкнуть к неожиданной гипотезе о происхождении островных муфлонов и сразу отказаться от представления об их видовой самостоятельности. Но если эта гипотеза справедлива, то более крупные азиатские муфлоны интересны для отдаленной гибридизации с домашними овцами не только из-за большего веса, но и из-за большего разнообразия своего генофонда, не испытывавшего влияния упомянутого

вначале отбора, который накладывает свой отпечаток на все акклиматизируемые в небольшом числе особей виды.

В 1976 г. в Зоологическом институте АН АрмССР организован питомник для разведения в неволе подвидов азиатского муфлона и последующего выпуска животных в природу. Армения и Азербайджан относятся к северной периферии ареала этого барана, и восстановление численности в природе представлялось затруднительным без «подпитки» природных популяций искусственно выращенными животными. Нельзя ли, используя неограниченные ресурсы генофонда домашних овец, создать на основе поглотительного скрещивания достаточно большую группу животных, похожих на своих диких предков? Выпустить таких животных за пределы современного ареала чистых муфлонов (некогда дикие бараны обитали в высокогорье, но ныне исчезли), т. е. в горно-охотничьи хозяйства, представлялось соблазнительным.

Созданная в питомнике группа азиатских муфлонов позволила начать отдаленную гибридизацию с домашними овцами. В 1982 г. самцов азиатских муфлонов скрестили с самками полукорунных домашних овец породной группы корридель. Полученные гибридные особи первого поколения (F_1) отличались ярко выраженной промежуточной наследственностью. Компактное телосложение, большие рога, длинные ноги гибриды унаследовали от дикой формы, тогда как шерстный покров они взяли от матери. Окраска щаж наследовалась от матери, хотя у части гибридов наблюдалась равномерно коричневая (как у отцов) или пятнистая окраска.

В 1986 г. были получены

³ Коробицына К. В., Воронцов Н. Н. Хромосомные наборы диких баранов и пути использования генофонда рода *Ovis* в отдаленной гибридизации с домашними овцами // Там же. С. 153—158.

⁴ Гаспарян К. М., Маркарян Э. Г. Перспективы восстановления численности армянского муфлона // Редкие виды млекопитающих и их охрана. Материалы II Всес. совещ., М., 1977. С. 196—197; Минасян Л. Г., Гаспарян К. М., Антонян А. Ш., Хримян А. Н. // Биол. журн. Армении. 1986. № 9. С. 86—92.

первые гибриды от поглотительного скрещивания самок гибридов первого поколения с самцами муфлонов. К настоящему времени имеется уже 35 гибридов первого и второго поколений. Среди них есть ягнята, по окраске и телосложению близкие к муфлонам. Планируется вести поглотительное скрещивание с муфлонами до 5—6 поколения, когда «доля крови» домашних овец составит $1/32$ — $1/64$. Полученные животные могут быть использованы в экспозициях зоопарков, в охотничьих хозяйствах и в дальнейших опытах по отдаленной гибридизации с другими видами диких баранов и породами домашних овец.

Одновременно гибридных самцов первого поколения скрещивали с овцами породной группы корридель. Полученных гибридных потомков в дальнейшем разводили путем близкородственного скрещивания особей, имеющих ценные хозяйственные качества. Гибридные овцы унаследовали от муфлонов более крепкую конституцию, длинные ноги — качества, которые делают животных более приспособленными к высокогорным пастбищам.

Таким образом, опыты по отдаленной гибридизации азиатских муфлонов с домашними овцами дали обнадеживающие результаты как для охотничьего, так и для сельского хозяйства.

Различия в числе хромосом у баранов не являются непреодолимым барьером для скрещивания. Еще в 1923 г. академик Н. В. Насонов обратил

внимание на крайнюю гетерогенность горных баранов группы «erskinei» с хребта Эльбурс на севере Ирана⁵. Цитогенетические исследования показали, что здесь в узкой 150-километровой полосе уриалы, имеющие 58 хромосом, свободно скрещиваются с 54-хромосомными азиатскими муфлонами, давая гибридное потомство с 56 (F_1), 55 и 57 (при возвратном скрещивании) хромосомами. Однако у таких особей часть половых клеток из-за нарушения мейоза нежизнеспособна. У самцов снижение жизнеспособности части спермиев может оказаться незаметным для экспериментатора, но гибель части яйцеклеток заметно уменьшает плодовитость самок. Для преодоления пониженной плодовитости можно рекомендовать специальные системы скрещивания.

Так, для продвижения овецоводства на север, в частности в зону БАМа, в качестве исходного материала можно использовать 54-хромосомных гибридов первого поколения от 52-хромосомных снежных баранов и очень крупных 56-хромосомных баранов аргали, обитающих на Алтае, в Туве и Монголии. В Новой Зеландии поддерживается для экспериментальных целей линия домашних овец, имеющих 52 хромосомы: две мелкие пары хромосом слились в одну крупную.

Гибридизация таких овец со снежными баранами фауны СССР, также имеющих 52 хромосомы, по-видимому, может идти беспрепятственно. Несомненный интерес для гибридизации могут представлять и 58-хромосомные уриалы с удивительно длинной шерстью на груди, обитающие в низкогорьях Туркмении, Узбекистана и Таджикистана.

Генетическое и морфологическое разнообразие четырех видов диких баранов в нашей стране чрезвычайно велико — насчитывается до 22 подвидов. Однако численность большинства из них критическая — горные бараны занесены в общесоюзную и республиканские Красные книги. А ведь ценность каждой из этих форм и как, в первую очередь, источника генофонда для отдаленной гибридизации с домашними овцами, и как потенциального охотничьего животного исключительна. Давние опыты Луса и его сотрудников в Киргизии, Иванова в Аскании-Нова и ведущиеся ныне в Армении эксперименты по отдаленной гибридизации разных форм диких баранов говорят о перспективности использования генофонда диких родичей домашних животных. К сожалению, далеко не все подвиды диких баранов охраняются в специальных заповедниках. Создание сети заповедников и заказников, обеспечивающих сохранение всего природного разнообразия форм диких баранов, настоятельно необходимо не только с общекультурной, но и с хозяйственной точки зрения.

⁵ Насонов Н. В. Географическое распространение диких баранов Старого Света. П., 1923; Цалкин В. И. Горные бараны Европы и Азии. М., 1951.

ЗАЙСАНСКАЯ КРУГЛОГОЛОВКА

Е. А. Дунаев
Д. В. Семенов

Институт эволюционной морфологии и экологии
животных им. А. Н. Северцова АН СССР
Москва

ПОЗВОНОЧНЫЕ животные нашей страны изучены настолько полно, что обнаружение неизвестного ранее вида становится зоологической сенсацией. Чаще появление в списках фауны СССР новых видовых названий связано с ревизией недостаточно исследованных групп животных. Именно так в последние годы появился целый ряд новых видов и подвидов в роде фриноцефалов, которых теперь принято называть круглоголовками, и среди них — зайсанская круглоголовка (*Phrynoscephalus melanurus*).

Один из основоположников отечественной герпетологии (зоологии пресмыкающихся) Я. В. Бедряга отмечал: «Определение и описание фриноцефалов представляет труднейшую задачу, с которой только могут иметь дело герпетологи»¹. С того времени прошло 80 лет, но фриноцефалы остаются наименее изученными ящерицами нашей страны. До сих пор нет окончательных сведений даже о видовом составе этого рода пустынных агам, хотя их изучение началось еще в XVIII в.

История изучения зайсанской круглоголовки восходит к 1831 г., когда Е. Эйхвальд впервые дал ее описание. Однако затем о зайсанской круглоголовке как о самостоятельном виде не упоминалось более

150 лет. Интересно, что во время одного из тибетских путешествий Н. М. Пржевальского в Зайсанской котловине было собрано несколько экземпляров круглоголова, по которым позднее были описаны четыре (1) «новых» вида — *Ph. salenskyi*, *Ph. haeckeli*, *Ph. isseli* и *Ph. bedriagai*. Однако и эти таксоны не были признаны, и до последнего времени считалось, что в Зайсанскую котловину заходят два широко распространенных вида: круглоголовка-вертихвостка (*Ph. guttatus*) и пестрая круглоголовка (*Ph. versicolor*), которые, как предполагалось, к тому же скрещиваются между собой. В музейных коллекциях из этих мест ящерицы определялись то как *Ph. guttatus*, то как *Ph. versicolor*, хотя в банках находились фактически неотличимые друг от друга заспиртованные ящерицы. Лишь в 1984 г. исследователь из ГДР Г. Петерс, проведя ревизию центральноазиатских круглоголовок, пришел к выводу, что зайсанскую форму следует считать самостоятельным видом. Позднее его вывод был подтвержден одним из авторов этой заметки (Д. В. Семеновым), нашедшим статистически достоверные различия по ряду экстерьерных признаков между зайсанской круглоголовкой, пестрой круглоголовкой и круглоголовкой-вертихвосткой.

Трудности выяснения таксономического статуса зайсанской круглоголовки были обусловлены несколькими причинами: слабой изученностью рода в целом, высокой и еще не до конца ясной изменчивостью двух близких видов — *Ph. guttatus* и *Ph. versicolor* — и тем, что все

исследователи имели дело с фиксированными, потерявшими естественную окраску экземплярами. Между тем живые зайсанские круглоголовки довольно хорошо отличаются от остальных видов интенсивно-оранжевой окраской нижней стороны хвоста молодых особей, а также рядом других особенностей окраски.

Несмотря на то что вопрос о систематической принадлежности зайсанской круглоголовки дискутировался долгие годы, оказалось, что о ее биологии вообще ничего не известно. Поэтому мы приводим здесь данные, собранные одним из авторов заметки (Е. А. Дунаевым) в июне 1985 г. в долине р. Черный Иртыш, а также полученные при обработке музейного материала.

Зайсанская круглоголовка несколько крупнее большинства круглоголовок нашей страны. Длина тела самцов (без хвоста) достигает 58 мм, а самок — не больше 56. Половая зрелость наступает на втором году жизни, и в первой половине лета популяция состоит из двух возрастных групп — взрослых и неполовозрелых особей, в то время как у ряда круглоголовок, например песчаной, пестрой, сетчатой, к началу сезона размножения все особи популяции — взрослые.

Как и круглоголовка-вертихвостка, зайсанская круглоголовка обитает в полужерепленных песках, где плотность популяции достигает 23 экземпляров на 1 км маршрута.

Зайсанская круглоголовка роет норы глубиной около 23 см и длиной 28 см с одним выходом, но может использовать и

¹ Бедряга Я. В. Научные результаты путешествий Н. М. Пржевальского по Центральной Азии. Отд. зоол. СПб, 1907. Т. 3. Ч. 1. С. 73.



Угрожающая поза с широко открытым ртом — характерная особенность круглоголовок.

Перед стремительным броском за добычей круглоголовка осматривает территорию с небольшой возвышенности, выбирая наиболее короткий путь.

Способность закручивать хвост спиралью — еще один отличительный признак круглоголовок, в том числе и зайсанской.



норы тушканчиков. От опасности скрывается как в норах, так и в кустах кандыма (*Calligonum* sp.).

В июне эти ящерицы активны в течение всего дня, но больше всего их появляется на поверхности в теплое полуденное время, им, как и пестрой круглоголовке, свойственны различия в характере суточной активности молодых и взрослых особей.

В питании зайсанской круглоголовки преобладают муравьи, но это не единственный вид пищи. В желудках одной из просмотренных нами выборок муравьи составляли лишь 6,5 % от всего съеденного ящерицей. В больших количествах ящерицы поедают жуков, перепончатокрылых, иногда в желудках попадают сочные части растений.

Как и подавляющее большинство других видов агамовых ящериц, зайсанская круглоголовка откладывает яйца (среди круглоголовок есть и живородящие виды). Несмотря на крупные размеры тела, число яиц в кладке невелико — обычно 2—3. В середине июня в яйцеводах некоторых самок имеются яйца, уже вполне сформировавшиеся (размером 16×9 мм).

Зайсанская круглоголовка занимает небольшой ареал, за пределами нашей страны не найдена и, вероятно, является эндемиком СССР. Как эндемичный и слабо изученный вид, обитающий на узком ареале, зайсанская круглоголовка должна быть включена в «Красную книгу СССР».



НАУЧНОЕ БУРЕНИЕ В АРКТИКЕ — МЕЧТА ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ ?

В. В. Здоровенин,

кандидат геолого-минералогических наук
Комиссия АН СССР по проблемам Мирового океана
Москва

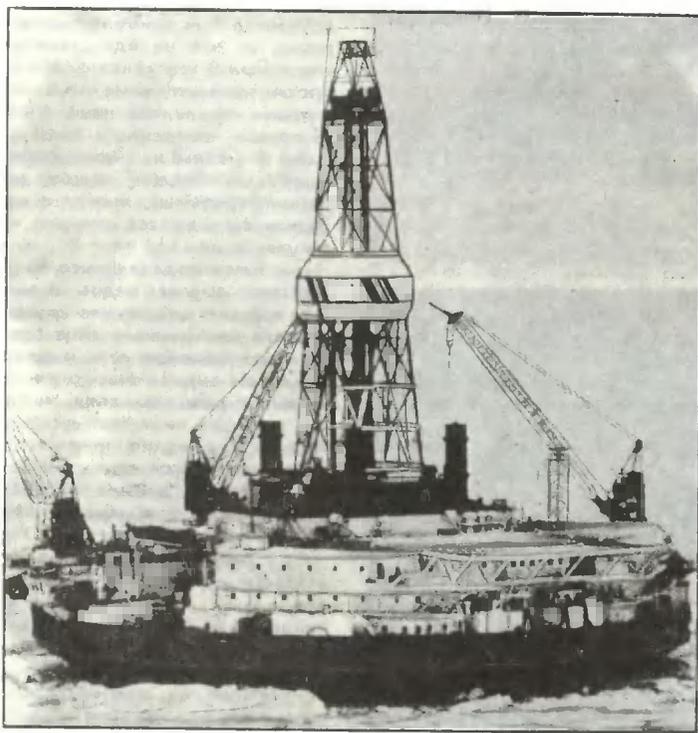
Н И ОДИН специалист, изучающий геологическую историю Земли, не может ныне обойтись без данных научного бурения в океане. Оно было начато в 1968 г. по Проекту глубоководного бурения с американского бурового судна «Гломар Челленджер» (в 1974—1982 гг. в этом проекте участвовала Академия наук СССР). В умеренных широтах уже про-

бурены сотни скважин, давших огромное количество ценной информации. Острой необходимостью стало получение таких данных в полярных районах, в первую очередь в Северном Ледовитом океане, где бурение пока было неосуществимо из-за суровых условий. Знание геологической истории арктического бассейна, связанного с прилегающими континентами

и другими океаническими бассейнами, позволит составить полную модель тектонических движений и восстановить палеогеографию Северного полушария в позднем мезозое и кайнозое. Кроме того, изучение этих движений, а также строения, палеонтологии и палеосреды осадочного фанерозойского разреза циркумполярного обрамления Арктики важно для освоения запасов нефти и газа в этом районе.

Большинство поднятых в арктическом бассейне глубоководных кернов имеет длину всего около 3 м; наиболее длинные не превышают 10 м. Лишь четыре образца глубинных осадочных пород имеют возраст более 40 млн лет; в остальных кернах, а их насчитывается более 600, осадки не древнее 5 млн лет. В то время как наиболее древние из поднятых осадочных пород отлагались в условиях умеренного климата и активной морской продуктивности, более молодые осадки формировались уже в ледовых условиях. Бурение позволило бы восполнить пробелы в картине климатической эволюции Арктики. Это, в свою очередь, дало бы возможность произвести глобальную корреляцию палеоклиматических изменений в Арктике с динамикой развития Мирового океана, атмосферы и биосферы.

Экстраполяция палеоклиматических данных позволит ответить на вопрос, к каким последствиям для ледового баланса Земли, океанической и атмосферной циркуляции приведет накопление в атмосфере двуокси углерода и других га-



Общий вид буровой платформы «Куллук».



Места возможного заложения буровых скважин (цветные точки) в арктическом бассейне; цифры на изолиниях — глубина океана в метрах.

зов, создающих парниковый эффект.

Научное бурение в Арктике решило бы и ряд важных структурно-тектонических проблем. В частности, результаты бурения необходимы для выяснения структуры и происхождения хребтов Альфа и Ломоносова. Палеотектонические реконструкции Арктики невозможны без данных о происхождении Чукотского плато и его краевых приподнятых частей; отсутствуют геологические данные о строении плато Ермака и поднятия Морриса-Джесупа.

Одним из ключевых районов считается также море Линкольна, где хребты Ломоносова и Альфа соединяются с континентами, а пролив Нарес входит в арктический бассейн. Противоречивые представления относительно того, является ли пролив Нарес трансформным разломом, вдоль которого «скользила» Гренландия, тоже

можно уточнить на основе данных бурения, как и более общие вопросы об эволюции океанских «коридоров», связывающих ныне биогеографические провинции Арктики и Северной Атлантики. К важным объектам возможного бурения следует отнести геологические структуры между Гренландией и Шпицбергом: по некоторым представлениям, побережья этих островов есть результат рифтогенеза и сдвига, и бурение могло бы восстановить точную картину геологического развития и этого района.

Таковы лишь некоторые из весьма заманчивых для геологов целей и задач научного бурения в Арктике. А каковы его технические возможности?

На совещании морских геологов, состоявшемся в Бедфордском океанографическом институте (Канада) в декабре 1986 г., были намечены возможные места заложения скважин

и определены необходимые научно-технические требования к бурению в Арктике¹. Для решения существующих научных задач на любой скважине, по мнению участников совещания, требуются: наличие технических возможностей бурения при глубинах моря от 10 до 4000 м на глубину от 100 до 1000 м под дном; непрерывный отбор керна, а в случае необходимости — непрерывный геофизический каротаж с высокой разрешающей способностью; технические возможности бурения в зонах припайного, плавучего и пакового льда.

Проанализировав технический уровень промышленного бурения, производимого в Арктике нефтедобывающими компаниями, специалисты пришли к выводу, что использование технологий этих буровых работ, наряду с техническими достижениями научного океанского бурения, позволило бы осуществить программу научного бурения в Арктике. Так, буровые работы на мелководных участках шельфа моря Бофорта могут быть проведены с используемых нефтеразведчиками или покинутых ими искусственных островов. Бурение на среднем и внешнем континентальном шельфе можно проводить в годы с более легкими ледовыми условиями. Для этого целесообразно использовать научно-исследовательское буровое судно «ДЖОЙДЕС Резолюши» или одно из судов для промышленного бурения.

Наиболее трудную техническую задачу представляет бурение на больших глубинах. Ее можно было бы решить с помощью специальных арктических буровых платформ типа стальной платформы «Куллулук» компании «Галф ойл» или бетонной платформы компании «Глобал марин». Более эффективным в экономическом отношении подходом может оказаться использование для буровых работ в Арктике самого большого в мире ледокола, строящегося сейчас в Канаде.

¹ Geotimes. 1987. Vol. 32. № 8. P. 8—9.

УДИВИТЕЛЬНЫЙ МИР

Б.М.Шмакин



Кристаллы голубого топаза с дымчатым кварцем и лепидолитом [Урал; месторождение Мурзинка].
Здесь и далее образцы пегматитов из коллекции Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана АН СССР.

ПЕГМАТИТОВ

ПЕГМАТИТЫ (от греч. πέγμα — крепкая связь, нечто сплоченное) — породы, давно привлекающие геологов крупными, даже гигантскими, размерами слагающих их минералов, характерной структурой, сложным и разнообразным минеральным составом, очень высокой концентрацией легколетучих, редких и рассеянных элементов. Еще в начале 30-х годов известный американский геолог Ф. Хесс писал, что пегматиты — самая причудливая, самая противоречивая, самая сложная и вместе с тем самая интересная из всех известных горных пород.

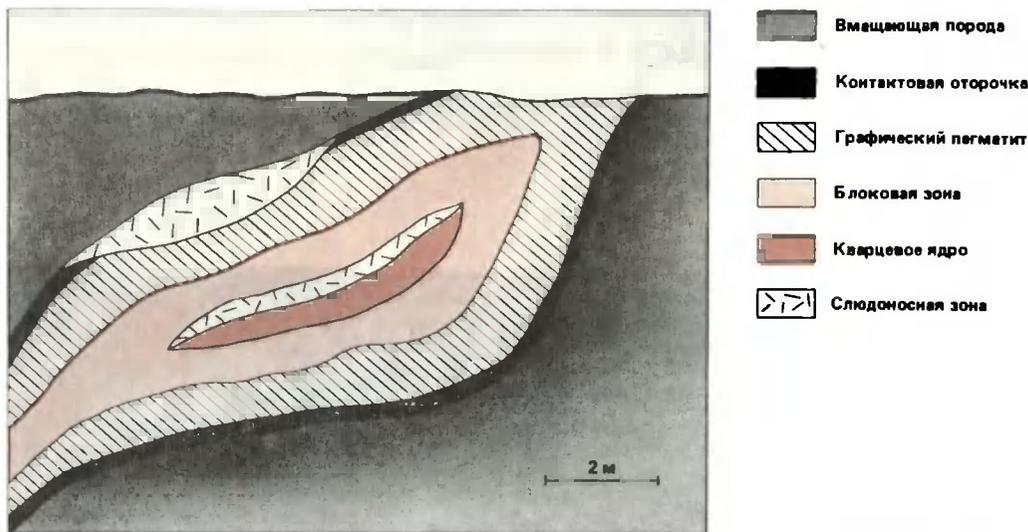
Увидеть эти породы совсем несложно, так как слово «пегматит» определяет прежде всего большой размер зерен самой обычной горной породы: гранита, диорита, сиенита и др. Почти в любой гранитной плите — например, на полу или стенах станций метро — встречаются жилки и линзы, состоящие из крупных зерен тех же полевых шпатов, кварца и слюды, которые входят в состав гранита. А ведь это уже пегматитовые жилки и линзы! Правда, в пегматитовых месторождениях мощность жил и линз измеряется метрами и десятками метров, а кроме главных минералов в них насчитывается множество других, содержащих чуть ли не все элементы таблицы Менделеева. Но, в принципе, это те же гранитные пегматиты, что и в плитах станций метро.

Еще в средние века из пегматитов начали извлекать белую прозрачную слюду, крупные пластины которой вставляли в окна. Кстати, минералогическое название этой слюды — мусковит — происходит от Московии, снабжавшей этим замечательным минералом всю Европу. В начале нашего столетия из пегматитов были получены первые граммы радиоактивного урана. Во время Великой Отечественной войны пегматиты снабжали оборонную промышленность страны не только слюдой, но и пьезокварцем, бериллием, оловом. В 50-е годы наступила очередь лития, тантала и цезия. Советские геологи сумели найти на нашей огромной территории пегматитовые месторождения самого разного состава.

Период некоторого снижения интереса к пегматитам (из-за того, что были обнаружены крупные месторождения иного типа), приходившийся на 60—70-е годы, сменился сейчас новым «пегматитовым бумом». Ведь гранитные пегматиты пока остаются единственным источником цезия и крупных пластин мусковита. Они дают лучшие руды лития и тантала, а в ряде стран продолжают оставаться поставщиками бериллия, олова и пьезокварца. Для ювелиров и многочисленной армии любителей камня пегматиты являются средоточием красивейших драгоценных и поделочных камней: аквамарина, топаза, кунцита, розового и полихромного турмалина, амазонита, а также замечательных друз — сростаний кристаллов одного или нескольких минералов.



Борис Матвеевич Шмакин, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий лабораторией геохимии пегматитов Института геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения АН СССР. Автор многочисленных работ по геохимии, минералогии и происхождению пегматитов, в том числе монографий: Мусковитовые и редкометалльно-мусковитовые пегматиты. Новосибирск, 1976; Гранитные пегматиты США (в соавторстве с Г. А. Толуновой). М., 1981; Пегматитовые месторождения зарубежных стран. М., 1987. Неоднократно публиковался в «Природе».



Зональное строение, характерное для большинства пегматитовых тел. В мусковитовых пегматитах за внешней мелкозернистой оторочкой обычно следуют зона графического пегматита (письменного гранита) и крупно-блоковая кварц-полевошпатовая зона. В центра часто имеется кварцевое ядро. Слюдоносные зоны прерывисты и располагаются вокруг кварцевого ядра или аблизи границы с окружающими породами.

Поскольку пегматитовые жилы, выходящие на земную поверхность, полностью выработаны, большое значение приобрели методы поиска «слепых» жил, которые скрыты в толще горных пород. В этой связи потребовалось минералогическое и геохимическое изучение тех изменений вмещающих пород, по которым можно было бы обнаружить пегматитовые жилы, скрытые на глубине. Эту задачу советские специалисты сумели решить раньше своих зарубежных коллег. На современном этапе развития геологического поиска, когда с меньшими затратами требуется получить больше результатов, особый интерес представляют геохимические методы обнаружения слепых рудных тел, в том числе и пегматитовых.

Не угасает интерес и к проблеме генезиса пегматитов. Некоторым читателям «Природы», по-видимому, памятна острая дискуссия о происхождении этих пород, в которой участвовали такие крупнейшие специалисты, как А. Е. Ферсман, А. Н. Заварицкий, Д. С. Коржинский и многие другие советские и зарубежные геологи. Она принесла несомненную пользу, заставляя оппонентов находить все новые и новые аргументы, привлекать огромный фактический материал по пегматитам Урала и Сибири, Индии и США, многих стран Африки и Южной Америки. Важно, что решение этой,

на первый взгляд, чисто теоретической проблемы имеет и практическое значение, поскольку к разным по генезису пегматитам применяются разные методы их поиска и разведки.

ГЛАВНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ПЕГМАТИТОВ

Существует множество классификаций, в большинстве из которых пегматиты делятся по аналогии с близкими им по составу мелкозернистыми породами (гранитами, сиенитами, габбро и др.) на гранитные пегматиты, сиенит-пегматиты, габбро-пегматиты и т. д. Промышленный интерес имеют по существу только гранитные пегматиты, о которых и пойдет речь в этой статье. Среди гранитных пегматитов по тем полезным ископаемым, которые из них извлекают, принято выделять мусковитовые и редкометалльные, а также пегматиты с горным хрусталем и драгоценными камнями.

Мусковитовые пегматиты по минеральному составу мало чем отличаются от гранитов: кроме природного кремнезема — кварца, в них входят два полевых шпата — калиевый и натриевый, а также две слюды — мусковит и биотит (непрозрачная магнезиально-железистая слюда). Но пегматитовым телам свойственна зональность, ко-

торая проявляется в закономерном расположении мелкозернистых и крупнозернистых зон вокруг кварцевого ядра.

Для мусковитовых пегматитов характерны своеобразные по рисунку сростания кварца и полевого шпата, которые и получили первоначально название пегматит. Эти сростания из-за сходства с древними письменами именуются также письменным гранитом, графическим пегматитом, еврейским камнем. Из такого камня в старину делали амулеты и украшения, а в ряде случаев он приобрел местные названия: тинт в Норвегии, тамга-камень на Северном Урале, камень-рябчик на Южном Урале.

Крупные кристаллы мусковита распределены в пегматитах не равномерно, а в виде отдельных слюдоносных зон, то имеющих секущий характер («жила в жиле»), то приуроченных к границам пегматитовых жил или их кварцевого ядра. Для полого залегающих жил характерна асимметричная зональность, причем слюдоносные зоны располагаются возле границы жил с окружающими породами.

Детальными исследованиями сотрудников нашей лаборатории было показано, что вокруг пегматитовых жил, содержащих большое количество мусковита, всегда отмечаются широкие ореолы изменения окружающих пород. В пределах ореолов проявлены процессы окварцевания (до 2—4 м от контакта), образования калиевого полевого шпата (до 20—50 м), мусковитизации (до 10—30 м). Содержания калия, бария и рубидия в ореолах повышены, а кальция, магния и железа — понижены. Жилы без мусковита лишены таких ореолов.

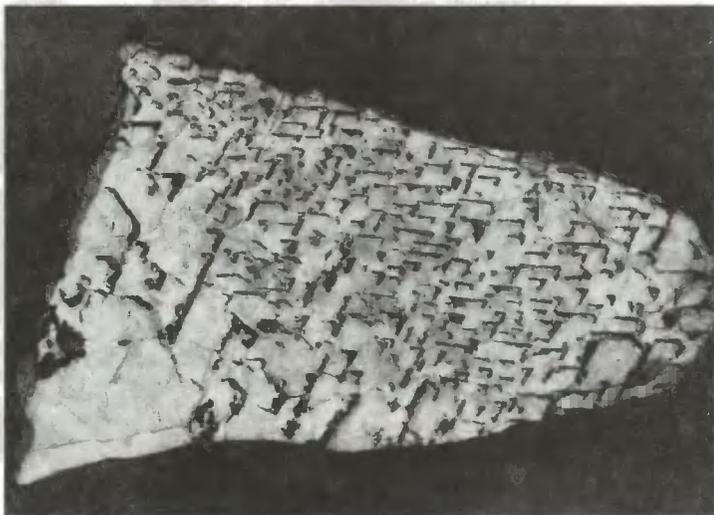
Характерные для пегматитов сростания кварца (темное) и полевого шпата (светлое), именуемые письменным гранитом, или еврейским камнем. Данная структура возникла благодаря равенству некоторых расстояний между одинаковыми атомами, входящими в кристаллическую решетку обоих сростающихся минералов.

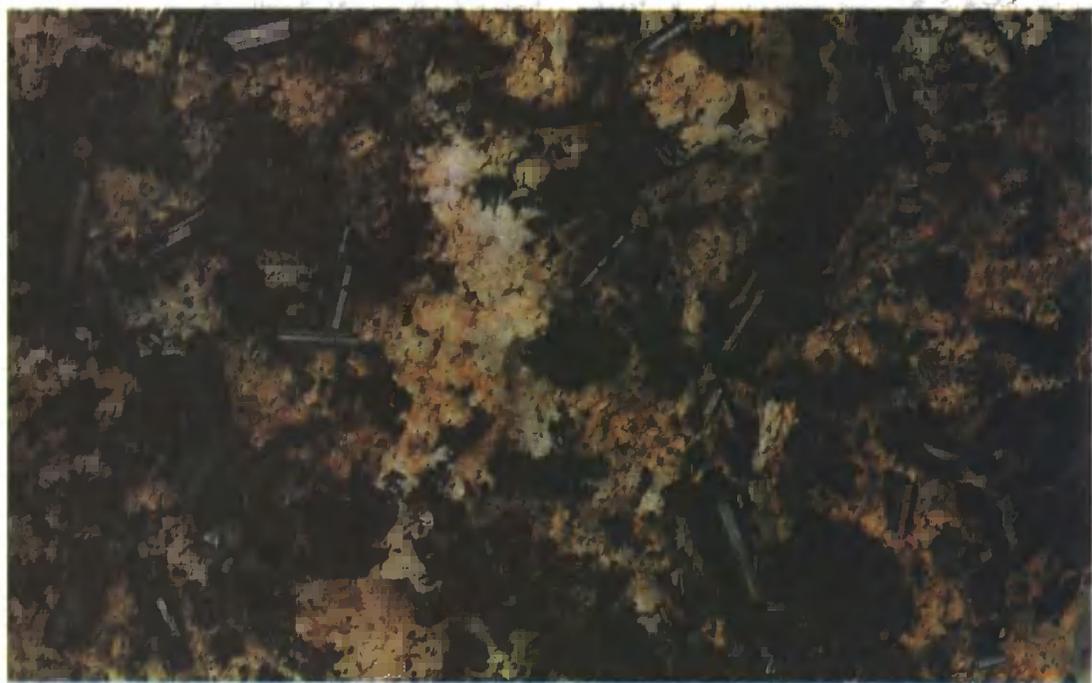
Пегматитовые жилы, содержащие промышленные концентрации лития, цезия, тантала и бериллия (обычно вместе с рубидием, ниобием и оловом), называют **редкометалльными.** Их также отличает зональное строение, но зон здесь обычно больше, чем в мусковитовых пегматитах, и в центре жил очень часто расположены вторичные зоны, образовавшиеся в результате замещения — метасоматоза исходных зон.

В состав первичных зон редкометалльных пегматитов, как правило, входят силикаты или фосфаты лития, а при замещении первичных литиевых минералов образуются слюды с высоким содержанием лития.

Особенно сложна зональность крупных пологих тел редкометалльных пегматитов. Она всегда симметрична, причем нередко одинаковые по составу зоны находятся в разных частях тел, что не позволяет выявить какую-либо закономерность в последовательности их образования. Не всегда удается объяснить строение таких тел и процессами замещения первичных ассоциаций вторичными. В частности, крупные мономинеральные зоны силиката цезия — поллукита и практически мономинеральные зоны лепидолита на крупнейших месторождениях редкометалльных пегматитов Бикита (Зимбабве) и Берник-Лэйк (Канада) не укладываются в «нормальный» ряд зональности.

В редкометалльных пегматитах, как и в мусковитовых, вокруг жил развиты ореолы измененных пород. Причем при мощности жилы от нескольких метров до 40—50 м ореолы только по одну сторону от нее составляют от десятков метров до 150—200 м. Здесь тоже проявляются процессы мускови-





Черный шерл (Урал; месторождение Мурзинка).

Прозрачный топаз (Украина; Володар-Волыньское месторождение).

Кристаллы полихромного турмалина в кварце (Казахстан; Калбинский хр.).

Крупные кристаллы астрофиллита (Хибинь).

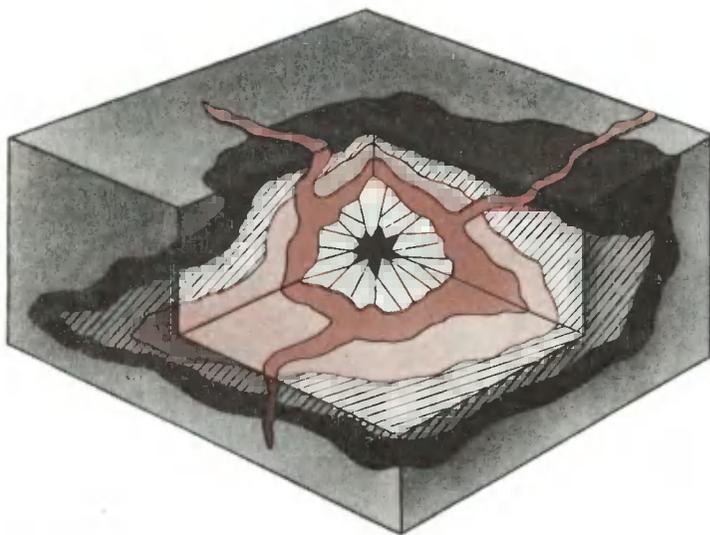


тизации и окварцевания пород, но главная особенность ореолов редкометалльных пегматитов — обогащение их литием и образование специфических литиевых минералов. Кроме того, возле пегматитовых жил, богатых цезием, появляется цезиевый биотит, содержащий до 3—6 % Cs.

Пегматиты с крупными кристаллами кварца и драгоценных камней обычно называют миароловыми, поскольку эти кристаллы образуются в полостях (миаролах) внутри пегматитового тела. Если жилы с полостями расположены в пределах материнского гранитного массива, пегматиты носят название камерных. Обычно эти жилы имеют концентрическое зональное строение и содержат крупные кристаллы горного хрусталя, а также топаза, берилла, полевых шпатов. Иногда промежутки между кристаллами заполнены флюоритом, но чаще — глинистыми массами. В старину уральские рудознатцы называли эти массы салом, так как на ощупь они кажутся жирными.

Нередки миаролы и в редкометалльных пегматитах. Здесь в числе кристаллов, растущих на стенках полостей, преобладают те же минералы, что и в окружающих пегматитах, но это прозрачные, окрашенные в различные цвета кристаллы. Таковы лиловый





Полость с кристаллами кварца в центре концентрически зонального пегматитового тела. Видны кварцевые «проводники», пересекающие границы зон и тела в целом.

кунцит и зеленый гидденит — драгоценные разновидности сподумена. Таковы аквамарин, гелиодор и воробьевит — голубая, золотистая и розовая разновидности прозрачного берилла. Большинство исследователей считают, что в миаролах происходит растворение ранее образовавшихся минералов редкометалльных пегматитов и их перекристаллизация.

Отдельные полости с крупными кристаллами кварца, альбита и берилла встречаются и в слюдоносных пегматитах. В частности, такие полости отмечены в мусковитовых пегматитах Индии. Миаролы здесь сформировались на завершающей стадии процесса образования пегматитов, т. е. явно в результате перекристаллизации образованных ранее минералов. Такие полости принято называть вторичными, чтобы отличить их от первичных миарол большинства камерных пегматитов, где может происходить последовательная кристаллизация минералов на стенках полости, заполненной остаточной порцией гранитного расплава.

ПЕГМАТИТЫ — ПРИРОДНЫЕ МУЗЕИ МИНЕРАЛОВ

Размеры кристаллов отдельных минералов, встречающихся в гранитных пегматитах, могут поразить воображение даже профессионалов-геологов. С давних времен известны карельские пластины мусковита величиной «в дверь», блоки полевого шпата на Урале («с дом размером»). Не только мусковит или полевой шпат, но и относительно

редкие минералы образуют здесь индивидуумы удивительной величины: это знаменитые пластинчатые кристаллы сподумена длиной до 14 м (хребет Блэк-Хиллс, США), шестигранные призмы берилла объемом до 143 м³ (Мадагаскар), прозрачный кристалл топаза весом 8 т (Бразилия).

Особый интерес представляют встречающиеся в миароловых пегматитах сростания правильных кристаллов — друзы. Витрины лучших минералогических музеев мира украшают друзы из пегматитов Урала и Калифорнии, Афганистана и Австралии. Это голубые топазы на фоне гребенчатого белого альбита, розовые турмалины — рубеллиты — и красные бериллы, называемые у нас воробьевитами, а в США — моргантинами. Это сростания кристаллов полевого шпата и дымчатого или черного горного хрусталя.

Друзы красивых кристаллов из пегматитов охотно коллекционируют и музеи, и отдельные любители камня во всех странах мира. Но для науки еще больший интерес могут представлять совсем крошечные, порой внешне непривлекательные кристаллики минералов редких элементов: лантаноидов и иттрия, ниобия и тантала, циркония и гафния, висмута и сурьмы. Они тоже встречаются в друзовых полостях пегматитов, потому что эти полости образуются в самом конце кристаллизации пегматитов и их замещения.

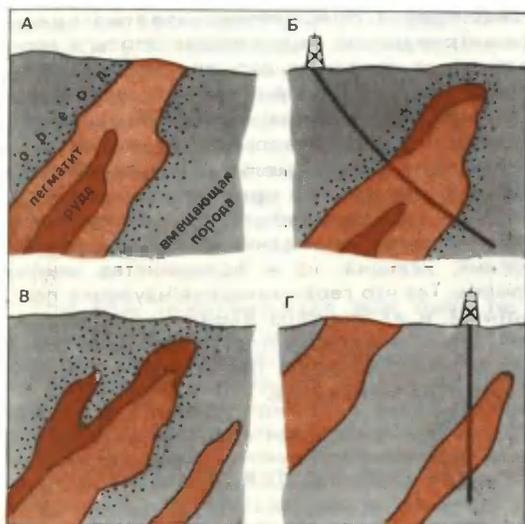
Иногда редкие элементы накапливаются и в таких пегматитовых телах, которые имеют обычные для гранитов содержания этих элементов. Если какие-то элементы (например, редкие щелочи) при крис-

таллизации основной массы пегматита не войдут в состав графических сростаний кварца с микроклином, то в конце процесса возникнет небольшой «редкометалльный погреб» с лепидолитом, литиевым турмалином и цезиевым бериллом. Именно такое происхождение этих минералов установлено автором совместно с В. М. Макагоном в одной из жил пади Иликсин на северо-западном побережье оз. Байкал, где пегматиты характеризуются самыми обычными средними содержаниями всех щелочных элементов.

Однако наиболее богаты разнообразными минералами те пегматитовые тела, которые кристаллизуются из расплавов, изначально обогащенных редкими элементами, бором, фосфором, фтором. Здесь наряду с ликвацией расплава — разделением его на две и более несмешивающиеся части — может происходить и кристаллизационная дифференциация вещества с накоплением в остатке редких компонентов. В результате редкометалльные пегматиты содержат многие десятки, а иногда и свыше сотни минералов. Причем ежегодно к списку минералов, встречающихся в пегматитах, добавляются новые названия. В 1982 г. в гранитных

пегматитах насчитывалось около 350 минеральных видов, а за последние годы к этому списку прибавилось еще несколько десятков минералов. Главная часть новых минералов пегматитов обнаружена А. В. Волошиным, И. Я. Некрасовым и другими советскими минералогами.

Новые представители минерального царства открыты преимущественно в редкометалльных пегматитах. Среди них танталаты алюминия, кальция, калия и натрия, а также ниоботанталат лития. Здесь же встречаются интереснейшие минералы, в которых объединяются элементы редкометалльных пегматитов (тантал, ниобий, цезий) с элементами, характерными для сульфидных месторождений (сурьма, висмут). Другие новые минералы представлены боратами марганца и олова, силикатами кальция, бериллия, иттрия и лантаноидов. Можно не сомневаться, что и в дальнейшем, благодаря открытию новых пегматитовых объектов и совершенствованию методов анализа, семья известных нам пегматитовых минералов будет увеличиваться. Их изучение позволит полнее представить ход минералообразования, особенно на заключительных стадиях пегматитового процесса. Кроме того, новые минералы, как известно, иногда обнаруживают неожиданные физические свойства, которые затем могут быть воспроизведены в синтетических аналогах природных соединений.



Минеральные и элементные ореолы вокруг пегматитовых тел, помогающие решать вопросы о наличии на глубине «слепого» рудного тела и присутствии неравномерно распределенных рудных минералов. А — тело выходит на поверхность своей безрудной частью, но содержит руду и окружено ореолом; Б — та же картина при встрече «безрудного» тела скважиной; В — «слепое» пегматитовое тело с рудой обнаруживается по ореолу; Г — тела без редкометалльной и мусковитовой минерализации обычно лишены ореола.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ПЕГМАТИТОВ

Для поиска пегматитовых жил, скрытых на глубине, и оценки промышленной значимости уже выявленных пегматитовых тел большое значение имеют данные о распределении редких элементов в породообразующих минералах пегматитов, а также в породах, окружающих пегматитовые жилы. Примерами таких элементов являются литий, рубидий и цезий, содержания и соотношения которых различны как в полевых шпатах и слюдах пегматитов, так и в окружающих породах. О повышенных концентрациях лития и цезия в ореолах редкометалльных пегматитов известно уже давно. Но есть среди элементов-примесей в минералах пегматитов и такие, которым прежде не уделялось достаточного внимания. Так, наши исследованиями показана важная роль бария как индикатора мусковитовых пегматитов. В калиевых полевых шпатах таких пегматитов содержится до нескольких процентов бария, и этот элемент образует четкие положительные аномалии в ореолах слюдоносных жил. Особенно интерес-

ным оказалось сравнение элементов с «противоположным» поведением, например, бария и рубидия. Концентрации первого максимальны в полевых шпатах и слюдах мусковитовых пегматитов, а второго — в тех же минералах редкометальных пегматитов. От высокотемпературных стадий пегматитового процесса к низкотемпературным содержания бария падают, а рубидия — возрастают, причем данная закономерность соблюдается в любых пегматитах (разумеется, при разных абсолютных содержаниях). В связи с этим величина отношения Ba/Rb (или аналогичных отношений Sr/Cs, Ti/Nb и др.) изменяется на несколько порядков.

Если сравнить одинаковые по времени образования генерации какого-то минерала пегматитов (например, калиевого полевого шпата), то окажется, что величина отношения Ba/Rb при переходе от мусковитовых к редкометальным пегматитам уменьшается на три порядка. Причем внутри каждой группы эта величина очень близка и в пегматитах Восточной Сибири, и в пегматитах Индии, и в пегматитах США, хотя первые имеют протерозойский, вторые — архейский или протерозойский, а третьи — палеозойский возраст. Аналогичное уменьшение величины Ba/Rb наблюдается и в мусковитах из кварц-мусковитового агрегата. При этом пегматиты одной промышленной специализации из разных регионов различаются незначительно.

В последнее время аналогичные геохимические индикаторы появились и для миароловых пегматитов. Как показал сотрудник нашей лаборатории В. Е. Загорский вместе с коллегами из экспедиции «Байкал-кварцсамоцветы», полевые шпаты пегматитов, содержащих полости с кристаллами полихромного турмалина и топаза, отличаются повышенными содержаниями лития, рубидия и цезия. Геохимические индикаторы специализации существуют и для пегматитов с пьезокварцем.

Таким образом, проанализировав вскрытые в обнажениях или даже найденные в обломках минералы пегматитов на элементы-примеси, мы можем дать заключение о промышленной специализации пегматитов и целесообразности дальнейших поисковых работ.

Оценка специализации пегматитов по геохимическим данным — не единственное практическое применение геохимических критериев. Не меньшее значение имеют и геохимические аномалии вокруг пегматитовых тел, несущих полезную минерализацию. Как мы уже отмечали, наблюдается четкая корреляция между наличием мус-

ковита или редкометальных руд в пегматитовом теле и характером изменения пород вокруг него. В пределах ореолов вокруг жил с мусковитом наблюдаются положительные аномалии калия, бария и рубидия, а вокруг жил редкометальных пегматитов — лития, рубидия, цезия, бора и некоторых других элементов. Содержание же железа, магния, кальция и близких к ним элементов-примесей в пределах ореолов понижается.

Ореолы могут помочь не только при поисках слепого пегматитового тела, но и при решении вопроса о продуктивности вскрытого тела, если оруденение в его пределах распространено неравномерно. Благодаря хорошей проницаемости зоны контакта между пегматитами и окружающими породами для растворов, ореол экзоконтактовых изменений обычно распространен вокруг всей жилы. Соответственно, более или менее равномерно окружают пегматитовое тело и геохимические аномалии. Таким образом, минеральные и химические особенности состава пород, окружающих пегматитовое тело, помогают решать вопрос о необходимости бурить скважины и выбирать место для этих скважин.

Для некоторых элементов-примесей в пределах ореолов отмечены пониженные концентрации. Не исключено, что эти элементы мигрируют из окружающих пород в пегматитовые тела, как это предложила геохимик Г. П. Сафронова для циркония, гафния, урана и тория в мусковитовых пегматитах Карелии. Аналогичный источник могут иметь и редкоземельные минералы пегматитов, поскольку в ореолах мусковитовых и редкоземельных пегматитов наблюдаются отрицательные аномалии не только железа, магния, кальция, но и большинства лантаноидов. Так что геохимическое изучение пегматитов и их ореолов наряду с решением поисковых задач помогает ответить на вопрос о происхождении пегматитов и составляющих их минералов.

КАК ОБРАЗУЮТСЯ ПЕГМАТИТЫ?

В 1931 г. крупнейший знаток пегматитов академик А. Е. Ферсман обобщил накопленные к тому времени материалы и пришел к выводу об образовании пегматитовых жил в результате кристаллизации магматического гранитного остатка, обогащенного летучими и подвижными компонентами. В основе этого взгляда лежали представления швейцарских геохимиков П. Ниггли и И. Фогта, считавших возможным раство-

рение в гранитном расплаве значительных количеств летучих и прежде всего воды.

Вслед за тем, базируясь на изучении новых месторождений мусковитовых и редкометалльных пегматитов США, американские исследователи К. Ландес, Ф. Хесс и У. Шаллер предложили «теорию гидротермального замещения», в которой разделили пегматиты на «простые» (образовавшиеся из расплава и неизмененные) и «сложные» (замещенные на гидротермальном этапе). При подготовке третьего издания своей монографии по пегматитам в 1940 г. Ферсман учел и подробно осветил взгляды американских «метасоматистов», признал возможность растворения и замещения ранее выделившихся комплексов минералов, но все же главную роль он по-прежнему отводил последовательной кристаллизации минералов из расплава.

Дискуссия на этом не закончилась. Еще в 1931—1932 гг. Р. Горансон опубликовал экспериментальные данные (как потом оказалось, ошибочные) об ограниченной растворимости воды в магматических расплавах. Основываясь на них, академик А. Н. Заварицкий в 40-х годах писал, что особой пегматитовой магмы нет, что пегматиты образуются в результате собирательной перекристаллизации обычных мелкозернистых пород. Эта точка зрения была поддержана и развита в 50—60-х годах некоторыми советскими исследователями. И все же подавляющее число специалистов по пегматитам — и в нашей стране, и за рубежом — продолжало оставаться на позициях Ферсмана. Не отрицая важной роли процессов перекристаллизации и метасоматоза, они объясняли главные особенности пегматитов эволюцией специфической пегматитовой магмы.

В 50-е годы возникла еще одна гипотеза образования пегматитов — метаморфическая. Базируясь на изучении древних кристаллических пород Западной Гренландии, Г. Рамберг пришел к заключению об образовании гранитных пегматитов чисто метаморфическим путем, без перемещения вещества. Его идеи были развиты советскими геологами, изучавшими древние комплексы пород Карелии и Северного Прибайкалья, но эти исследователи допускали возможность расплавления продуктов метаморфизма и перемещения части расплава.

Геологи уже давно обратили внимание, что существует корреляция между типом минерализации в пегматитах, глубиной их образования и степенью метаморфизма вмещающих пород. Все эти

наблюдения были обобщены в 1960 г. специалистами по пегматитам А. И. Гинзбургом и Г. Г. Родионовым, положившими начало современной классификации пегматитовых формаций, основанной на условиях их образования. В последующие годы она была уточнена и дополнена количественными данными о давлениях, которые удалось получить, измеряя плотность жидкой углекислоты во включениях в минералах. Выяснилось, что мусковитовые пегматиты начинают кристаллизоваться при давлениях 6,5—7,7, переходные редкометалльно-мусковитовые — при 4,5—6,5, а редкометалльные (различного типа) — при 2,5—5 тыс. атм.

Эти давления оказались в 2—3 раза выше, чем вычисляемые по нагрузке вышележащих пород, т. е. по геологическим данным о глубинности образования пегматитов. Но они вполне достаточны для образования метаморфических пород: амфиболитовой фации метаморфизма для мусковитовых пегматитов и эпидот-амфиболитовой или зеленосланцевой фации для редкометалльных пегматитов. Таким образом, в генерирующих пегматиты системах наблюдается сверхдавление, отмечавшееся известным петрологом Н. Л. Добрецовым и его соавторами для некоторых метаморфических комплексов.

Можно предположить, что гранитные пегматиты возникают в тех участках земной коры, где есть условия для длительного сохранения сверхдавления летучих компонентов (воды, углекислоты и др.). При этом в результате метаморфических процессов образуются граниты, дающие начало магматическим пегматитам. Но близкие к таким пегматитам по облику и составу породы могут возникать и иным путем. Так, на примере мусковитовых пегматитов автором давно уже была показана гетерогенность этих природных образований. Наряду с первично магматическими пегматитовыми телами среди них есть и первично метаморфические. Кроме того, имеются жилы, возникшие при кристаллизации послемагматических растворов.

Редкометалльные пегматиты формируются преимущественно из магматических расплавов, обогащенных литием и другими характерными для них элементами. Как было показано в экспериментах американских исследователей К. В. Бэрнема и Р. Х. Джанса, явления замещения в расплавах, близких по составу к редкометалльным пегматитам, начинаются уже на магматическом этапе и продолжают вплоть до конца гидротермального этапа их образования. Но некоторые встречающиеся в природе крупные тела

редкометалльных пегматитов настолько сложны по строению, что даже с привлечением процессов замещения трудно объяснить все их особенности.

Например, на уже упоминавшихся месторождениях редкометалльных пегматитов Бикита в Зимбабве и Берник-Лэйк в Канаде наблюдаются такие соотношения многочисленных зон, что приходится предполагать ликвацию расплава. Значение явлений ликвации при формировании различных магматических пород подробно рассмотрено в работах советских петрологов Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, Д. С. Белянкина, А. А. Маркушева. Сотрудниками нашего института экспериментально доказано, что в расплавах, близких по составу к редкометалльным пегматитам, при температуре 625—700 °С происходит ликвация на существенно силикатный и существенно фторидный расплавы.

В последнее время сделан новый шаг в изучении связей между процессами метаморфизма и образованием пегматитов. На основе многолетних исследований в Саяно-Байкальской складчатой области сотрудница нашей лаборатории В. А. Макрыгина пришла к заключению, что не только температура и давление при метаморфизме, но и исходные содержания в породах различных летучих компонентов определяют парагенезисы (устойчивые ассоциации) метаморфических минералов, состав образующихся гранитов и пегматитов. Динамика удаления летучих компонентов в ходе метаморфического преобразования пород и, соответственно, особенности флюидного режима зависят также от механических свойств исходных осадочных пород.

Все сказанное выше касается главным образом мусковитовых и редкометалльных пегматитов. А как же миароловые пегматиты? Вряд ли кто-либо из исследователей сомневается в их магматическом происхождении. Но на послемагматическом этапе своего существования они могут подвергаться интенсивным процессам замещения, растворения и перекристаллизации. В некоторых случаях исходные минеральные ассоциации сохраняются здесь только в реликтах.

Таким образом, на вопрос, как образуются пегматиты, лучше всего ответить: «По-разному». Существуют пегматиты, возникшие чисто метаморфическим путем. Есть пегматиты, образовавшиеся в результате перекристаллизации мелкозернистых магматических пород. Подавляющая же часть пегматитовых жил, представляющих практический интерес, является результатом кристаллизации расплавов и процессов замещения, происходивших на разных стадиях магматического и послемагматического этапов их истории. Специфический состав этих расплавов определяет возможность их ликвации еще до начала кристаллизации и не исключает многократной ликвации остаточных порций расплава.

Что же касается происхождения самих расплавов, из которых образуются первично магматические пегматиты, то в настоящее время можно с полным правом говорить о метаморфической природе этих расплавов — в широком смысле этого слова. При этом определяющее значение для образования пегматитоносных гранитов имели геологические условия, препятствующие удалению летучих компонентов. Так, на новом уровне мы возвращаемся к тезису Ферсмана о «замкнутости» пегматитовых систем.

В заключение остается добавить, что пегматиты продолжают одаривать нас не только новыми открытиями, но и новыми вопросами. Далеко не все ясно в физико-химической сущности и длительности процессов образования и изменения пегматитов. Остаются нерешенными многие вопросы о связи пегматитов с гранитами, особенно когда дело касается конкретных месторождений. Слабо изучена проблема источников тех или других элементов, вовлекаемых в процессы пегматитообразования. И все же главное сделано. Наша страна обеспечена самыми разнообразными месторождениями пегматитового сырья. Создана теоретическая основа для дальнейшего развития поисково-разведочных работ на этих уникальных природных объектах.

МЕЗОН C (1480) – КАНДИДАТ В ЭКЗОТИЧЕСКИЕ АДРОНЫ

Л. Г. Ландсберг,
доктор физико-математических наук
Институт физики высоких энергий
Протвино

В НАСТОЯЩЕЕ время твердо установлено, что адроны — сильновзаимодействующие частицы, к которым, в частности, относятся протон, нейтрон, Δ -мезон, — не являются истинно элементарными. Наподобие атомных ядер, состоящих из нуклонов, адроны представляют собой связанные системы из кварков — фундаментальных объектов без внутренней структуры¹. Различные адроны (а их известно уже несколько сотен) по своему кварковому составу подразделяются на две большие группы: барионы и мезоны. Барионы построены из трех кварков ($B=q\bar{q}q$) (антибарионы — из трех антикварков), а мезоны — из кварка и антикварка ($M=q\bar{q}$). Согласно современной теории сильных взаимодействий — квантовой хромодинамике, взаимодействие между кварками определяется особыми, «цветовыми», зарядами (отсюда и название хромодинамика — теория взаимодействий цветных частиц). Каждый кварк может находиться в трех цветовых состояниях (условно их называют красным, синим, зеленым). «Цветовые» взаимодействия между кварками осуществляются путем обмена безмассовыми частицами — глюонами, которые могут быть «окрашены» 8 различными способами (глюоны двухцветны!). В этом существенное отличие глюонов от фотона — переносчика электромагнитных взаимодействий. Фотоны не несут никаких зарядов и, являясь квантами электромагнитного поля, могут взаимодействовать только с электрическими зарядами. Что касается глюонов, то они, обладая

«цветовыми» зарядами, могут взаимодействовать не только с кварками, но и между собой.

По-видимому, «цветные» частицы — кварки и глюоны — не могут находиться в свободном состоянии. Основу этой гипотезы составили многолетние безуспешные попытки обнаружить свободные кварки. Попытки, в которых они искались, отличались большим разнообразием, высокой чувствительностью и немалой изобретательностью. Однако обнаружить свободные кварки так и не удалось. Поэтому и возникло предположение о конфайнменте («пленении» кварков), в соответствии с которым в свободном состоянии могут существовать только частицы, не обладающие цветовыми зарядами, — «бесцветные» или «белые» адроны, иными словами, те самые составные мезоны и барионы, о которых уже говорилось выше.

Когда мы говорим, что мезоны представляют собой системы из кварка и антикварка $q\bar{q}$, а барионы состоят из трех кварков qqq , мы имеем в виду только те составляющие адронов, которые определяют их основные характеристики (квантовые числа). Эти кварки называют валентными. Согласно современным теоретическим представлениям, хорошо подтверждающимся многочисленными экспериментами, валентный кварковый «остов» адронов окружен «облаком» виртуальных кварк-антикварковых пар и глюонов, которые непрерывно испускаются и поглощаются валентными кварками. Это «облако», или, как теперь говорят, «море», кварковых пар и глюонов, является физической реальностью, определяющей многие свойства адронов (например, пространственное распределение их электрических зарядов и магнитных моментов, внутреннее распределение кварковых и глюонных составляющих по импульсам и т. д.). Характе-

¹ К настоящему времени надежно установлено существование кварков 5 видов (или, как принято говорить, ароматов): легких кварков u, d, s и тяжелых c и b . Что касается шестого кварка t , предсказываемого теорией, то он еще не обнаружен в эксперименте, но никто не сомневается в его существовании. Подробнее о кварковой структуре адронов и их систематике см.: Шехтер В. М. Кварки // Природа. 1980. № 2. С. 53—69.

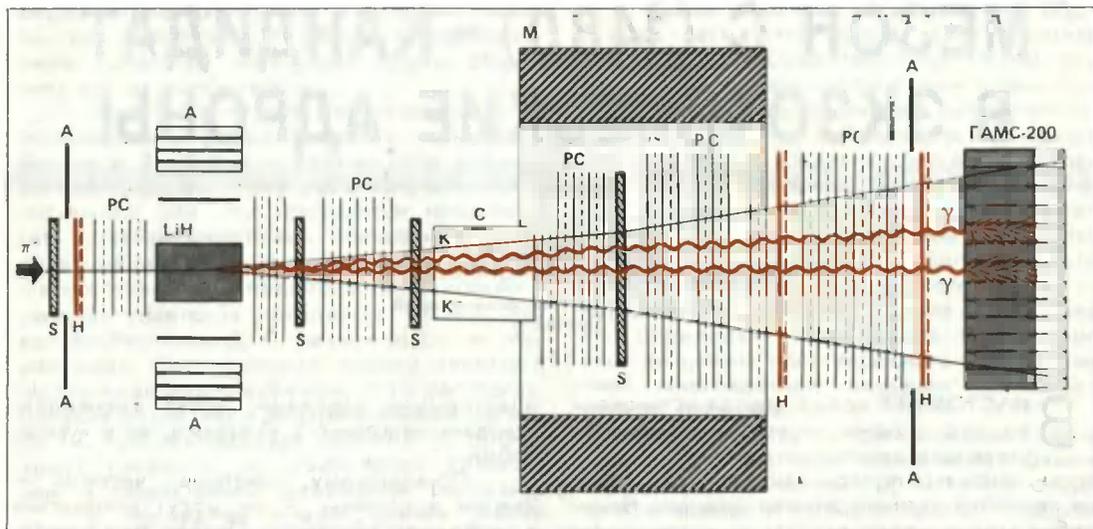


Схема установки «Лептон-Ф», на которой обнаружен мезон $S(1480)^0$. Принцип работы установки поясним на примере регистрации процессов $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \phi p$; $\phi \rightarrow K^+ K^-$; $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$.

Пучок π^- -мезонов направляется на литиевую мишень [LiH], где и происходят исследуемые реакции [детекторы перед мишенью служат для выделения пучка π^- -мезонов]. Мезоны K^+ и K^- , образующиеся при распаде ϕ -мезона, регистрируются сцинтилляционными счетчиками S и годоскопами H, а также пропорциональными камерами PC. Идентификация K^\pm -мезонов осуществляется с помощью черенковского счетчика C, а их импульсы измеряются по отклонению в широкоапертурном магнитном спектрометре M. Охранные счетчики A [всего их в установке 12], окружающие мишень и спектрометр, служат для отбора исследуемой реакции, происходящей в мишени. Регистрация γ -квантов от распада $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ осуществляется в 208-канальном спектрометре ГМС-200. Одновременно измеряются их энергии и углы вылета. Информация со всех детекторов поступает непосредственно в ЭВМ и записывается на магнитную ленту для последующей детальной обработки.

ристики кварк-глюонного «моря» изучаются в опытах по рассеянию лептонов на адронах, по образованию тяжелых частиц, лептонных пар и адронных струй в процессах с большими переданными импульсами и т. д.

Мезоны и барионы, как и любые другие объекты микромира, математически описываются волновой функцией. С учетом «моря» волновую функцию мезона можно представить в следующей наглядной форме:

$$|M\rangle = (q\bar{q})[1 + \text{«море» виртуальных } q\bar{q}\text{-пар}].$$

Это означает, что часть своего времени жизни мезон проводит в валентном состоянии $q\bar{q}$, а часть — в состояниях, в которых к его валентному составу добавляется еще

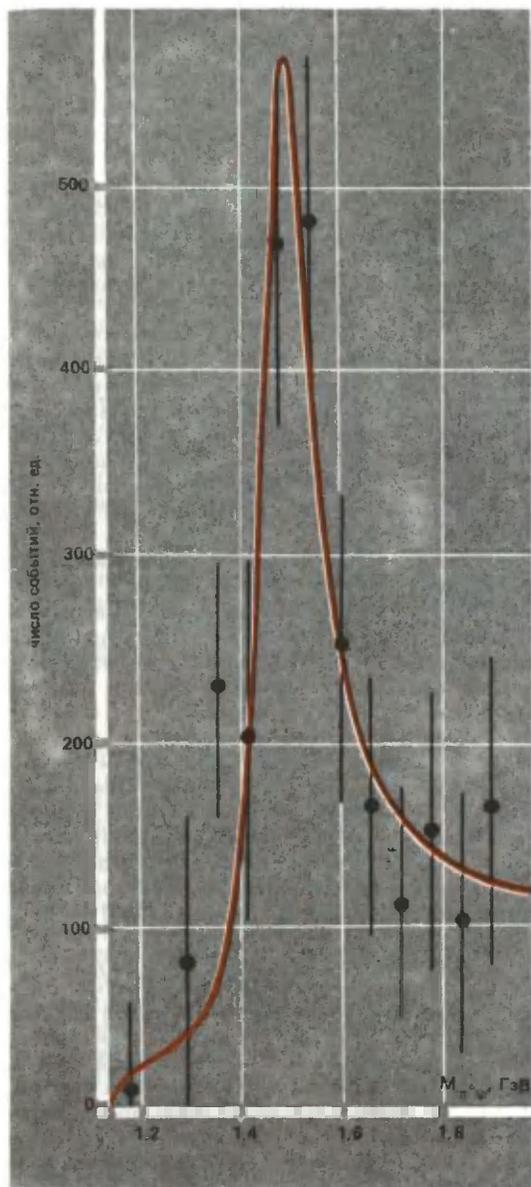
различное количество виртуальных $q\bar{q}$ -пар и глюонов. Аналогичная ситуация имеет место и для барионов.

Возникает очень важный вопрос: могут ли существовать «бесцветные», и следовательно, наблюдаемые на опыте адроны, имеющие более сложную «валентную структуру», — многокварковые мезоны ($q\bar{q}q\bar{q}$) и барионы ($qqq\bar{q}\bar{q}$), или мезоны, составленные из одних валентных глюонов (так называемые «глюболы» gg или ggg)², или, наконец, адроны смешанных типов, включающие в себя как валентные кварки, так и валентные глюоны («гибриды») или «мейктоны» — например, мезоны $q\bar{q}g$? Конечно, в таких экзотических адронах, как и в обычных, помимо валентных кварков и глюонов, должно проявляться и виртуальное кварк-глюонное «море». Например, волновая функция экзотического четырехкваркового мезона имеет вид:

$$|M_{\text{экз}}\rangle = (q\bar{q}q\bar{q})[1 + \text{«море» виртуальных } q\bar{q}\text{-пар}].$$

Теоретических запретов для существования экзотических адронов мы не знаем. Однако может оказаться, что эти частицы крайне неустойчивы и, таким образом, практически ненаблюдаемы в опыте. На примере атомных ядер известно, что далеко не все нуклонные системы обладают достаточной стабильностью и реально существуют. Так,

² Об одном из возможных кандидатов в глюболы см.: Герштейн С. С., Логунов А. А. Единство фундаментальных взаимодействий и поиски глюолов — частиц из ядерного «клея» // Природа. 1985. № 1. С. 6—19.



Спектр эффективных масс π^0 -системы в реакции $\bar{p}p \rightarrow \pi^0 p$. В спектре доминирует резонансный пик, соответствующий образованию мезона C(1480)⁰. Положение максимума соответствует массе C(1480)-мезона $M = (1480 \pm 30)$ МэВ, а ширина резонансной кривой $\Gamma = (130 \pm 60)$ МэВ определяет его время жизни $\tau \sim 10^{-23}$ с. Такое малое время жизни означает, что распад C(1480)⁰ обусловлен сильными взаимодействиями.

системы из нескольких связанных протонов в природе не наблюдаются. Поэтому вопрос о существовании экзотических адронов может быть решен только экспериментально.

Каким же образом можно отличить экзотические частицы от «обычных», которые, как мы отмечали выше, тоже часть своего времени жизни проводят в состояниях со многими кварками и глюонами? Здесь возможны два случая.

1. Благодаря более сложному валентному составу, экзотические частицы могут характеризоваться такими квантовыми числами, которые запрещены для обычных адронов. Эти различия могут быть очень яркими и сразу бросаться в глаза. Например, как легко убедиться, электрические заряды Q обычных мезонов, состоящих из кварка и антикварка с дробными зарядами $\pm 2/3$, $\pm 1/3$, принимают значения 0 или ± 1 . Их странность S , определяемая странностью s -кварка, по модулю не может превышать 1. Что касается экзотических многокварковых мезонов, то у них значения электрического заряда и странности могут превышать 1. Например, у мезонов $uudd$ $Q=2$ (при $S=0$), а у мезонов $ud\bar{s}\bar{s}$ — $S=2$ (при $Q=0$), и, наконец, у мезона $uu\bar{s}\bar{s}$ и $Q=2$, и $S=2$. Частицы с такой, как принято говорить, явной экзотикой, конечно, легко будет отличить от обычных мезонов. Различия между обычными и экзотическими частицами могут быть и менее ярко выраженными, хотя тоже вполне определенными: например, в экзотических мезонах может быть такое сочетание спина J , четности P и зарядовой четности C , которое не реализуется для обычных $q\bar{q}$ -мезонов (например, $J^{PC}=0^{--}, 0^{+-}, 1^{-+}$ и т. д.). И хотя измерения спина и четности адронов гораздо более трудны, нежели определение их электрического заряда или странности, такие эксперименты все же проводятся. Однако все поиски частиц с «явной экзотикой» пока определенных результатов не принесли.

2. Возможны также экзотические адроны, которые по своим квантовым числам не отличаются от обычных. Поэтому их называют частицами со скрытой экзотикой. Однако сложная цветовая структура валентного «костова» таких экзотических частиц может приводить к существенным особенностям в их динамических свойствах, которые позволяют установить их экзотическую природу. Такими особенностями могут являться аномально малые вероятности распада этих частиц, необычные соотношения между различными каналами, по которым они распадаются, или особенности механизма образования исследуемых состояний.

Вопрос о возможном существовании экзотических адронов имеет принципиальное значение для основных представлений о природе адронной материи, для квантовой хро-

модинамики и концепции конфайнмента, для современных моделей строения адронов (так называемых моделей «мешков» и «струн»). Поэтому поиски экзотических адронов ведутся уже очень давно, но вопрос об их существовании однозначно пока не решен. Однако в самые последние годы ситуация заметно изменилась: несколькими экспериментальным группам удалось обнаружить новые частицы, свойства которых трудно объяснить в рамках простой кварцевой модели строения адронов. Эти частицы оказались очень серьезными кандидатами в адроны со скрытой экзотикой. Об одном из таких опытов наш дальнейший рассказ.

В эксперименте, поставленном на ускорителе Института физики высоких энергий (ИФВЭ, Протвино), велись поиски экзотических мезонов M , распадающихся благодаря сильным взаимодействиям за очень короткое время ($\sim 10^{-23}$ с) на φ - и π^0 -мезоны. Для этого исследовался спектр эффективных масс пары частиц $\varphi\pi^0$ (иными словами, ее энергетический спектр в собственной системе покоя). Появление резонансного максимума в этом спектре свидетельствует об образовании мезона с массой, соответствующей положению максимума. Ширина Γ этого резонанса определяет время жизни (τ) мезона: Γ [МэВ] $\sim 10^{-21}/\tau$ [с].

Исследуемая система $\varphi\pi^0$ обладает некоторыми уникальными характеристиками, делающими ее весьма перспективной для поисков экзотических состояний. Особенно благоприятные условия для таких поисков осуществляются в реакции перезарядки $\pi^-p \rightarrow \varphi\pi^0n$; $\varphi \rightarrow K^+K^-$; $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$, где, из-за малого числа частиц в конечном состоянии, нерезонансный фон может быть довольно мал.

Исследования реакции, в которой образуется система $\varphi\pi^0$, проводились в ИФВЭ на комбинированной установке «Лептон-Ф», позволявшей эффективно регистрировать процессы с заряженными адронами и γ -квантами в конечном состоянии³. Через мишень установки было пропущено около $4 \cdot 10^{11}$ первичных π^- -мезонов с импульсом 32,5 ГэВ/с и зарегистрировано несколько миллионов событий, предназначенных для дальнейшего изучения. Информация об этих

событиях записывалась на магнитные ленты с помощью ЭВМ, которая работала в режиме, позволяющем получать информацию непосредственно в ходе эксперимента. Последующий длительный и тщательный анализ, проводившийся на больших ЭВМ, позволил полностью исследовать эти события, определить для них углы вылета, импульсы и энергии образовавшихся адронов и γ -квантов и использовать затем законы релятивистской кинематики для выделения процесса перезарядки $\pi^-p \rightarrow \varphi\pi^0n$ и изучения его характеристик.

В результате анализа было отобрано около 400 таких событий и исследован спектр эффективных масс $\varphi\pi^0$ -системы в этой реакции. В спектре эффективных масс доминирует резонансный пик с массой $M = (1480 \pm 40)$ МэВ и распадной шириной $\Gamma = (130 \pm 60)$ МэВ, свидетельствующий об образовании нового мезона: ему дали обозначение $C(1480)$.

Реакция $\pi^-p \rightarrow \varphi\pi^0n$ в основном протекает как двухчастичный процесс $\pi^-p \rightarrow C(1480)^0n$ с последующим распадом $C(1480)^0 \rightarrow \varphi\pi^0$. Сечение этого процесса очень мало: (40 ± 15) нбн. Это означает, что он происходит не чаще одного раза на миллион π^-p -взаимодействий.

Данные по образованию и распаду $C(1480)$ -мезона позволили определить квантовые числа этого состояния. Оказалось, что $C(1480)$ -мезон характеризуется отрицательными четностью и зарядовой четностью и единичным спином: $J^{PC} = 1^{--}$. Его волновая функция при преобразовании координат ведет себя, как вектор, т. е. $C(1480)$ — векторный мезон.

Теперь надо выяснить, к какому семейству сильновзаимодействующих частиц относится новый мезон. Известно, что все адроны группируются в так называемые изотопические мультиплеты — семейства очень близких по свойствам, родственных частиц, в первом приближении различающихся только своими электромагнитными характеристиками. Количество частиц, входящих в изомультиплеты может быть разным: известны изотопические синглеты (состоящие из 1 частицы), дублеты (из 2), триплеты (из 3) и квартетты (из 4). Так, протон и нейтрон образуют дублет нуклонов, π^- или ϱ^- -мезоны — изотриплеты π^-, π^0, π^+ и $\varrho^-, \varrho^0, \varrho^+$. К частицам-одиночкам относятся, например, ω - и φ -мезоны, Λ -гиперон.

Число частиц N , входящих в состав изомультиплета, определяется особым квантовым числом, характеризующим это семейство, — изотопическим спином T , причем $N = 2T + 1$ (изоспин, подобно обычному спину,

³ Первые данные о существовании мезона $C(1480)^0$ были получены в 1983 г. Последние результаты этой серии экспериментов и библиография содержатся в работе: Б и т ю к о в С. И. и др. // Ядерная физика. 1987. Т. 46. С. 506—517.

может принимать только целые и полуцелые значения).

Группировка частиц в изотопические мультиплеты отражает фундаментальную симметрию сильных взаимодействий — изотопическую инвариантность, независимость сильных взаимодействий адронов от их электромагнитных свойств. Формально изотопическая инвариантность выражается законом сохранения изоспина в процессах, обусловленных сильными взаимодействиями.

А теперь вернемся к нашему мезону $C(1480)^0$. Его изоспин должен совпадать с изоспином системы $\pi^0\varphi$ и равняться сумме изоспинов π^0 - и φ -мезонов. Мезон π^0 — член изотопического триплета, и, следовательно, его изоспин равен 1; мезон φ -синглет с нулевым изоспином. Поэтому изотопический спин $C(1480)^0$ -мезона должен, как и у π^0 -мезона, равняться 1. Это означает, что у нового мезона должны быть 2 близких родственника примерно с такими же массами и похожими свойствами — заряженные мезоны $C(1480)^+$ и $C(1480)^-$. Распадаясь, они должны испускать заряженные π -мезоны. Возможно, что такие распады наблюдались в другом эксперименте, проведенном в ИФВЭ на установке «Сигма».

Мы обсудили основные характеристики нового мезона. Осталось ответить на вопрос, из каких кварков он состоит.

Предположим для начала, что $C(1480)^0$ является обычной системой из кварка и антикварка. Тогда он как нейтральная частица с изоспином 1 часть времени должен проводить в состоянии $u\bar{u}$, а часть — в состоянии $d\bar{d}$, переходящих друг в друга. И это потому, что только u - и d -кварки являются носителями отличного от нуля изоспина. Такое же строение имеет псевдоскалярный ($J=0$) π^0 -мезон — один из продуктов распада $C(1480)^0$. Что касается второй распадной частицы — мезона φ , то он тоже является векторной частицей с нулевым изоспином и

почти целиком состоит из странных кварков и антикварков ($\varphi \sim s\bar{s}$). Известен еще один векторный мезон с нулевым изоспином — ω -мезон, состоящий из переходящих друг в друга $u\bar{u}$ - и $d\bar{d}$ -пар. Различие между частицами ω и π^0 с одним и тем же кварковым составом — в структуре волновых функций⁴: $\pi^0 \sim 1/\sqrt{2} (u\bar{u} - d\bar{d})$ и $\omega \sim 1/\sqrt{2} (u\bar{u} + d\bar{d})$.

Очень важным оказался вопрос, в каком соотношении между собой находятся вероятности распада $C(1480)^0$ по каналам $\varphi\pi^0$ и $\omega\pi^0$. Как следует из анализа многочисленных физических процессов, в кварковой модели имеет место правило отбора, согласно которому распад мезона, состоящего из одних u - и d -кварков, с испусканием φ -мезона, построенного почти целиком из s -кварков, должен быть сильно подавлен. Количественные оценки показали: если $C(1480)$ -мезон представляет собой «обычное» двухкварковое состояние $1/\sqrt{2} (u\bar{u} - d\bar{d})$, то отношение вероятностей его «подавленного» распада по каналу $\varphi\pi^0$ и «разрешенного» распада по каналу $\omega\pi^0$ должно быть очень мало: $R = \Gamma[C(1480) \rightarrow \varphi\pi^0] / \Gamma[C(1480) \rightarrow \omega\pi^0] \leq 1/350$. Однако экспериментально установлено, что $R > 1/2$. Это и делает $C(1480)$ -мезон очень серьезным кандидатом в экзотические адроны: в его валентный состав, помимо комбинации пар $u\bar{u}$ и $d\bar{d}$, входит, по-видимому, либо дополнительная пара $s\bar{s}$, либо глюон g . В первом случае новый мезон является многокварковым состоянием, во втором — мейктоном. И в той, и в другой модели экзотический $C(1480)$ -мезон может с большой вероятностью распадаться с испусканием φ -мезона.

Гипотеза о сложном экзотическом характере нового $C(1480)$ -мезона является пока единственно возможным объяснением его необычных свойств, установленных в экспериментах на Серпуховском ускорителе.

⁴ Более подробно о кварковом составе мезонов и их квантовых числах см.: Ландсберг Л. Г. Электромагнитная структура нейтральных мезонов // Природа. 1982. № 3. С. 13—25; Он же. Фотонные мишени // Природа. 1986. № 4. С. 72—84.

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Н.Н.Александров, А.Э.Кистер, А.А.Миронов, П.А.Певзнер



Николай Николаевич Александров, младший научный сотрудник; Александр Эмильевич Кистер, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник; Андрей Александрович Миронов, кандидат физико-математических наук, заведующий сектором математического моделирования биотехнологических процессов; Павел Аркадьевич Певзнер, младший научный сотрудник — работают во Всесоюзном научно-исследовательском институте генетики и селекции промышленных микроорганизмов (ВНИИГенетика) Министерства медицинской и микробиологической промышленности, специалисты в области компьютерной генетики. Основные направления исследований — распознавание участков ДНК, поиск гомологий нуклеотидных последовательностей, изучение вторичных структур РНК.

ПРЕДСТАВЬТЕ себе археологов, которым посчастливилось найти несколько книг на неизвестном языке. Причем эти книги — только малая часть гигантской библиотеки, и каждый месяц ученые откапывают новые тома. Содержимое книг поистине бесценно — там записана вся информация о живой природе. Первым делом хочется откапывать все новые и новые книги, однако вскоре раскопки превращаются в рутинную работу и желание «копать» сменяется стремлением понять, что же написано в таинственных книгах. Эту ситуацию можно сравнить с положением в молекулярной биологии в 80-х годах.

Одна из важнейших ее задач состоит в определении последовательностей нуклеотидов в цепочке ДНК: без этого не понять структуру и, следовательно, функции белков. 10 лет назад американские исследователи А. Максам, У. Гильберт и, независимо, англичанин Ф. Сэнгер с сотрудниками предложили два метода быстрого определения последовательностей нуклеотидов в ДНК (в 1980 г. Гильберт и Сэнгер были удостоены Нобелевской премии за это открытие¹). Ранее чтение даже очень маленьких фрагментов ДНК было долгой и мучительной процедурой. Можно сказать, что раньше

«археологам от биологии» попадались только обрывки трактатов, а теперь за месяц специалисты во всем мире прочитывают текст, состоящий из многих десятков тысяч «букв» — нуклеотидов. Человек, собака, плодовая мушка (*Drosophila melanogaster*), любимый объект молекулярных генетиков — кишечная палочка (*Escherichia coli*) — фрагменты ДНК этих и многих других организмов были в разное время определены. Сейчас прочитано уже более 7000 фрагментов ДНК общей длиной более 8 млн нуклеотидов. ДНК некоторых вирусов (например, фагов ϕ X174 длиной 5375 нуклеотидов и лямбда — 48 502 нуклеотида, вируса Эпштейна—Барр — 170 тыс. нуклеотидов) уже целиком расшифрованы, в недалеком будущем та же участь постигнет целый организм — бактерию *E. coli* (4 млн нуклеотидов), а Сэнгер даже заявил, что в начале следующего века будет расшифрована вся последовательность ДНК *Homo sapiens* (3 млрд нуклеотидов).

Понятно, что без помощи ЭВМ никакой

¹ См. подробнее: Баев А. А. Лауреаты Нобелевской премии 1980 года по химии — П. Берг, Г. Гилберт, Ф. Сэнгер // Природа. 1981. № 1. С. 101—104.

В МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКЕ

архив не справится с таким потоком информации. Поэтому уже в 1982 г. в Лос-Аламосе (США) был создан GenBank — первый банк нуклеотидных последовательностей на ЭВМ. Сейчас в мире существуют еще два банка генетической информации: европейский EMBL и советский ГЕНЭКСПРЕСС (создан в Институте молекулярной генетики АН СССР и ВИНТИ под руководством А. А. Александрова).

Конечно, создание банка — трудное и кропотливое дело, тем более, что для его поддержания нужно непрерывно добавлять новую информацию — вспомните о тех десятках тысяч нуклеотидов, которые расшифровываются ежемесячно. Однако банк как хранилище биологических текстов еще мало что дает. Необходимо понять, какой смысл заложен в том или ином фрагменте ДНК, является ли этот фрагмент геном, где начало и конец этого гена, что служит сигналом к считыванию генов. Короче говоря, на ДНК записано огромное количество «слов», которые нужно идентифицировать. Задачи логической обработки и расшифровки текстов возникали ранее у специалистов по математической лингвистике, теории информации и кодирования, теории алгоритмов, однако у биологов такие проблемы возникли впервые. Поэтому сразу после появления первых текстов ДНК они начали тесно сотрудничать с математиками для решения подобных вопросов.

Допустим, биологу необходимо исследовать генетический материал какого-нибудь вируса. Он выделяет ДНК этого вируса и вводит ее в соединенный с ЭВМ прибор для чтения нуклеотидных последовательностей. Через полчаса на экране дисплея можно увидеть не только всю последовательность ДНК вируса, но и полное описание его функций... Пока это фантастика. Однако уже сейчас типична ситуация, когда биолог, прочитав тот или иной фрагмент ДНК, обращается к математикам и получает от них его «синтаксический» разбор (с указанием белок-кодирующих областей, промоторов, терминаторов, участков, узнаваемых различными ферментами), справку об уже

Генетическая информация в банке данных EMBL на октябрь 1985 г. [Nucleic Acids Research, 1986, Vol. 14, P. 1]

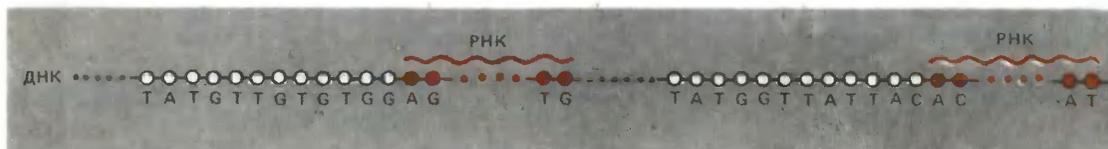
Деление на группы	Число расшифрованных последовательностей ДНК	Общая длина последовательностей (в тыс. нуклеотидов)
Приматы	698	788
Грызуны	956	735
Другие позвоночные	562	425
Растения	406	398
Бактерии	570	697
Вирусы	895	1191
Синтетические последовательности	184	56

В 1987 г. суммарная длина последовательностей ДНК в банке превысила 8 млн нуклеотидов.

присутствующих в банке похожих фрагментах ДНК других организмов и т. д.

Компьютерная генетика очень молода, но развивается она чрезвычайно стремительно: появились уже первые журналы и даже книги, целиком ей посвященные.

Вернемся снова к раскопанной библиотеке биологических текстов и попытаемся понять, на каком этапе исследования этих текстов мы сейчас находимся. Подобно тому как после археологов к исследованиям древних текстов приступают лингвисты, так и после биологов, определивших последовательность нуклеотидов, в исследовании включаются математики. Если со времен Г. Шлимана техника археологических раскопок практически не изменилась, то уже первое десятилетие биологических «раскопок» привело к проникновению компьютеров почти во все разделы молекулярной биологии и геномной инженерии. Сходство подходов к исследованию последовательностей ДНК с анализом естественных языков породило новый термин — структурная лингвистика ДНК. В этой статье речь пойдет лишь о том, как математика помогает разбивать непрерывный, казалось бы, генетиче-



Схематическое изображение нуклеотидов ДНК *E. coli* с тремя генами (участки, обозначенные цветом). Дойдя до этих участков, РНК-полимераза начинает их считывание и формирование РНК.

ский текст на смысловые куски, выделяя «предложения» и «знаки препинания». Первые успехи в решении этой проблемы — пример удачного сотрудничества математиков и биологов, а мы считаем (и опыт нашей работы подтверждает это), что без глубокого проникновения математиков в биологию прогресс в компьютерной генетике невозможен. Начнем с вопроса:

ГДЕ НАЧИНАЮТСЯ ГЕНЫ?

Можно по-разному разбивать текст ДНК на «предложения». Мы ограничимся разбиениями на транскрибируемые области.

В живых клетках идет транскрипция — считывание отдельных участков ДНК и синтез на них РНК. Именно эти участки ДНК мы и называем «предложениями» — генами (мы не приводим здесь точную формулировку понятия гена, для наших целей достаточно такого определения). Можно ли, зная только нуклеотидную последовательность ДНК, точно указать начало и конец каждого гена? Оказывается, это «умеет» делать РНК-полимераза — фермент, который «ползет» по ДНК и безошибочно начинает синтез РНК как раз в тех местах, где начинаются гены. Поэтому существует очень надежный способ узнать, что служит промотором (сигналом к началу считывания ДНК) — нужно лишь посмотреть, какие участки ДНК круто меняют поведение РНК-полимеразы и заставляют ее включать процесс транскрипции. Однако создать модель взаимодействия РНК-полимеразы и ДНК мы пока не можем: физика взаимодействия белок—ДНК (а РНК-полимераза — это сложный белковый комплекс) изучена недостаточно; нам неизвестно, как РНК-полимераза «ползет» по ДНК, как «узнаются» те или иные слова.

Впрочем, известен и другой подход: не пытаясь понять физику взаимодействия, рассмотрим комплекс «РНК-полимераза—ДНК» как «черный ящик», на входе которого произвольные фрагменты ДНК, а на выхо-

де — ответ на вопрос: промотор это или нет? Понаблюдав за работой такого черного ящика, мы получим представление как о множестве промоторов (тех последовательностей, на появление которых черный ящик ответил «да»), так и о множестве непромоторов (для них ответ черного ящика — «нет»). Наша задача — определить, что общего во всех, на первый взгляд, таких разных промоторах, чем они, в то же время, отличаются от непромоторов. Это, по существу, и есть классическая задача распознавания образов, которой математики занимаются уже более 30 лет.

Первая попытка разгадать принцип работы черного ящика «РНК-полимераза—ДНК» была предпринята еще в 70-х годах: Д. Прибноу и У. Гильберт предположили, что транскрипция начинается, когда РНК-полимераза «узнает» определенные шестерки нуклеотидов в составе ДНК: в точке —10 (за 10 нуклеотидов до места начала транскрипции) — последовательность TATAAT (блок Прибноу) и в точке —35 — последовательность TTGACA (блок Гильберта)². Но вскоре после прочтения новых последовательностей ДНК (а значит, расширения информации о работе черного ящика) стало ясно, что описать поведение РНК-полимеразы не так просто: последовательности промоторов в точках —10 и —35 могут значительно отличаться от блоков Прибноу и Гильберта (и наоборот, в последовательностях непромоторов могут встречаться слова, напоминающие эти блоки). Если буква Т в шестой позиции блока Прибноу встречается в 98 % промоторных областей, то на третьем месте, помимо канонического Т, появляются А (30 %) и другие нуклеотиды.

Может быть, третья буква в блоке Прибноу не так важна, и для распознавания существенна последовательность ТА—ААТ? Или расстояние между блоками? Эти и многие другие вопросы встают перед математиками при разгадке принципа работы

² Заглавными буквами обозначаются нуклеотиды: аденин (А), тимин (Т), гуанин (G), цитозин (С) и урацил (U).



системы «РНК-полимераза—ДНК». Какие методы предлагает здесь распознавание образов?

Еще в 50-х годах Ф. Розенблатт предложил для решения подобных задач метод «перцептрон», основанный на обучении. Сначала в ЭВМ вводится некоторое (возможно, неверное) правило распознавания промоторов, а затем машине предлагают последовательность, про которую заранее известно, является ли она промотором, и интересуются ее суждением, промотор это или нет. Когда ЭВМ ошибается (т. е. промотор считает непромотором или наоборот), проводится обучение: критерий распознавания, заложенный в ЭВМ, несколько изменяется.

Эта процедура очень похожа на обучение ребенка: объясняя ему, что такое кошка, мы могли бы сказать: «Вот это кошка — пушистый зверь с 4 ногами и хвостом». После этого ребенок выходит на улицу, видит собаку и радостно кричит: «Кошка!» — он ошибся, и в этот момент, как и в методе перцептрона, вы модифицируете его критерии распознавания, добавляя: «Кошка — это пушистый зверь с 4 ногами, хвостом и длинными усами».

Перцептрон и другие алгоритмы (обобщенный портрет, метод Хопфилда), а также статистические методы распознавания образов были применены для анализа промоторов, однако успех подобных подходов оказался ограниченным из-за их недостаточной надежности. В последних работах точность распознавания промоторов не превышала 80%, что лишь ненамного лучше надежности прогноза погоды³.

Кроме того, оставалось все еще неясным, действительно ли существуют последовательности типа блоков Прибну и Гильберта, распознаваемые РНК-полимеразой, или же они просто первыми попались на глаза их первооткрывателям, а, скажем,

блок ТАААТ имеет не меньше прав на наше внимание, чем классический ТАТААТ. Ответ на этот вопрос был получен совсем недавно и оказался неожиданным для многих биологов.

ПРОМОТОРЫ И АБСТРАКТНАЯ ЖИВОПИСЬ

Шаг к пониманию того, какие участки ДНК распознает РНК-полимераза, сделала группа американских математиков во главе с известным специалистом по компьютерной генетике М. Ватерманом⁴. Они исходили из того, что РНК-полимераза узнает не специфичные последовательности-шестерки, а целые совокупности близких между собой последовательностей (т. е. области в пространстве последовательностей), а Прибну и Гильберту попались лишь шестерки, лежащие в центре таких областей. Чтобы выявить эти области, все слова-шестерки были рассмотрены как точки в шестимерном пространстве, где похожим шестеркам (например, TATGCA и TGTGCA) соответствуют близкие по расстоянию точки.

Суть предложенного метода можно объяснить так: просматривались все известные промоторные последовательности (скажем, все последовательности из области $(-60, +10)$ относительно начала транскрипции) и всякий раз при встрече определенного 6-буквенного слова соответствующую точку шестимерного пространства помечали красной краской. В результате получалась абстрактная картина: красные пятна на красном фоне. Это легко понять, ведь часто встречающимся шестеркам (а они, видимо, и служат «маяками» для РНК-полимеразы) соответствуют густо окрашенные точки, а редко встречающимся (они, вероятно, попали в область $(-60, +10)$ случайно и существенно на работу РНК-полимеразы не влияют) — слабо окрашенные. После того как картина была закончена, из нее удалили фон и увидели не два (соответствующие блокам Прибну и Гильберта), а три ярких пятна!

Одно из пятен имело центр в классическом блоке Прибну, а вот в середине второго пятна, наряду с блоком Гильберта (а значит, с наименьшими правами не существование), лежал блок CTTGAC. Таким образом, ставшему уже каноническим блоку Гильберта придется потесниться на страницах учебников по молекулярной генетике.

³ Mulligan M. E., McClure W. R. // Nucl. Acids Res. 1986. Vol. 14. P. 109—126; Александров Н. Н., Мионов А. А. // Мол. биол. 1987. Т. 21. С. 242—249.

⁴ Galas D. J., Eggert M., Waterman M. S. // J. Mol. Biol. 1985. Vol. 186. P. 117—126.

Вызвавшее удивление третье пятно имело в центре (в точке —43) неизвестный ранее блок САААТ. Этому блоку, видимо, суждено носить имя не биологов, а открывших его математиков.

Несмотря на определенные успехи, проблемы в распознавании промоторов остаются, и будущее здесь за объединением подхода, базирующегося на распознавании образов, с подходом, основанным на изучении белок-нуклеинового взаимодействия. Мы еще вернемся к задаче распознавания точки начала транскрипции, а сейчас попробуем разобраться с тем, как происходит распознавание места ее окончания.

ТРАНСКРИПЦИЯ НАЧИНАЕТСЯ И ЗАКАНЧИВАЕТСЯ

Чтобы транскрипция шла правильно, РНК-полимераза должна не только найти точку начала транскрипции, но определить, где останавливаться и заканчивать формирование РНК. Было замечено, что область окончания транскрипции имеет следующий вид: сначала область, насыщенная нуклеотидами G и C, с так называемой двойной симметрией, за которой следует область, богатая нуклеотидами A и T. Математики попробовали для распознавания таких областей применить все тот же метод перцептрона, причем в качестве критериев анализировалось положение нуклеотидов в определенных позициях. Однако результаты обучения ЭВМ по распознаванию терминаторов (участков, где завершается транскрипция) оказались неутешительными — еще хуже, чем для промоторов. Правда, и такой отрицательный результат помог биологам: они поняли, что при распознавании терминаторов отдельные нуклеотиды не так важны. По-видимому, в этом случае для РНК-полимеразы существенны комбинации отдельных нуклеотидов.

Действительно, взяв критерием положение пар нуклеотидов, получили более высокой процент узнавания терминаторов. Окончательное решение пришло позже, когда в перцептрон в качестве критерия была включена пространственная структура образующегося при транскрипции участка РНК. Дело в том, что на участке, богатом цитозином (C), с двойной симметрией, РНК за счет взаимодействия комплементарных нуклеотидов образует выступ, напоминающий шпильку. На такой «шпильке» РНК-полимераза «притормаживается», и вскоре синтезированная РНК отделяется от ДНК.

Учет положения этой шпильки, ее размеров и прочности позволил добиться успеха в распознавании терминаторов, успеха, достигнутого только в результате взаимодействия математиков и биологов. Это — общая тенденция: чисто математические подходы в компьютерной генетике сейчас почти исчерпали себя и для построения математических моделей необходим глубокий генетический анализ изучаемых объектов. О некоторых результатах совместной работы математиков и биологов мы и расскажем в следующем разделе.

РАЗОРВАННЫЕ ГЕНЫ

В 1977 г. было установлено, что гены высших организмов (эукариот) имеют мозаичное строение: участки, кодирующие белки — экзоны, прерываются вставками — интронами, функции которых до сих пор окончательно не ясны. При транскрипции считываются подряд и экзоны, и интроны. Как же по такой РНК с «бессмысленными» вставками идет нормальный синтез белка?

Вскоре после открытия мозаичного строения генов эукариот был обнаружен сплайсинг — предшествующий трансляции процесс вырезания интронов и сшивки получающихся кусков. Понятно, что осуществляющие этот процесс ферменты должны безошибочно узнавать границы между экзонами и интронами. Уже в 1978 г. нашли несколько последовательностей на границах и выявили характерные особенности областей, прилегающих к ним. Однако все нуклеотиды в таких областях, за исключением пар в начале (AT) и в конце (GC) интронов, различались очень сильно. Определить же точки сплайсинга только по началу (AT) и концу (GC) интронов невозможно: пара GC встречается в среднем через 8 нуклеотидов после пары AT, а длина интронов может достигать сотен и тысяч нуклеотидов. Необходимо было, как и в случае терминаторов, привлечь дополнительные биологические соображения, что и сделали в 1986 г. К. Наката, М. Канехиза и С. Делизи⁵. Они учили, что точки сплайсинга отделяют области с некоторыми закономерностями (экзоны) от областей, близких к случайным.

Представьте выписанные непрерывно без пробелов и точек перемежающиеся фрагменты из «Евгения Онегина» и «Капи-

⁵ Nakata K., Kanehisa M., DeLizi C. // Nucl. Acids Res. 1985. Vol. 13. P. 5327—5335.

танской дочки». Как, не зная русского языка, разделить их друг от друга? На помощь приходит математическая статистика: в «Евгении Онегине» свои особенные закономерности частоты сочетаний букв: ведь там, в отличие от «Капитанской дочки», встретив слово «младость», нужно где-то рядом искать либо «радость» (1 и 2 главы), либо «сладость» (4 и 6 главы).

Именно такой подход, основанный на разной встречаемости сочетаний букв-нуклеотидов и позволяет отделять экзоны от интронов. Самый эффективный алгоритм поиска кодирующих областей разработан в Институте молекулярной генетики АН СССР М. Ю. Бородовским, Ю. А. Сприжичким, Е. И. Головановым и А. А. Александровым. Применение этого метода значительно улучшило распознавание точек сплайсинга, однако он позволяет лишь приблизительно указать границы, а для точного их определения нужны были новые подходы.

К. Накате с коллегами для решения проблемы поиска экзон-интронных границ пришлось детально разобраться в механизме сплайсинга. Оказалось, что вблизи точки сплайсинга должен быть участок прочного связывания с так называемой малой ядерной РНК U1, которая образует комплекс с РНК и «отрывает» интрон. Именно учет всех трех условий: особенностей нуклеотидных последовательностей на границах ин-

тронов, статистических характеристик кодирующих областей и прочного связывания с малой ядерной РНК U1 — позволил надежно предсказывать точки сплайсинга.

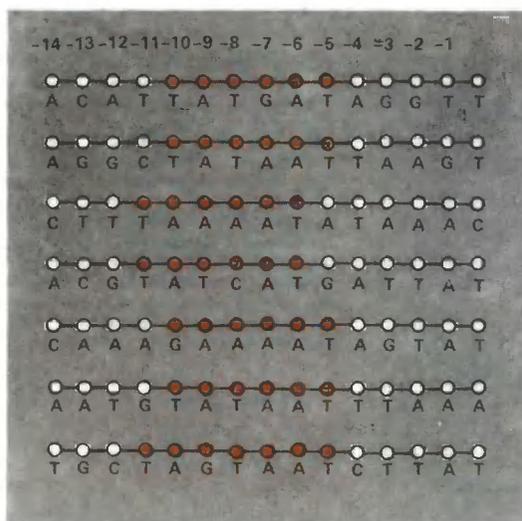
Промоторы, терминаторы и точки сплайсинга далеко не исчерпывают списка функциональных участков, распознавание которых привело бы к заметному прогрессу в молекулярной биологии (например, в банке ГЕНЭКСПРЕСС есть информация о десятках функциональных областей), однако в настоящее время распознавание функциональных участков наталкивается на серьезные трудности, главная из которых — проблема сходства нуклеотидных последовательностей.

РАСПОЗНАВАНИЕ И ГОМОЛОГИЯ

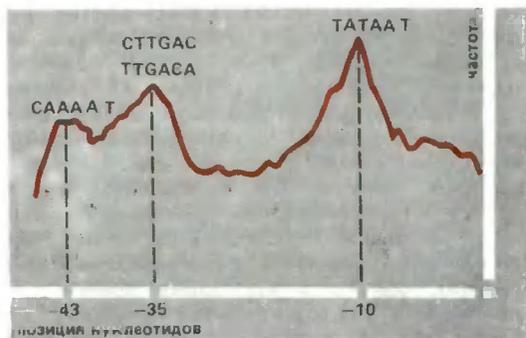
Пожалуй, первое, что приходит в голову, когда прочитан новый фрагмент какой-нибудь ДНК, — сравнить его с уже известными последовательностями, записанными в банке. Ведь если похожая последовательность была охарактеризована ранее, отпадает необходимость во многих трудоемких биологических экспериментах. Здесь действует важный принцип: подобие первичных структур биополимеров позволяет предположить подобие выполняемых функций.

Однако найти похожие последовательности мешают два основных препятствия: колоссальный объем данных об известных последовательностях и неоднозначность понятия сходства (или, как говорят биологи, гомологии) последовательностей. Нам удалось преодолеть первую трудность. Для этого достаточно было ввести начальную фильтрацию последовательностей по необходимым условиям гомологии, когда заведомо непохожие последовательности исключаются из рассмотрения, а оставшиеся анализируются обычными методами (например, сходство нуклеотидного состава — необходимое, но не достаточное условие гомологии: слова ATAGC и GACTA совсем непохожи, но имеют одинаковый нуклеотидный состав). При этом «фильтр» можно подобрать так, чтобы время, необходимое для поиска гомологичной последовательности, было не слишком долгим. Что касается неоднозначности понятия сходства, то это препятствие до сих пор представляется чрезвычайно сложным — ведь мы не знаем, какие признаки последовательностей важны для оценки гомологии.

Чтобы понять, похожи ли последовательности, их выравнивают относительно



Последовательности предполагаемых блоков Прибнуо на участке $(-15, +1)$: т. е. от 15-го нуклеотида перед точкой начала транскрипции до 1-го нуклеотида после нее. Видно, что в пяти позициях блока из шести появляются различные нуклеотиды.



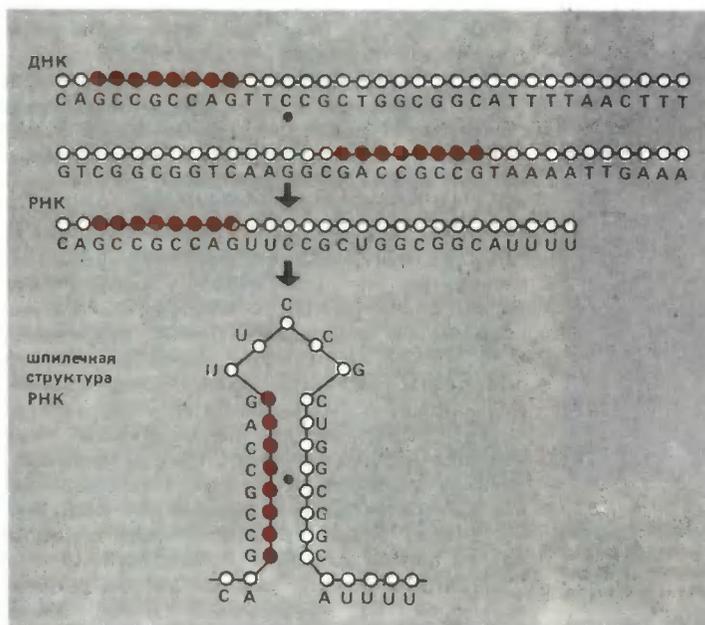
Частота повторяемости слов-шестерок в зависимости от их положения относительно точки начала транскрипции. Помимо пиков, соответствующих блокам Гильберта и Прибнэу, есть и третий пик — для блока СААААТ.

друг друга, отвлекаясь от их положений в цепочке ДНК. Сложность заключается в том, что в каждом отдельном сигнальном фрагменте в последовательности ДНК ключевую роль играют разные буквы или сочетания букв. Нам может быть безразлично, что стоит в блоке Прибнэу на третьем месте, но очень важно, чтобы в шестой позиции стоял тимин (Т). С первого взгляда нелегко определить схожесть нескольких последовательностей терминаторов. Однако, если обратить внимание на то, что в каж-

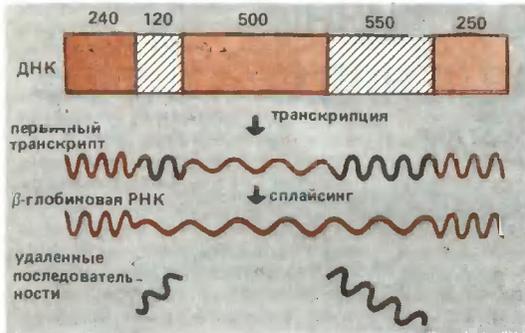
дой из них встречается двойная симметрия, сходство становится очевидным. Вот почему разумнее при выравнивании последовательностей учитывать не только совпадение нуклеотидов, но и другие характерные признаки молекулярной структуры.

В этом суть концепции обобщенного выравнивания, соединяющей две разные задачи компьютерной генетики: поиск гомологии и распознавание функциональных областей. Обобщенное выравнивание предусматривает переход от буквенного представления последовательности к векторному (координаты 0 или 1 показывают отсутствие или наличие данного признака) и признание различной значимости этих признаков для выполнения определенной функции. Если какие-то две последовательности могут выполнять сразу две функции, тогда и выравнивание у них может быть совершенно разным.

С одной стороны, прежде чем мы убедились, что Т в шестой позиции блока Прибнэу играет важную роль в функционировании промотора, нам пришлось выровнять последовательности, учитывая разную значимость каждой буквы, с другой — такую значимость можно получить только лишь после выравнивания известных последовательностей, выполняющих одну и ту же функцию...



Последовательности ДНК и РНК, соответствующие участку окончания транскрипции. Вначале идет GC-богатый участок, затем AT-богатый участок. Область с двойной симметрией показана цветом (левое цветное слово получается из правого чтением наоборот). При формировании РНК на цепи ДНК нуклеотид Т «превращается» в U, а при образовании вторичной структуры РНК в области с двойной симметрией возникает «шпилька», на которой останавливается РНК-полимераза.



Структура гена β -глобина мыши (экзоны показаны цветом, приведено количество нуклеотидов в экзонах и интронах). Показан сплайсинг — удаление интронов из первичного РНК-транскрипта.

ПОСЛЕ МНОГОТОЧИЯ

Поставив многоточие, означающее, что предложенная задача еще ждет своего решения и требует совместных усилий математиков и биологов, авторы представили себе молекулярного биолога, вынужденного отказываться от тех или иных экспериментов именно из-за отсутствия ЭВМ и необходимого математического обеспечения. Многих биологов страны сегодня интересует, каковы перспективы компьютерной генетики, и в частности внедрения ЭВМ в молекулярную биологию и генную инженерию в СССР? Вопрос этот тем более актуален, что в последние несколько лет страницы ведущих зарубежных биологических журналов пестрят рекламами пакетов программ по молекулярной биологии. Создание таких пакетов превратилось в целую отрасль, в которой работают большие коллективы ученых: математиков, программистов и биологов. Появился даже специальный журнал, целиком ориентированный на новое программное обеспечение в молекулярной биологии, не говоря уже о ряде журналов, посвя-

щенных математическим методам в этой области. Хотя в ряде направлений компьютерной генетики у нас получены результаты, определяющие уровень развития этой дисциплины, существует целый ряд нерешенных проблем.

Дело в том, что в биологических лабораториях ощущается дефицит вычислительной техники. Даже благополучные с этой точки зрения научные коллективы Москвы, Новосибирска и Пущина, активно работающие в компьютерной генетике, вынуждены использовать различные типы ЭВМ: от микроЭВМ «Искра-226» до больших машин ЕС-1060. Для координации деятельности по созданию математического и программного обеспечения разработана Всесоюзная научно-техническая программа ГЕНИНФОРМ, в рамках которой создается пакет программ для перспективных отечественных ЭВМ ЕС-1841, совместимых с наиболее распространенным в биологических лабораториях мира персональным компьютером IBM PC. При этом будет использован богатый опыт, накопленный создателями первых отечественных пакетов программ: пакета МАЛК, разработанного в нашей лаборатории, пакета программ для ЭВМ «Искра-226» (Институт молекулярной генетики), пакета «Контекст» (Институт цитологии и генетики СО АН СССР) и др. В 1988 г. будет готова первая версия пакета программы ГЕНИНФОРМ, не уступающая, а по ряду параметров превосходящая большинство зарубежных аналогов. Этот пакет будет очень удобен для пользователей-непрофессионалов в области компьютерной техники. В нем намечается широко использовать диалог, применить самые современные алгоритмы и методы. А пока... пока большинству биологов приходится искать математиков, готовых взяться за ту или иную задачу, или ждать. Ждать, когда в нашей стране появится много надежных (ведь не все биологи способны исправлять свои ЭВМ), удобных и достаточно мощных персональных компьютеров.

КРУГОВОРОТ ЖИЗНИ В ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ДРЕВНИХ

М. А. Дзвлет,
доктор исторических наук
Институт археологии АН СССР
Москва

ЕЩЕ в середине 70-х годов сотрудники Отряда по изучению петроглифов Института археологии АН СССР, работавшие под руководством автора в зоне будущего водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС, скопировали замечательную по совершенству исполнения наскальных рисунков компо-

зицию, которая представляет собой бег зверей. Эти петроглифы расположены на скальной плоскости у подножия горы Алды-Мозага на правом берегу Верхнего Енисея, ниже впадения в него р. Чинге. Датируются они рубежом н. э. — первой половиной I тысячелетия. Воинственный динамичный дух эпохи, свя-

занной с появлением на исторической арене хунну, наложил отпечаток на тематику произведений искусства и местных племен этого центральноазиатского региона. На различных изделиях того времени представлены сцены единоборства реальных и фантастических животных, бег зверей, всадники, батальные



сцены. Люди и животные изображались стремительно мчащимися, смертельно ранеными и истекающими кровью, со стрелами, вонзенными в тело или летящими к жертве.

При первоначальном копировании петроглифов, расположенных на плоскости, заливаемой в большое половодье водой, мы не заметили скрытые под слоем лишайника, забитые речным илом тончайшие резные линии, которыми древние художники предварительно наносили контур рисунков, впоследствии выбиваемых точечными ударами. Не были также замечены изображения стрелы и какого-то колющего оружия (кинжала или ножа), вонзенных в тела животных, мчащихся в нижнем ярусе композиции. Когда после очистки петроглифы были скопированы вновь, нам стало ясно, что в нижнем ряду представлены убитые или смертельно раненые животные, жизненный путь которых на земле уже за-

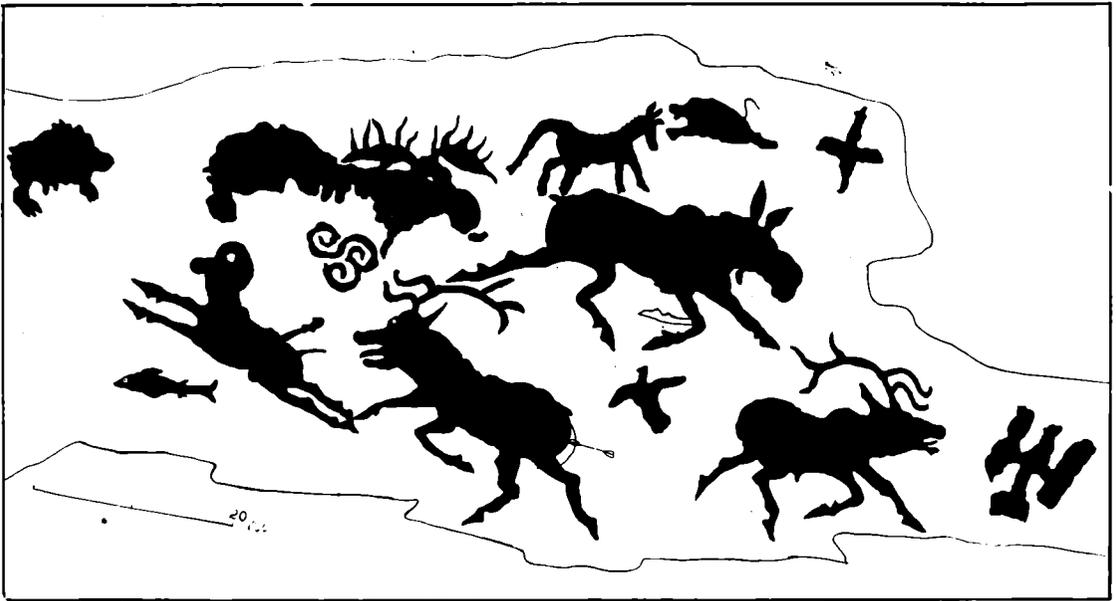
вершен. Теперь внутренний смысл композиции, имеющей глубокий философский подтекст, был расшифрован поновому.

Человек, как известно, издавна пытался осмыслить свое место в мироздании, объяснить причину извечного цикла умирания и возрождения природы, борьбы света и тьмы, смены дня и ночи. Композиция у подножия горы Алды-Мозага исключительно интересна как раз с точки зрения представления древних жителей Верхнеенейского каньона об окружающем мире, о прошлом и будущем, о круговороте жизни и смерти.

Если в верхней части композиции изображены животные, двигающиеся слева направо (на скальной плоскости — с востока на запад), то в нижней движение идет в обратном направлении. Верхний ряд как бы отграничен от нижнего криволинейным триквестром (одним из символов небесных светил) и фигурка-

ми птиц-медиаторов (посредников между верхним миром и миром людей). Верхний мир олицетворяется еще одной схематической крестообразной фигуркой птицы, изображенной справа. Животные совершают как бы круговое движение. В реальном мире, мире живых, они мчатся с востока, символизирующего начало жизни, на запад, ассоциирующийся с угасанием, смертью. В загробном мире они направляются с запада на восток, для нового возрождения. Для изображения этого невидимого мира использован житель подводного царства — хариус. Чтобы подчеркнуть, что нижний ряд — это потусторонняя жизнь, художник помещает в композиции знаки загробного существования, символы угаснувшей земной жизни — стрелу и кинжал (?), впившиеся в тела животных.

Таким образом, для людей первобытной эпохи не существовало понятия небытия:



Петроглифы Алды-Мозага [фото и прорисовка], изображающие круговорот жизни и смерти. Животные стремительно мчатся, у оленей раскрыты пасти и вывалились языки, баран неестественно распластался в полете-прыжке; преднамеренно незавершенная фигура лося

означает лишь зарождение его в земной жизни. В композиции продумана каждая деталь, нет ничего лишнего. И только единственное изображение — фигура кабана в верхней части плоскости — выпадает из общей логической картины и пока не поддается объяснению.

завершив земной путь, все живое продолжало его в потустороннем мире. Наблюдая циклические изменения в природе, древний человек переносил эти закономерности и на социальную сферу.

ЛИДЕР

А. О. Рувинский,
доктор биологических наук
Институт цитологии и генетики СО АН СССР
Новосибирск

В НАШЕ время не нужно доказывать, что наука, особенно экспериментальная, перестала быть делом отдельных исследователей и превратилась в коллективное занятие. И все же наука, скажем в отличие от производства, в значительной степени опирается на индивидуальность исследователя, поскольку наиболее квалифицированная, трудная и плохо программируемая работа производится, как и прежде, строго индивидуально в сознании, а нередко и в подсознании конкретных людей. Возникает очень непростая задача — организовать работу коллектива так, чтобы сделать наиболее эффективным интеллектуальный труд каждого. Каким должен быть руководитель большого научного коллектива? В общем виде ответ известен: он должен быть ярким исследователем, умелым организатором и хорошим педагогом, а самое главное, он должен быть лидером, т. е. человеком, способным увлечь за собой других.

Конечно, может возникнуть простой вопрос: а так ли уж нужны лидеры в науке? Ведь на протяжении всей истории человечества, за исключением последних 5—6 десятилетий, наука развивалась успешно и без лидеров. Такие выдающиеся ученые, как Платон, Геродот, Авиценна, Ньютон, Дарвин, Эйнштейн, и многие другие, прославились своими фундаментальными работами, а вовсе не организаторской деятельностью.

Однако и в прошлом можно найти яркие примеры плодотворного влияния лидера на развитие науки. История российской науки в этом отношении весьма поучительна: М. В. Ломоносов, В. И. Вернадский, Н. И. Вавилов, Н. К. Кольцов, С. П. Королев были не просто великими естествоиспытателями, они вошли в историю как крупнейшие организаторы науки, создатели новых научных направлений и школ. Уход из жизни таких людей особенно тяжел для науки.

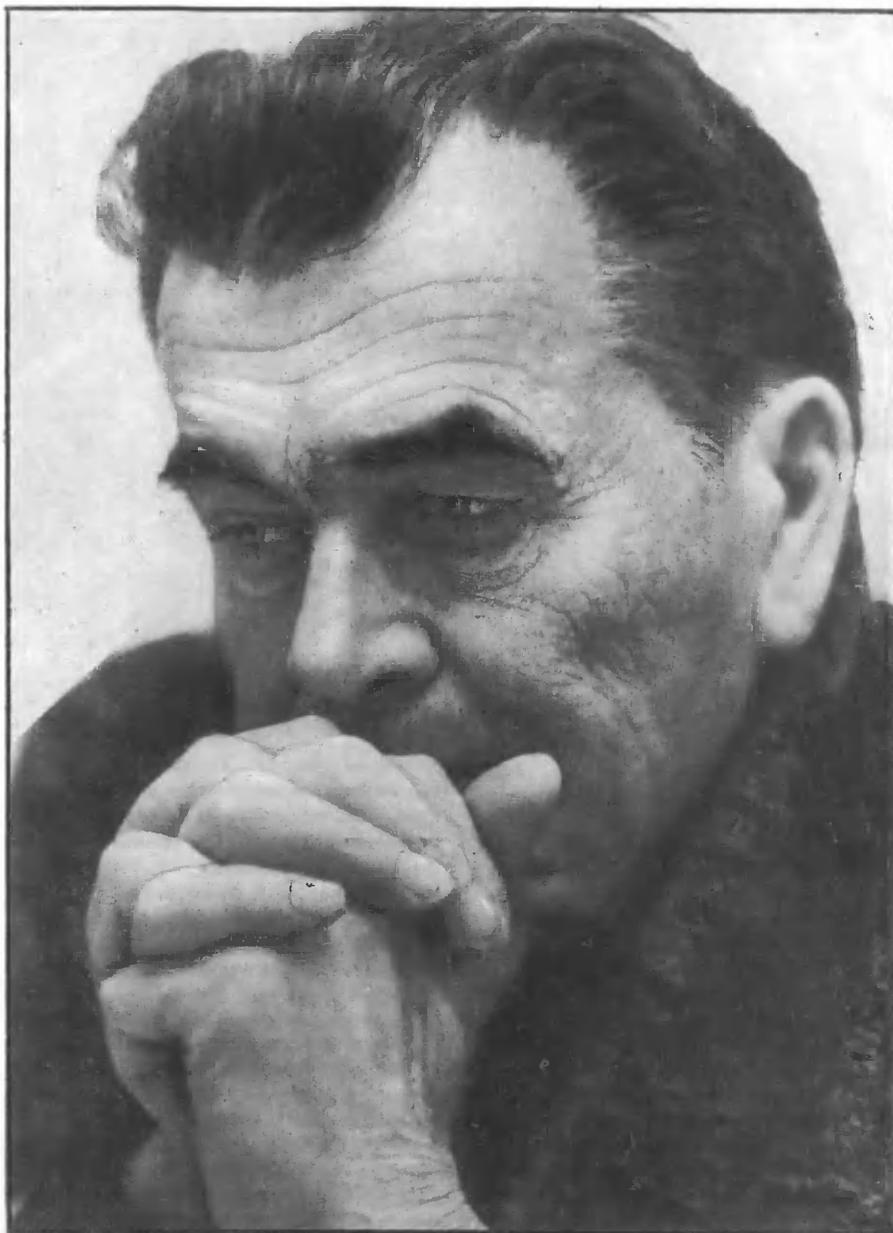
Показательна история развития отечественной генетики, для которой потеря лидеров, таких как Вавилов и Кольцов, обернулась настоящей трагедией: наука потеряла управление и прекратила свое развитие.

Последствия того времени ощущаются в генетике до сих пор.

В этой статье речь пойдет о Дмитрие Константиновиче Беляеве — человеке, внесшем огромный вклад в восстановление и развитие отечественной генетики за последние 25 лет, в течение 10 лет, несмотря на огромную занятость, бывшем активным членом редакционной коллегии «Природы». В его облике, несмотря на глубокую индивидуальность и самобытность, угадываются черты, свойственные многим замечательным советским ученым.

Интерес к биологии у Беляева возник еще в детстве. Вспоминая свои школьные годы, он говорил, что книга Э. Вильсона «Филогенетические основы жизни» буквально заворожала его логикой и красотой основополагающих явлений наследственности. Огромное влияние оказал на него старший брат Николай Константинович Беляев (1897—1937), ученик и ближайший соратник выдающегося отечественного генетика С. С. Четверикова, известный советский генетик, ставший жертвой репрессий. Пять лет (1924—1929), прожитых в Москве в семье старшего брата, не прошли даром. Время, о котором идет речь, было годами наиболее продуктивной работы знаменитой генетической лаборатории Четверикова и не менее знаменитых его семинаров — «Сооров» («совместных ораний»), часто проходивших в домашней обстановке. И Митя Беляев несколько раз оказывался свидетелем этих незабываемых горячих и глубоких дискуссий.

Путь в университет на биофак был для Беляева закрыт по социальным причинам, и поэтому он поступил в Ивановский сельскохозяйственный институт. В 1939 г. он возвратился в Москву и начал работать в лаборатории пушного звероводства Министерства внешней торговли. Здесь его научным руководителем стал Б. Н. Васин, известный советский генетик, ученик А. С. Серебровского. Под его влиянием окончательно определился интерес к генетике животных, на-



ДМИТРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ БЕЛЯЕВ.
4 [17].VII 1917—14.XI 1985.

всегда оставшийся главным среди обширных научных увлечений Беляева. Первая работа по генетике окраски меха серебристо-черных лисиц была сделана очень быстро, но завершить ее помешала война.

Беляев на четыре года оставляет науку и рядовым уходит на фронт. Многие его за-

мечательные качества по-настоящему впервые раскрылись на войне, окреп и возмужал характер. После войны перед Беляевым открывалась хорошая военная карьера, но он стремился заниматься научной работой. Трудно сказать, как бы сложилась его судьба, если бы в декабре 1945 г. по ходатай-



С однополчанами. 1944 г.

ству А. И. Микояна 28-летний майор не был демобилизован. Разрушенной стране была жизненно необходима валюта, и одним из ее источников должно было стать клеточное пушное звероводство. Нужны были специалисты, и Беляев вернулся к прерванной войной работе. К сожалению, возможность заниматься генетикой просуществовала недолго, только до 1948 г.

Обстановка в биологии второй половины 50-х годов мало способствовала возрождению генетических исследований. Сибирское отделение было в этом отношении уникальным образованием, существование которого стало возможным в основном благодаря прозорливости и решимости академика М. А. Лаврентьева и других основателей академической науки на востоке нашей страны.

Еще не была официально признана классическая генетика, а в Новосибирске в 1957 г. уже появился Институт цитологии и генетики. Правда, в первые годы существования название «институт» в сегодняшнем понимании этого слова было

слишком громким для совсем небольшого коллектива, который даже не имел своего постоянного помещения. Но какие это были люди и как они работали!

В институте собрались представители лучших генетических школ. Здесь были З. Ф. Никоро, ученица А. С. Серебровского, ближайший сотрудник С. С. Четверикова в Горьковском университете с 1934 по 1948 г. (после 1948 г. и вплоть до организации института — аккомпаниатор в Доме офицеров); Ю. Я. Керкис, ученик Ю. А. Филипченко, соратник Н. И. Вавилова (с 1942 до 1957 г. — зоотехник и директор овцеводческого совхоза в Таджикистане); В. В. Хвостова, представительница московской генетической школы, известный советский цитогенетик (с 1978 г. в Новосибирске проводятся Хвостовские чтения); В. Б. Енкен, ученик и аспирант Н. И. Вавилова; Р. Л. Берг; Л. А. Лутков, ученик и сотрудник Г. Д. Карпеченко.

Организация института была поручена Н. П. Дубинину, тогда еще члену-корреспонденту АН СССР. Д. К. Беляев был приглашен в Новосибирск как заведующий лабораторией генетики животных. Осенью 1958 г. он приступил к работе с большим энтузиазмом, ибо всю сознательную жизнь стре-

мился заниматься генетикой животных, но обстоятельства лишили его такой возможности — сначала война, потом сессия ВАСХНИЛ 1948 г.

Все приходилось начинать с нуля. Годом позже Дубинин, работавший и живший главным образом в Москве, был вынужден покинуть институт. Директором назначили Беляева, самого молодого заведующего лабораторией.

В то время заниматься генетикой было не просто, нужно было иметь большое мужество и преданность науке. Все давалось с большим трудом. Главная задача была выстоять.

Организация и строительство института и в нормальных условиях дело тяжелое, требующее много сил, а тогда условия были экстремальными. Вот один пример. Летом 1964 г. наконец было построено здание для Института цитологии и генетики. Сотрудники, дружно работавшие на стройке и отдавшие немало сил для ее завершения, конечно, с нетерпением ждали переезда. В последний момент просочились сведения, что генетикам придется подождать (однажды так уже было, здание передали другому институту). Беляев под свою ответственность отдал распоряжение о срочном переезде в новое здание. Нельзя сказать, что жизнь института и директора была гладкой. Непростыми подчас были отношения ветеранов с молодым директором. Однако сознание важности общего дела, взаимное доверие всегда склоняло чашу весов в пользу коллективных решений.

Первые молодые сотрудники — ученики Д. К. Беляева, питомцы Московского и Ленинградского университетов (сегодня это крупные исследователи, руководители институтов и лабораторий, создатели научных направлений) — пришли в институт без элементарных знаний основ классической генетики. К счастью, в институте было у кого поучиться: «старая гвардия» генетиков не только создавала в институте атмосферу истинной науки, но и обучала молодежь. Для всех без исключения научных сотрудников директор поставил жесткие условия: каждый должен владеть генетическими знаниями на уровне кандидатского минимума, а также пройти цитогенетический и генетический практикум на дрозофиле. Любопытно было наблюдать, как физики и математики, пришедшие работать в институт, постигали мушкетерские премудрости. Однако никто не считал это время потерянным. Беляев был убежден в необходимости постоянного самообразования и был в этом отношении примером, достойным подражания.

Зарождающийся в Сибири генетический институт не всем пришелся по вкусу: непрерывные проверки и комиссии не просто мешали работать, они ставили под угрозу его существование. Но твердость, изобретательность, а иногда житейская мудрость председателя Сибирского отделения АН СССР М. А. Лаврентьева помогли выстоять.

Институт и директор росли стремительно. Появлялись новые идеи, формировались новые научные направления, совершенствовалась организация института. Начали приносить плоды научные проекты, возникшие задолго до создания института. Отвечая в день 25-летия СО АН СССР на вопрос о причине, приведшей его в Институт цитологии и генетики, Беляев сказал, что у него было большое желание экспериментально проверить некоторые закономерности эволюционного процесса.

В классических трудах И. И. Шмальгаузена убедительно показана логика замены в ходе эволюции менее стабильных средовых факторов развития организмов более стабильными. Вероятно, поэтому стабилизирующий отбор привел к возникновению у животных таких форм реагирования, которые обеспечивают максимальную адаптацию видов к условиям обитания. Поскольку световой режим принадлежит к числу самых стабильных экологических факторов, биологические системы реагирования на него у многих видов также предельно стабилизированы. Например, млекопитающие Палеарктики (волки, лисицы и др.) в природе размножаются один раз в году и в одно и то же время в полном соответствии с цикличностью фотопериодических изменений. Между тем хорошо известно, что многие домашние животные утратили строгую сезонность размножения и моноэстричность (способность давать потомство только раз в год). Анализируя различные аспекты проблемы, Беляев предположил, что такая перестройка физиологических систем адекватного ответа домашних животных на фотопериодические изменения есть следствие бессознательной селекции этих животных по поведению на начальных этапах одомашнивания. План работы состоял в том, чтобы воспроизвести исторический опыт одомашнивания животных, используя в качестве модели серебристо-черных лисиц, разводимых на фермах и находящихся на самом раннем этапе доместикации.

Эксперимент был начат Беляевым в 1952 г., с 1958 г. в него активно включился Л. Н. Трут, продолжающая работу в этом направлении до сих пор. За время уникаль-

ного селекционного эксперимента, длящегося свыше 30 лет, изучено несколько десятков тысяч животных, получено множество разнообразных фактов. Прежде чем пояснить суть научной концепции Беляева, напомним в самых общих чертах основные результаты эксперимента по одомашниванию. В ходе отбора по поведению, точнее, по характеру оборонительной реакции на человека, не просто увеличивалось число особей спокойного поведения, но появились лисицы совершенно нового типа, приближающиеся к домашней собаке.

Селекция по поведению не ограничилась изменением самого поведения. Как и предполагалось, постепенно изменялись репродуктивная и другие стабилизируемые функции лисиц, например, периодичность линьки. Несмотря на отсутствие генетически детерминированной изменчивости, в селекционируемой популяции появились животные, способные размножаться дважды в год. Следовательно, случилось то, что закономерно осуществлялось каждый раз при одомашнивании разных видов животных: переход от моноэстричности к ди- и полиэстричности.

Естественно было бы ожидать, что в ходе селекции по поведению вслед за перестройкой и даже ломкой физиологических систем последует морфологическая перестройка. Глубокая убежденность Беляева, что события развернутся в указанном направлении, позволяла ему не раз обнаруживать что-нибудь «новенькое» при очередном осмотре животных и вселять уверенность в сотрудников. Когда директор узнавал, что на ферме появилось что-либо необычное, он заргорался, откладывал все дела и уезжал в экспериментальное хозяйство. «Смотреть зверей» доставляло Беляеву огромное интеллектуальное и эстетическое наслаждение. Хотя его поездки на ферму в силу огромной занятости становились с годами менее частыми, они придавали работе новые импульсы. Сотрудники очень любили эти совместные осмотры животных, но и слегка побаивались зоркого глаза Беляева.

Постепенно сложилась концепция дестабилизирующего отбора, суть которой можно свести к трем принципиальным положениям.

Во-первых, движущий отбор становится дестабилизирующим в том случае, если он протекает с высокой интенсивностью и вовлекает в свою сферу высокоинтегрированные признаки, такие как поведение, устойчивость к стрессу, фотореактивность. Эволюционная роль столь сложных признаков и ранее не подвергалась сомнению, однако существует большой разрыв между деклара-

тивным признанием и глубоким экспериментальным и теоретическим анализом.

Во-вторых, в рамках синтетической теории эволюции наследственная изменчивость и естественный отбор рассматриваются как независимые эволюционные факторы. Согласно классическим представлениям, естественный отбор лишь активно использует имеющуюся в эволюционирующих популяциях изменчивость. Концепция дестабилизирующего отбора утверждает, что отбор в определенных ситуациях приводит в действие новые внутренние источники изменчивости, направляя наследственную изменчивость. Резкая перестройка в ходе отбора генетических систем, занимающих высокое иерархическое положение в системе генома, через нейрогормональную регуляцию в наиболее напряженные моменты жизни вида может активизировать латентный генетический материал и резко повышать темпы формообразования. Таким образом, традиционное представление о независимости естественного отбора и наследственной изменчивости, по-видимому, нуждается в коррекции.

В-третьих, в процессе дестабилизирующего отбора в конкретной эволюционной ситуации однонаправленно изменяются одни и те же механизмы регуляции онтогенеза, вследствие чего формируются новые, но у разных видов принципиально сходные состояния регуляторных систем. В этом одна из существенных причин возникновения гомологичной изменчивости в разных систематических группах, что, например, отчетливо наблюдается при одомашнивании животных.

Концепция дестабилизирующего отбора не противоречит классическим положениям эволюционной теории. Она лишь объясняет специфические эволюционные ситуации, складывающиеся в экстремальных условиях, для которых характерна огромная скорость морфофизиологических преобразований, она расширяет перспективы дальнейших исследований и вносит существенный вклад в развитие эволюционной теории.

Академия наук СССР высоко оценила этот цикл работ¹, удостоив Д. К. Беляева и Л. Н. Трут в 1982 г. премии им. Н. И. Вавилова. Заслуги Беляева в этой области науки получили признание и за рубежом.

В Беляеве органично сочетались, казалось бы, не очень совместимые качества.

¹ Беляев Д. К. Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при domestикации животных // Природа. 1979. № 2. С. 36—46.

С одной стороны, он всегда стремился к обдумыванию и разработке наиболее общих вопросов генетики и эволюционной теории, иногда весьма гипотетичных. Многие его идеи, в том числе и концепция дестабилизирующего отбора, далеко не всем казались бесспорными и лишь со временем получили весомое экспериментальное обоснование. С другой стороны, он ясно понимал важность применения генетики в практике. Именно благодаря его энтузиазму и постоянному вниманию было создано и успешно развивалось экспериментальное хозяйство СО АН СССР в Академгородке, а позднее возникло Алтайское экспериментальное хозяйство СО АН СССР.

Беляев постоянно сознавал скромность наших познаний, но верил в безграничные возможности науки. Он очень любил в этой связи повторять шекспировские строки: «Как много, друг Горацио, на свете есть такого, что

и не снилось нашим мудрецам!». Именно такой настрой его ума был причиной многих действий. Беляеву было совершенно несвойственно отвергать неожиданные, а иногда и сомнительные предложения только по той причине, «что такого не может быть». Нередко, вопреки распространенному мнению, он санкционировал исследования, казавшиеся многим «мутными», и в ряде случаев его интуиция побеждала. Не обходилось, конечно, без курьезов. Однажды к Беляеву обратился биолог из другого города, утверждая, что он овладел экспериментальным приемом, с помощью которого можно модифицировать менделевские закономерности. У посвященных в эту историю сотрудников лаборатории было дружное негативное отношение к идее. Директор пригласил автора идеи в институт и предложил в совместном эксперименте проверить ее. Эксперименты ясно продемонстрировали несостоятель-



ность идеи. Беляев метко иронизировал по этому поводу, но душа его была чиста — огульного отрицания чужой работы не было.

Быстрое и успешное развитие Института цитологии и генетики было в большой степени результатом научной и организаторской деятельности его директора. Исходя из такой оценки, Академия наук СССР в 1964 г. избрала кандидата биологических наук Д. К. Беляева членом-корреспондентом, а в 1972 г. — академиком.

В середине 70-х годов появились новые методы анализа последовательностей ДНК, стала развиваться геновая инженерия. На одном из институтских семинаров Беляев заинтересовался мнением сотрудников о состоянии и перспективах института. Один молодой сотрудник с присущей ему прямо-той и максимализмом заявил, что дела пока идут неплохо, но, по его мнению, институт может превратиться через десять лет в сельскохозяйственное учреждение, если тенденции сохранятся. Сегодня, по прошествии десяти лет, можно сказать уверенно: прогноз не сбывается. С первых дней своей деятельности на посту директора Беляев стремился к гармоничному развитию генетических исследований на всех уровнях. Молекулярная генетика не была в этом смысле исключением, напротив, в 70-х и 80-х годах Беляев активно поддерживал ее развитие. Не случайно один из первых синтетических генов в стране был создан в Институте цитологии и генетики. Сегодня это достижение 7—8-летней давности не кажется столь грандиозным, как в конце 70-х годов, но «виновата» в этом сама наука, идущая вперед семимильными шагами.

Будучи четверть века директором крупного интенсивно развивающегося института, Беляев продемонстрировал глубокое понимание принципов руководства научным коллективом. Блестящее владение тактикой научно-организаторской и административной деятельности сочеталось в нем с редкой способностью жестко выдерживать главный стратегический курс на развитие фундаментальных исследований по генетике и поиск возможностей для их практического использования. Никакие соблазны не могли сдвинуть его с принципиальных позиций. Понимание важности и актуальности новейших идей и методов никогда не снижало его оценки классической фундаментальной биологии, которой он прекрасно владел.

Беляев обладал врожденными качествами лидера. Взять хотя бы его способности влиять на аудиторию. Сила взгляда, глубина и эмоциональность выступлений Беляева производили на многих сотрудников

сильное впечатление. Как-то одна дама-профессор после заседания ученого совета даже обвинила директора в том, что он гипнотизирует аудиторию. Часто на семинарах и научных сессиях поражала свободная ориентация Беляева в вопросах, весьма далеких от его собственных научных интересов. Он так умел построить заключительное выступление на любом научном собрании, что не повторял уже сказанного и никогда не упускал наиболее существенных моментов. Нередко совершенно незнакомые люди угадывали крупного человека, незаурядную личность. Внешний облик Беляева, манера держаться, уверенность и интеллигентность делали его очень узнаваемым.

Великолепная память и редкое умение слушать собеседника позволяли Беляеву моментально включаться в разговор или научную дискуссию, прерванную много дней назад. Он уверенно и непринужденно общался и с крупными государственными деятелями, и с коллегами, и с рабочими. Гуманизм был его неотъемлемой чертой. Думаю, что важную роль в становлении этих качеств сыграли отец, Константин Павлович, сельский священник, и мать, Евстолия Александровна. Поведение Дмитрия Константиновича по отношению к знакомым и часто незнакомым людям сводилось к простой формуле: «Можешь — значит должен». Массу ярких примеров можно привести в подтверждение этого тезиса. Сошлюсь на один из них. У молодого сотрудника института тяжело заболел ребенок, необходима была срочная помощь из Москвы. Беляев в три часа ночи обратился к Лаврентьеву. Ребенок был спасен. Позднее выяснилось, что в этом состоял единственный шанс.

Решая вопросы, которые «не горят», Беляев обычно не спешил и иногда надолго откладывал их, выслушивал советы, колебался. В острых ситуациях он преображался: действовал быстро, напористо, строго, и тем, кто был неоперативен и неточен, могло здорово перепасть. Многие сотрудники усвоили золотое правило: не попадать в подобных ситуациях под горячую руку. Постепенно в коллективе сложилось твердое убеждение, что во главе института стоит отличный организатор и ученый. Но сам директор часто говорил, что ни одно благое дело не проходит безнаказанно. Находились и такие люди, которые писали в разные инстанции письма, часто анонимные. Поразительно, но некоторые не прекратили своих занятий и после того, как Дмитрия Константиновича не стало. Было бы неправильно утверждать, что все разделяли и единодушно признавали его научные и организационные успехи. Однако



На экспериментальном поле озимых пшениц. Слева направо: А. П. Филатов, В. А. Коптюг, Д. К. Беляев, В. М. Чекуров.

отрицать роль Беляева в развитии советской генетики невозможно.

Несмотря на ощутимые успехи, Беляев постоянно стремился получить дружескую, но критическую оценку деятельности института. В институт не раз приезжали выдающиеся отечественные генетики: Б. Л. Астауров, Н. В. Тимофеев-Ресовский, П. Ф. Рокицкий, Б. Н. Сидоров, Н. Н. Соколов, М. Е. Лобашов, Ю. М. Оленов, А. А. Прокофьева-Бельговская. Постепенно пришло и международное признание.

С особой тщательностью, свойственной Сибирскому отделению АН СССР, решался вопрос о воспитании научных кадров. В 1961 г. в Новосибирском государственном университете открылась кафедра цитологии и генетики, которую основал и в течение 25 лет возглавлял Беляев. Все здесь делалось заново с огромным энтузиазмом и энергией: создавались оригинальные курсы лекций и специальные семинары. Беляев участвовал во многих кафедральных начинаниях; читал первый курс генетики; привлекал молодых специалистов института для чтения лекций; с профессором В. В. Хвостовой подготовил первый семинар по теории эволюции, шумевший в 1967—1968 гг. Не часто удается обычный семинар поднять до уровня высокого общения. Он сумел. Большой ученый, он легко «заводился», вступал в спор со студентами, не давая им, впрочем, ни-

каких скидок. Кафедра и институт существовали как единое целое. К настоящему времени подготовлено несколько сотен квалифицированных генетиков и цитологов, более ста из них работают в институте.

Однажды на встрече со студентами Беляев услышал сожаление, что ученые должны заниматься хозяйственной и административной деятельностью. Ответ был простой: «Это не нами заведено и не нами закончится. Еще с Ломоносова пошло: хочешь делать дело — организуй его! М. А. Лаврентьев начал с того, что сам приехал на место будущего Академгородка, поселился с женой Верой Евгеньевной в избе и около десятка лет его жизни ушло из науки, пока все не было организовано. И никак иначе нельзя!»

И сам Беляев, не жалея сил, тратил время не только на организацию института, но и на организацию науки в Сибири: он был членом президиума Сибирского отделения около 20 лет; последние 10 лет, будучи заместителем председателя СО АН СССР, всемерно способствовал развитию научных исследований в Сибири.

Беляев — один из учредителей и активнейших организаторов Всесоюзного общества генетиков и селекционеров им. Н. И. Вавилова, созданного в 1965 г. В 1972 г. в Москве, наконец, состоялся II съезд ВОГИС (I генетический съезд был организован Н. И. Вавиловым и проходил в Ленинграде в 1929 г.),

на котором директор института выступил с пленарным докладом, посвященным генетическим аспектам доместикации и теории отбора. Успешная работа института была отражена в многочисленных докладах сотрудников.

На XIII Международном генетическом конгрессе в г. Беркли (США) советской делегации было поручено внести предложение о проведении следующего конгресса в Москве. Активная позиция делегации привела к желаемому результату. Мечта Н. И. Вавилова провести генетический конгресс в Москве стала реальностью. Подготовка к конгрессу была не только большим и ответственным делом, но и проверкой на прочность всей советской генетики. На плечи генерального секретаря конгресса Д. К. Беляева легла огромная ответственность. Организация конгресса резко осложнялась кампанией бойкота на Западе, грозившей сорвать проведение конгресса в СССР. Однако благодаря целеустремленности оргкомитета главные трудности были преодолены.

В августе 1978 г. в Кремлевском Дворце съездов открылся XIV Международный генетический конгресс, проходивший под девизом «Генетика и благосостояние человечества». На пленарном заседании, посвященном памяти Н. И. Вавилова, Беляев выступил с докладом «Дестабилизирующий отбор как фактор изменчивости при доместикации». Американская генетическая ассоциация предложила также считать его пленарное выступление лекцией, посвященной памяти Вильгельмины Е. Кей, которая основала чтения заказных лекций ведущими генетиками с последующей публикацией в журнале американской генетической ассоциации «The Journal of Heredity». Впервые за время существования ассоциации иностранцу была оказана честь прочитать эту почетную лекцию.

Московский конгресс прошел очень успешно как в научном, так и в организационном отношении. Президентом Международной генетической ассоциации был избран Беляев, его последующая деятельность стимулировала прогресс генетических исследований в разных странах и способствовала росту авторитета советской науки.

Грустно сознавать, что жизнь Дмитрия Константиновича оборвалась, когда он был полон научных идей, новых замечательных проектов. В последние годы его особенно занимала проблема сохранения генофондов исчезающих видов и пород сельскохозяйственных животных и использования этого уникального разнообразия для науки и практики. По инициативе Сибирского отделения АН было принято решение об орга-

низации научного учреждения в Горном Алтае — центра по генетике, гибридизации и доместикации животных. Беляева беспокоили вопросы, казалось бы, прямо не связанные с его собственными научными интересами. С середины 70-х годов он упорно поддерживал и направлял работы по созданию озимых пшениц для Сибири, несмотря на скептическое отношение многих специалистов. Возражения сводились главным образом к тому, что и на Кубани озимые пшеницы часто вымерзают и что все предыдущие попытки были неудачными. Однако внедрение принципиально новых методов селекции быстро сдвинуло, казалось бы неразрешимую, проблему с мертвой точки. В настоящее время новые устойчивые сорта озимых пшениц, дающие высокие урожаи уже в июле — августе, проходят государственные сортоиспытания. Внедрение этих сортов в практику должно способствовать решению проблемы уборки зерновых в Сибири. Даже в последние дни своей жизни Беляев предпринимал все возможное, чтобы придать этому важнейшему делу максимальный импульс.

Не мог он пройти мимо дискуссии о биосоциальной природе человека². Слепое биологизирование, так же как и вульгарная социологизация, подчеркивал Беляев, какими бы фразами они ни прикрывались, в равной степени непригодны для творческой разработки этой важнейшей проблемы нашего времени. Не случайно его пленарный доклад на XV Международном генетическом конгрессе в Нью-Дели (1983) назывался «Генетика, личность и общество». Истоки этих интересов легко объяснимы: они — следствие его высокой гражданской ответственности, истинного патриотизма и гуманизма. Его идейная «заряженность», глубина убеждений, обширные знания, прекрасные ораторские способности, человечность и многие другие замечательные качества влекли к нему людей, создавали высокий и заслуженный авторитет. Своим неустанным трудом Д. К. Беляев заполнил еще одну яркую страницу в истории советской генетики и биологии.

Когда в мае 1985 г., в канун 40-летия Победы, Дмитрий Константинович после тяжелой болезни вошел в переполненный конференц-зал Института цитологии и генетики, коллектив искренне приветствовал своего лидера бурными аплодисментами.

² Беляев Д. К. Проблемы биологии человека: генетические реальности и задачи синтеза социального и биологического // Природа. 1976. № 2. С. 26—30.

ВОКРУГ «ОЗОННОЙ ДЫРЫ»

И. И. Цигельницкий,
кандидат географических наук

Арктический и Антарктический
научно-исследовательский институт
Государственного комитета СССР
по гидрометеорологии
Ленинград

УМЕНЬШЕНИЕ концентрации озона над Антарктидой — так называемая «озонная дыра» — стала в последнее время одной из наиболее популярных научных тем в массовой печати. Обсуждаются различные гипотезы происхождения этого явления, и прежде всего роль антропогенного фактора. При этом особенностью антарктической атмосферы, и в частности необычные изменения ее температуры, как правило, остаются в тени, а между тем именно с ними связано и изменение концентрации озона.

Из-за того что антарктический материк расположен вокруг полюса и на большой высоте, почти всю его атмосферу охватывает огромный циркумполярный вихрь. Его размеры по горизонтали так велики, что в период своего максимального развития вихрь простирается на север вплоть до субтропиков. В системе полярного вихря существуют мощные горизонтальные потоки северо-западного направления, имеющие характер длинных волн, опоясывающих материк. Эти волны как бы «отрезают» воздушные массы над Антарктидой от остальных частей атмосферы, лежащих к северу, и препятствуют таким образом меридиональному воздухообмену. При таких условиях над Антарктидой зимой и образуется очаг холода с температурой в нижней стратосфере до минус 90 °С.

Исследования термического режима антарктической

атмосферы, проведенные за последние годы советскими учеными, показали, что сезонная весенняя перестройка термических полей, начинающаяся в Антарктиде обычно с резких, так называемых взрывных потеплений и приводящая к разрушению циркумполярного вихря в летний период, происходит последнее десятилетие медленнее и менее интенсивно, чем раньше. Как следствие этого, полярный вихрь сохраняется дольше, что повлекло за собой в последние годы похолодание стратосферы в среднем на 9—41 °С.

Впервые взрывные потепления были обнаружены Р. Шерхагом в 1952 г. в стратосфере Северного полушария. С 28 по 30 января температура воздуха над Берлином на высоте 25—28 км повысилась на 38 °С. Одновременно потепление отмечалось над Данией и севером Гренландии. В последние годы подобные повышения температуры отмечались ежегодно. Первые же исследования этого явления показали, что оно длится обычно 5—7 суток и наиболее резко выражено на высоте 26—35 км. Иногда повышение температуры достигает 40—50 °С за сутки.

Масштабы взрывных потеплений и их повторяемость привлекли внимание многих специалистов, поскольку столь большие колебания температуры в огромном по толщине слое атмосферы нельзя не учитывать на практике, в частности при планировании и прове-

дении полетов высотных самолетов и космических аппаратов.

После организации аэрологических наблюдений в южной полярной области в течение Международного геофизического года в 1956—1957 гг. похожее явление было зарегистрировано и в стратосфере Антарктики. Сопоставление данных показало, что характер взрывных потеплений в Северном и Южном полушариях неодинаков. Если в Северном полушарии они, как правило, отмечаются в середине зимы, в январе — феврале, то в Южном — в конце зимы, в августе — сентябре, преимущественно в прибрежной зоне Антарктиды и предшествуют сезонной термической перестройке. Иными словами, сразу же за взрывным потеплением начинается обычное постепенное повышение температуры воздуха от зимы к лету под влиянием солнечного прогрева.

По мере изучения взрывных потеплений возникли различные гипотезы об их связи с резкими изменениями солнечной активности (Р. Шерхаг); с колебаниями содержания озона (А. А. Петров, Л. А. Рязанова); с крупномасштабными перемещениями воздушных масс во всей толще атмосферы и, как следствие этого, переносом тепла по горизонтали и образованию нисходящих вертикальных движений воздуха (С. С. Гайгер).

В 1967 г., заинтересовавшись природой столь необычного явления, автор этих строк попытался проанализировать два взрывных потепления, наблюдавшихся в стратосфере над Восточной Антарктидой в 1964 и 1965 гг., с целью проверки некоторых из перечисленных гипотез. По данным температурно-ветрового зондирования, на советской антарктической станции Мирный (66°33' ю. ш., 93°11' в. д.) в перво-половину августа 1964 г. температура воздуха на высоте 22—23 км (давление — 20 гПа) за 5 суток повысилась на 37 °С (от —76 до —39 °С), а в сентябре 1965 г. за 3 суток — на 30 °С (от —77 до —47 °С). Одновременно с повышением температуры выросла скорость ветра, достигнув на высоте 25 км максимума — 140 м/с.

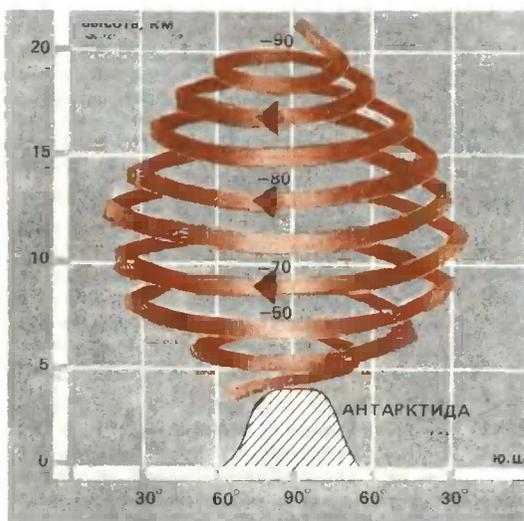


Схема антарктического циркумполярного вихря в период его максимального развития. (июль). Температура с высотой изменяется от -50 до -90°C .

тавших, что потепление распространяется сверху вниз, поскольку на температурных графиках, построенных по результатам аэрологических наблюдений в отдельных пунктах, наибольшие амплитуды температуры во время потеплений всегда отмечаются на максимальных высотах зондирования.

По данным же Погосьяна и Павловской, потепление распространяется снизу вверх и первичным фактором его возникновения служат процессы, протекающие в тропосфере. По их мнению, крупным взрывным потеплениям предшествует бурная циклоническая деятельность, сопровождающаяся усиленным воздухообменом. Вспомним, что потепления, наблюдавшиеся в Мирном, всегда сопровождались глубокими циклонами в тропосфере. Начавшиеся внизу крупные преобразования атмосферной циркуляции, ориентированные в меридиональном направлении, распространяются вверх и захватывают нижние слои стратосферы. Повышения температуры в тропосфере возникают чаще всего в умеренных широтах над областями схождения воздушных течений, а затем смещаются на север, в Арктику, или на юг, в Антарктику. Дополнительные расчеты показали, что интенсивность меридиональной циркуляции во время взрывных потеплений возрастает в огромном по толщине слое атмосферы — от поверхности земли до высоты 30—35 км.

В качестве еще одного доказательства ведущей роли тропосферных процессов в формировании взрывных потеплений Погосьян и Павловская привели различия в их характере в Арктике и в Антарктике. В самом деле, физико-географические условия Южного полушария, и в частности огромный по площади (14 млн км²), высокий (до 4 тыс. м) ледяной щит, занимающий всю южнополярную область, препятствуют столь продолжительному и интенсивному развитию меридионального переноса тепла и макротурбулентности, которые наблюдаются в Северном полушарии. Именно поэтому над центральными районами Антарктиды зна-

Анализ карт погоды показал, что во время потеплений 1964 и 1965 гг. у побережья Восточной Антарктиды и в нижней тропосфере (0—5 км) наблюдались «глубокие» циклоны. В 1964 г. в центре такого циклона атмосферное давление понизилось до рекордной за весь предшествующий восьмилетний период существования станции величины — 941 гПа. Во время второго потепления в сентябре 1965 г. давление в центре циклона понизилось до величины 946 гПа. Таким образом, взрывные потепления 1964—1965 гг. сопровождались мощнейшими вихревыми возмущениями в тропосфере и должны были повлечь за собой усиленный турбулентный энергообмен в значительной толще атмосферы. Что же касается озона, то вывод однозначен — его общее содержание в период обоих потеплений возросло почти на треть.

Во время работы 14-й Советской антарктической экспедиции мне довелось стать свидетелем очередного взрывного потепления стратосферы над Мирным в августе 1969 г. Температура воздуха на высоте 27—28 км за сутки повысилась на 23°C . Как и в 1964 г., одновременно с повышением температуры увеличилась скорость ветра (до 115 м/с). Благодаря тому что в 1969 г. в Мирном

проводился широкий комплекс геофизических наблюдений, появилась возможность сопоставить аэрологические данные, характеризующие процесс потепления, с некоторыми параметрами, отражающими колебания солнечной активности. Согласно данным, полученным с помощью монитора, регистрирующего нейтронную компоненту космических лучей, интенсивность потока нейтронов в период потепления значительно возросла.

Итак, на первый взгляд могло показаться, что совпадение резких повышений температуры воздуха в стратосфере с усилением солнечной активности и увеличением общего содержания озона служит подтверждением гипотез Шерхага, Петрова и Рязановой. Однако синоптический анализ и расчеты, выполненные в конце 70-х годов в Гидрометцентре СССР Х. П. Погосьяном и А. А. Павловской, показали, что на изменение температуры в стратосфере (в частности, при взрывном потеплении) влияют процессы, происходящие не в высоких, а в нижних слоях атмосферы, т. е. в тропосфере (0—10 км)¹. Этот вывод противоречил мнению многих специалистов, счи-

¹ Погосьян Х. П., Павловская А. А. // Метеорол. и гидрология. 1978. № 2. С. 26—31.

чительных потеплений не отмечается, что хорошо согласуется и с нашими данными за 1964, 1965 и 1969 гг. Лишь в прибрежной зоне материка, где рельеф не оказывает влияния на интенсивность меридионального переноса, прослеживаются потепления, предшествующие летнему повышению температуры стратосферы и сопровождающиеся увеличением содержания озона. Таким образом, связь термического и динамического состояния циркумполярного вихря с количеством озона была доказана еще в 60-е и 70-е годы.

А в начале 80-х было установлено, что количество озона в атмосфере, и в частности в южной полярной области, стало уменьшаться. В 1985 г. появились сообщения, что содержание озона в атмосфере над британской антарктической станцией Халли последние 10 лет катастрофически падает, а концентрация озона в слое 15—25 км над японской антарктической станцией Сёва весной уменьшилась вдвое. Так родилась версия об «озонной дыре» в атмосфере над южной полярной областью. Анализ спутниковых данных подтвердил, что количество озона над Антарктидой с каждым годом сокращается. Это не могло не вызвать серьезных опасений.

Известно, что атмосферный озон образуется в результате сложных фотохимических реакций под воздействием ультрафиолетового излучения Солнца. Хотя содержание озона в стратосфере невелико — всего несколько частиц на миллион, его значение для биосферы в целом чрезвычайно важно. Поглощая ультрафиолетовое излучение, озон не пропускает к поверхности Земли самую губительную для всего живого часть солнечной радиации с длиной волны менее 290 нм.

Установить причины уменьшения количества озона оказалось не так легко. Еще до обнаружения «озонной дыры» американские и швейцарские специалисты высказали предположение о том, что количество озона может уменьшиться за счет резкого увеличения в атмосфере концентрации содержащих серу веществ,

попавших туда в результате крупнейшего извержения вулкана Эль-Чичоне в Мексике в 1982 г.

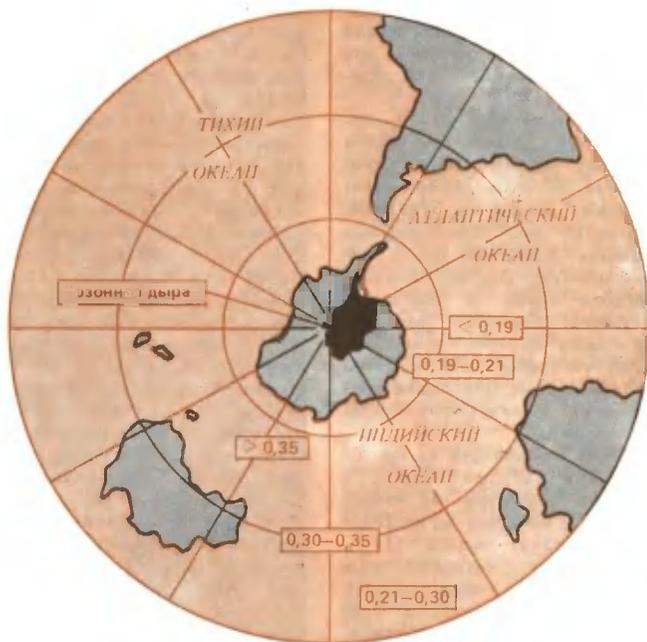
Позже появились и другие гипотезы. Так, результаты одного из исследований, проведенных американскими специалистами, показали, что химические реакции, в результате которых образуется озон, стимулируются определенной долей ультрафиолетовой радиации, интенсивность которой уменьшается с уменьшением количества солнечных пятен. В июне 1986 г. на заседании Геофизического союза США была высказана еще одна точка зрения — «озонная дыра» может быть косвенным результатом воздействия 11-летнего цикла солнечной активности с максимумом в 1979—1981 гг.

Д. Бейкер и его коллеги из Лос-Аламосской национальной лаборатории США установили, что каждые 27 дней в течение двух с половиной суток происходит резкое повышение интенсивности потока электронов, попадающих в атмосферу из космического пространства.

Эти исследователи считают, что именно такие электроны разрушают озонный слой. Источник этих электронов точно не известен, но Бейкер считает, что им является Солнце, а на Землю электроны попадают, пройдя мимо Юпитера. 27-дневная периодичность хорошо согласуется с периодом вращения Солнца вокруг оси.

Специалисты Британской антарктической службы в свою очередь выдвинули гипотезу о решающей роли в уменьшении количества озона хлористых соединений, и прежде всего фреонов. Английские ученые еще в 1974 г. предупреждали об опасном воздействии фреонов на озон, а в 1977 г. в Великобритании было запрещено использовать фреоны при производстве аэрозолей, получивших широкое распространение во всем мире. Однако и после этого положение с содержанием озона не изменилось. За период 1980—1987 гг. в области антарктической «озонной дыры» оно понизилось на 50 %.

В августе 1986 г. на американскую антарктическую стан-



Общее содержание озона над Антарктидой (толщина слоя газа в сантиметрах, при температуре воздуха 0° С и атмосферном давлении 760 мм рт. ст.). Октябрь 1983 г.

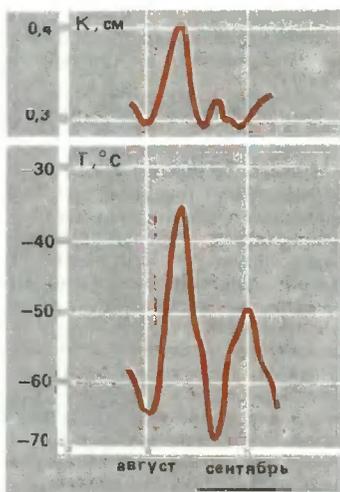
цию Мак-Мердо прибыла специально созданная в США Национальная экспедиция по изучению озона. В течение месяца участники экспедиции измеряли концентрацию озона на различных высотах с целью определения вертикальной структуры «озонной дыры» и одновременно наблюдали за 14 другими химическими составляющими атмосферы, изменение которых могло бы прояснить механизм уменьшения содержания озона.

Подводя предварительные итоги работы экспедиции, ее участники подвергли сомнению гипотезу о влиянии солнечной активности и высказали предположение, что и фреоновая гипотеза нуждается в дополнительной проверке. Маловероятной посчитали и так называемую динамическую модель, сторонники которой считают основным фактором формирования «озонной дыры» вертикальные движения крупномасштабных воздушных масс.

Однако сторонники этой модели и сторонники «солнечной» гипотезы не склонны соглашаться с выводами экспедиции, поскольку, по их мнению, данные, полученные на станции Мак-Мердо, не характерны для всей антарктической атмосферы.

И действительно, как свидетельствуют результаты самых последних исследований, динамическая гипотеза заслуживает большего внимания. Полезно вспомнить, что атмосферные процессы, протекающие в системе циркумполярного антарктического вихря, в частности, в периоды взрывных потеплений, имеют именно такие масштабы, которые необходимы для термически обусловленных изменений химического состава атмосферы.

Как отмечалось на состоявшемся в декабре 1986 г. в Австралии семинаре по «озонной дыре», началом ее формирования следует считать 1979 г., что совпадает с похолоданием антарктической стратосферы, обнаруженным советскими учеными. Далее площадь «озонной дыры» становилась все больше и больше, достигнув в 1984 г. нескольких миллионов квадратных километров. Про-



Изменение во времени общего содержания озона (K, см) и температуры воздуха (T, °C) на высоте 22—23 км, где давление составляет 30 гПа.

демонстрированные на семинаре американскими специалистами цветные снимки «озонной дыры» из космоса убедительно свидетельствовали о том, что она представляет собой крупномасштабный вихрь. Это обстоятельство может служить подтверждением динамической модели.

Ведь если принять во внимание реально существующую взаимосвязь потеплений полярной стратосферы и увеличения содержания озона, то современное похолодание антарктической атмосферы логически согласуется с его наблюдающимся уменьшением. По мнению А. М. Свешникова и Н. У. Каримовой, истощение озонового слоя не носит катастрофического характера, а является ранее неизвестной, характерной особенностью пространственно-временного распределения озона в антарктической атмосфере, обусловленной, в свою очередь, особенностями атмосферной циркуляции².

Как бы там ни было, до

сих пор нет достаточного количества эмпирических материалов для обоснованного объяснения исключительно сложных динамических и химических процессов, связанных с изменением содержания озона. Е. П. Борисенков считает, что ни один из предлагаемых сегодня механизмов в отдельности не дает полного объяснения причин формирования «озонной дыры». Он отдаёт предпочтение механизму, обусловленному изменением солнечной активности³. Ясно, что для дальнейшего изучения этого интересного и важного явления требуется время.

На английских и американских станциях Эрайвелл-Хайтс, Южный Полюс и Халли, где проводится комплекс метеорологических наблюдений, вскоре будет изучаться не только озон, но и двуокись азота, участвующая в разрушении озонового слоя. Одновременно предусматривается запуск серии озонозондов — приборов, измеряющих содержание озона на разных высотах в Антарктиде и на среднеширотных станциях Южного полушария. Профили изменения содержания озона с высотой, полученные в районе 45° ю. ш., будут затем сравниваться с результатами измерения количества озона с самолетов.

Проблема «озонной дыры» может быть окончательно решена лишь совместными усилиями разных стран, участвующих в изучении природы Антарктики. Советский Союз планирует с этой целью в ближайшие годы расширить объем работ Советской антарктической экспедиции по изучению общего содержания и вертикального распределения озона на станциях Мирный, Новолазаревская и Восток с помощью наземной аппаратуры и озонозондов.

³ Борисенков Е. П. // Метеорол. и гидрология. 1987. № 10. С. 114—119.

² Каримова Г. У., Свешников А. М. // Информ. бюлл. Сов. антарк. экспедиции. 1987. № 110.

МАРАТ

как естествоиспытатель

Г. К. Церава
Бокситогорск



ЖАН ПОЛЬ МАРАТ [24.V 1743—13.VII 1793]. Портрет работы Ж. Боз.

ВЕРОЯТНО ни один из исторических деятелей не вызывал таких диаметрально противоположных и взаимоисключающих суждений — от восторженных до самых нелестных, как вождь Великой французской революции, Друг народа Жан Поль Марат. Вот что писал о нем русский ученый и революционер П. А. Кропоткин: «В Марате французский народ терял своего самого преданного друга. Жирондистские историки, ненавидя Марата, представляли его как кровожадного помешанного, который сам не знал, чего хотел. <...> Но в сущности он вовсе не был кровожаден. Он только любил народ — он и его героическая подруга Катрин Эварар — гораздо глубже, чем кто-либо из людей, одновременно с ним выдвинутых революцией, и он страдал при виде страданий народа, не ведущих к цели. Этой любви он остался верен до смерти»¹. Схожей характеристикой награждает Марата современный французский исследователь: «...маленький человек, черноволосый с горбатым носом, с ужасным лицом... то был великий, справедливый, короче, милосердный Марат»².

Совершенно другого мнения придерживался авторитетный историк либерального толка Н. И. Кареев: «Жан Поль Марат... был, вне всякого сомнения, человеком ненормальным, психопатом. Нося на себе довольно ясные признаки физического вырождения, он еще до начала революции проявлял и некоторые душевные свойства, характеризующие вообще маниаков: это была сначала мания величия, мало-помалу ослонившаяся бредом преследования и, наконец, дошедшая до мании убийств»³.

Удивительно в судьбе Марата и другое. Уже получивший известность как преуспевающий врач и неординарный естествоиспытатель в ученых кругах

¹ Кропоткин П. А. Великая французская революция 1789—1793. М., 1979. С. 349.

² Грандель Ф. Бомарше. М., 1985. С. 359.

³ Кареев Н. История Западной Европы в Новое время. Т. 3. СПб., 1893. С. 594.

Франции, и не только Франции, он с первых же дней бурных событий 1789 г. целиком окупнулся в политическую жизнь, нарочь при этом забросив свои прежние занятия и увлечения — медицинскую практику и естественные науки.

Деятельность Марата-революционера, длившаяся всего четыре года — он был убит Шарлоттой Корде 13 июля 1793 г. накануне четвертой годовщины взятия Бастилии, — достаточно полно отражена в нашей литературе. Исследования же Марата в области естествознания не изучались у нас ни его биографами, ни историками науки. В их работах встречаются лишь скудные и зачастую невнятные упоминания об этом. Зарубежные авторы исследовали научное творчество Марата более серьезно, хотя их оценки порой противоречивы. Между тем в истории науки XVIII в. труды Марата по физике и химии вполне заслуживают внимания и осмысления, попыткой чего и является эта статья.

Марат родился 24 мая 1743 г. в швейцарском городке Будри, близ Невшателе, в семье рисовальщика (по другим данным, учителя иностранных языков или врача) тоже Жана Поля Марата. В 1754 г. Мараты поселились в Невшателе, где вслед за первенцем появились на свет Давид¹ и Альбертина — любимица старшего брата. Получив домашнее образование и проучившись в местной школе, Марат в 1759 г. отправился во Францию. Три года он служил в Бордо воспитателем детей богатого negociанта. На этой не слишком обременительной работе у него было достаточно времени для чтения книг, приведших его в ряды убежденных последователей французских просветителей

Ж. Ж. Руссо и Ш. Л. Монтескье. С 1762 г. Марат в Париже, где пытается сотрудничать в «Энциклопедии», но Ж. Л. Д'Аламбер отказывает ему. Не добившись во Франции каких-либо успехов, Марат переселяется в Англию — традиционное прибежище для неудовлетворенных жизнью на континенте.

Здесь он прожил 11 лет, а затем, уже в революционное время, еще около года. Он продолжал самостоятельно осваивать философию и естественные науки и избрал своей специальностью медицину. В этом выборе он утвердился окончательно, когда 30 июня 1775 г. Эдинбургский университет, где будущий Друг народа преподавал французский язык, присудил ему диплом почетного доктора медицины, хотя новоиспеченный доктор ни дня не учился ни в одном высшем учебном заведении. А до этого Марат удостоился звания почетного гражданина города Ньюкасла за успешную борьбу с эпидемией в 1770—1773 гг. Все это свидетельствует о том, что Марат был врачом, как говорят, божьей милостью.

В 1769 г. в Лондоне был издан первый научный труд Марата — «Об одной глазной болезни». Посвящен он описанию и лечению катаракты. В 1772 г. здесь же появилась его брошюра «Опыт о человеческой душе», на основе которой год спустя в свет вышло двухтомное сочинение «О человеке, или Принципы и законы влияния души на тело и тела на душу». В 1775 г. этот труд в переводе на французский язык был издан в Амстердаме. Книга получила определенный резонанс, хотя славы автору не принесла. Она послужила поводом русскому посланнику в Лондоне А. С. Мусину-Пушкину пригласить Марата в Россию.

Пытаясь постичь природу души через изучение анатомии, Марат создал умозрительную, не подкрепленную опытными данными теорию, согласно которой в человеческом организме присутствуют два начала, или субстанции души и тела, связанные между собой нервами, — каналами для протекания невидимого флюида.

Марату вся картина представлялась ясной и простой. Однако в контексте развития естествознания в XVIII в. и успехов материалистического миропонимания, взлелеянного главным образом французскими просветителями, физиологические представления Марата казались устаревшими и вызвали нападки со стороны властителей дум эпохи, в том числе парижских академиков, хотя эти критики ничего лучшего не могли предложить взамен. Становление физиологии как подлинной науки началось лишь в начале XIX в.

В конце 1776 г. Марат вернулся в Париж, где ему удалось получить весьма выгодную и привилегированную должность лейб-медика брата Людовика XVI, графа Д'Артуа, впоследствии короля Карла X. Марат жил в аристократическом Сен-Жерменском предместье, носил шпату и выходил из дому в сопровождении слуги. На первых порах его тщеславие было удовлетворено, тем более что пациенты наперебой расхваливали новоявленного врача. Популярность Марата особенно возросла после того, как он избавил от пневмонии влиятельную маркизу де Лобелин при помощи изобретенного им лекарства, содержащего фосфат кальция. Похоже, что Марат впервые ввел в фармацевтику это химическое соединение, о чем появилась заметка в «Газете здоровья» («Gazette de Santé», 1778, № 1).

Несмотря на служебные обязанности, отнимавшие много времени, Марат не упускал возможности заниматься научными изысканиями. В своем доме на улице Бургонь он устроил лабораторию, где власть экспериментировал в области физики и химии. Он стал не только преуспевающим врачом, но и ученым-медиком, а также одним из приверженцев электротерапии — первого камня в фундаменте зарождающейся во второй половине XVIII в. научной дисциплины — электрофизиологии.

Возникновение электролечения датируется 1744 г. и является заслугой питомца университета в Галле Х. Г. Кратценштейна (1723—1795), будущего члена Петербургской Ака-

¹ В 1784 г. в возрасте 28 лет Д. Марат перебрался в Россию, где первое время был воспитателем в частных домах, а с 1811 г. преподавал французскую словесность в Царскосельском лицее, являлся одним из учителей А. С. Пушкина. В России он жил под именем Давида Ивановича Будри, чтобы скрыть родство со своим знаменитым братом.

демии наук и профессора экспериментальной физики Колонгагенского университета. Суть новшества заключалась в воздействии заряда от «электрической машины трения» на пациента, страдающего суставными или паралитическими недугами. С усовершенствованием техники электролечение довольно быстро распространилось по странам Европы. Многие даже считали его панацеей от всех болезней.

С середины XVIII в. электротерапия находила все большее число приверженцев во Франции, первым из которых был врач из Монпелье П. Соваж. В 70-х годах этой проблемой стали заниматься научные общества. В 1776 г. Лионская академия присудила премию некоему Тури за сочинение «О влиянии электричества на человеческое тело», которое в следующем году было напечатано в «Журнале физики» (*Journal de physique*), а в 1779 г. — физику П. Бертолону, приспавшему все природные явления электрической силе, за его работу «О влиянии атмосферного электричества на больных». Она вызвала обоснованную критику со стороны Марата. В 80-х годах в Париже была открыта «электроролечная больница», возглавлял которую поднаторевший на демонстрации эффективных электрических опытов, скорее фокусник, чем врач, Н. Ф. Ледрю.

К этому времени совместными усилиями ученых ряда стран в повседневную практику вошли три основных вида электропроцедур. Первый из них, предложенный еще Кратценштейном, заключался в искровом воздействии на пациента. Дисковая электростатическая машина в сочетании с лейденской банкой позволила применять шоковый, или ударный, метод. Наконец, третий способ, не совсем справедливо названный «франклинизацией», состоял в том, что больной помещался в «электрическую ванну», т. е. электрическое поле высокой напряженности.

В своей врачебной практике Марат часто обращался к электротерапии, при этом вел систематические записи, сопоставлял различные приемы электропроцедур, разрабатывал их

дозировку с учетом заболевания. Не ограничиваясь клиническими наблюдениями, он для обоснования своих выводов производил опыты над животными. Это позволило Марату во всеоружии откликнуться на конкурсную задачу, объявленную в 1783 г. Руанской королевской академией наук, словесности и искусств: «До какой степени и при каких условиях можно при лечении болезней полагаться на электричество, как положительное, так и отрицательное?»

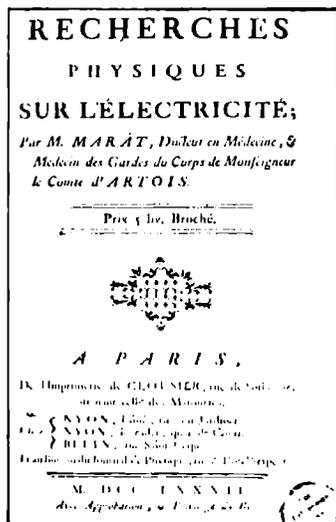
Марат представил в Руанскую академию «Мемуар о лечении электричеством», который

бесполезно и даже опасно⁵. Автор «Мемуара» пришел к выводу, что при электротерапии наилучший лечебный эффект дает шоковый метод, причем длительность сеанса не должна превышать 20 минут при 4—5 сеансах в день. Далее он уточнял, что лечить электричеством можно лишь незлокачественные опухоли, судороги, односторонние парезы, кожную сыпь.

В ходе электрофизиологических исследований Марат, вероятно, впервые пытался определить электропроводность продуктов выделения и различных компонентов человеческого организма. Он утверждал, что наивысшей «способностью распространять электрический флюид» обладает моча, затем желчь, кровь (артериальная лучше, чем венозная), лимфа, заполняющая полости суставов синовиальная жидкость, а из твердых тканей — кости. Меньшая проводимость у мускулов, сухожилий и хрящей. В том же «Мемуаре» Марат недвусмысленно выступил против выдвинутой австрийским медиком Ф. А. Месмером теории «животного магнетизма», лженаучность которой распознали далеко не все ученые того времени.

Труд Марата получил огласку, и не только во Франции. В 1785 г. «Журнал медицины» (*Journal de Médecine*) писал: «Этот важный предмет может разрабатываться с успехом лишь уменным человеком, который сочетает в себе знание физики с таковым в физиологии. Несведущий в той или другой науке двигался бы ощупью, и от его усилий можно было бы ожидать только смутных, неопределенных и ошибочных представлений. Однако обе эти науки одинаково близки г. Марату, который, как известно, уже проявил себя как в одной, так и в другой»⁶.

Марат действительно «уже проявил себя» в обеих науках. Имеется в виду прежде всего изданная в 1779 г. его брошюра «Открытие об огне, электричестве и свете...» и вышедший в следующем году объемистый труд «Физические



Титульный лист сочинения Марата «Физические исследования по электричеству». 1782 г.

6 августа 1783 г. был премирован и затем издан в Париже⁷. В своей рецензии руанские ученые, воздав должное автору за компетентность изложения и новизну подхода к решению задачи, подчеркивали, что он «весьма точно указал болезни, на лечение которых электричеством можно надеяться, и те, для которых привлечение электричества

⁵ Marat. Mémoire sur l'électricité médicale, couronné le 6 août 1783 par l'Académie Royale des sciences, belles-lettres et arts de Rouen. P., 1784.

⁶ Cabanés A. Marat inconnu. P., 1891.

⁷ Ibid. P. 93.

исследования огня⁸. Эти работы явились для Марата как бы пропуском в мир большой науки и обозначили его первые контакты с прославленной Парижской академией наук, что, впрочем, доставляло потом лишь огорчения начинающему естествоиспытателю. Отзыв на «Открытие» дали назначенные Академией комиссары (эксперты). Они в целом одобрили сочинение Марата, отметили новизну и остроумие 120 описанных автором опытов, многие из которых выполнены «при помощи средства, открывающего обширное поле для новых исследований в физике — солнечного микроскопа». Это средство не было новинкой в рассматриваемую эпоху, разве что позже, чем в других странах, появилось в лабораториях французских ученых. Изобретенный в начале 60-х годов XVIII в. немецким физиком И. Н. Люберкюном и усовершенствованный в последующем, солнечный проекционный микроскоп был известен Марату еще в Англии.

Рассуждения и умозаключения Марата вписывались в господствующую в натурфилософии конца XVIII в. концепцию о наличии в природе гипотетических материй, или флюидов, ответственных за электрические, химические, магнитные и тепловые явления. Для естествоиспытателей и философов века Просвещения эти флюиды, будь то теплород либо флогистон, играли примерно такую же роль, как четыре фундаментальных взаимодействия для физиков конца XX в. Но в рассматриваемые годы учение о флюидах все очевиднее приходило в противоречие с быстро расширяющимися эмпирическими данными, и поэтому ученым приходилось придумывать какие-то компромиссные теории, пока не пришло время полностью отказаться от этих субстанций.

Компромиссом была и теория Марата о тепловых яв-

лениях. Он утверждал, что огонь является «элементарной материей», которая потенциально находится в каждом теле как бы в запасе до тех пор, пока вследствие движения этой материи, подчиняющегося закону всемирного тяготения, теплота не проявит себя. А охлаждение есть не что иное, как «уменьшение движения огненной материи», поскольку только ее движение, а не присутствие в теле, вызывает тепло, пламя. Если же холодное тело приложить к горячему, то из последнего будет отниматься тепло и передаваться холодному то тех пор, пока оно не приобретет «одинакового градуса теплоты». (Возможно, Марат не читал классических работ русского физика Г. В. Рихмана, опубликованных еще в 50-х годах, где были заложены основы учения о теплообмене.) Далее он констатировал, что сам флюид прозрачен и проникаем, но наделен тяжестью, поэтому раскаленные металлы тягуют в весе при охлаждении. Флюид расширяет тела, из-за чего уменьшается их удельный вес.

Согласно Марату, в солнечных лучах не содержится «огненной материи или другой эманации»; нагревают же они тела тем, что приводят в движение содержащийся в телах огненный флюид. Эта точка зрения получила одобрение ряда видных ученых. Основоположник кристаллографии Ж. Б. Ромэ-Делиль — исследователь с широкими научными интересами — в своих трудах ссылался на теорию теплоты Марата, особенно подчеркивая значимость того предположения, что солнечные лучи не являются носителями огненного флюида. Между тем швейцарский натуралист Ж. Сенебье в письме от 31 июля 1781 г. сообщает Ромэ-Делилю, что не уверен в корректности опытов Марата и что необходимо тщательно их продублировать. Однако другой швейцарец, физик Ж. Л. Лесаж, ограничился лишь критикой мелких несоответствий в утверждениях французского коллеги.

Таким образом, мы видим, что Марат в своих теплофизических представлениях сочетал кинетическую теорию с

идеей теплорода, сдобренной указаниями на некий весомый флюид, названный впоследствии кислородом. Небезынтересно, что Вольтер, в 30—40-х годах серьезно занимавшийся физическими опытами, высказал мысль, что увеличение массы металлов при прокаливании объясняется, возможно, присоединением к ним не теплорода, а какой-то «материи, распространенной в атмосфере». Потребовался гений А. Лавуазье, чтобы окончательно разделаться с флогистоном.

Следует отметить, что классический «Мемуар о теплоте» А. Лавуазье и П. Лапласа был представлен в Парижскую академию наук в июне 1783 г., т. е. всего на четыре года позже, чем работа Марата. Характерно, что эти авторы «не решались сделать выбор между кинетической теорией и теорией теплорода». Они, в частности, отмечали: «Физики расходятся во взглядах на природу теплоты. (...) Многие придерживаются теории теплового флюида. (...) Другие... полагают, что теплота есть не что иное, как результат незаметных движений материи⁹. Лавуазье и Лаплас не называют их имена, однако можно предполагать, что авторы «Мемуара о теплоте» среди зачинателей молекулярно-кинетической теории имели в виду и Марата. Добавим для полноты картины, что «Парижский журнал» («Journal de Paris») за 9 июня 1780 г. поместил заметку о «Физических исследованиях огня», в которой говорится: «Весьма достоверно показаны все свойства огненного флюида; и этот труд должно рассматривать как наиболее полный и превосходно написанный об этом предмете¹⁰».

Начаты Маратом в конце 70-х годов работы по оптике получили завершение в капитальном труде, напечатанном в 1780 г., «Открытие о свете...»¹¹. В обращении «К читателям» Ма-

⁸ Marat. Découvertes sur le feu, l'électricité et la lumière, constatées par une suite d'expériences nouvelles qui viennent d'être vérifiées par M. M. les commissaires de l'Académie des sciences. P., 1779; l'ém. Recherches physiques sur le feu. P., 1780.

⁹ Lavoisier A. L. Oeuvres. T. 2. P., 1866. P. 285.

¹⁰ Cabanès A. Op. cit. P. 295.

¹¹ Marat. Découvertes sur la lumière, constatées par une suite d'expériences nouvelles qui ont été faites un très grand nombre de fois sous les yeux de M. M. les commissaires de l'Académie des sciences. L., 1780.

рат приводит «Извлечение» из протоколов Парижской академии наук, в котором изложено суждение академических экспертов об оптических экспериментах Марата: «Эти весьма многочисленные опыты над различными световыми явлениями касаются, в частности, дифракции света... равно как и тех явлений, которые, согласно Автору, подтверждают, что разложение на цвета, наблюдаемое при этой дифракции, является причиной разложения, имеющего место в призме, или, что они появляются не вследствие преломления, а единственно лишь из-за дифракции перед вхождением в нее. Таким образом, по Марату разложение света при его дифракции и то, что наблюдают при его прохождении через различные среды, являются следствием одной и той же причины»¹². Далее в заключении эксперты отмечают, что из-за обилия опытов «не удалось все эти эксперименты проверить с надлежащей тщательностью, и, кроме того, они не показались нам доказательством утверждений Автора, которые вообще противоречат хорошо известным понятиям Оптики, и поэтому мы сочли, что будет бесполезно входить в подробности для распознавания сути этих опытов».

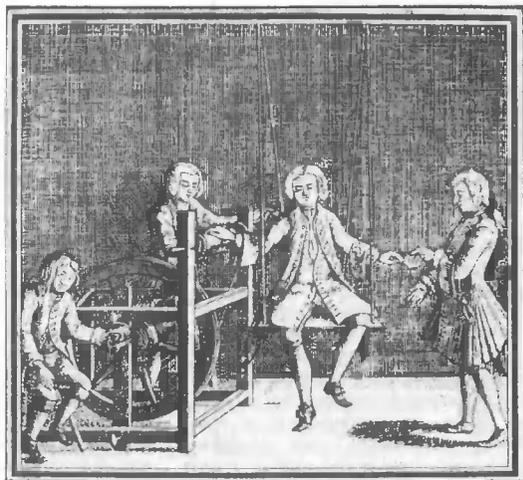
Самолюбивого и вспыльчивого Марата этот вердикт возмутил до глубины души. Сдерживая гнев и не выходя (пока) за рамки респектабельности, Марат писал в том же обращении: «Никогда не обольщаясь тем, что Академия одобрит выводы, к которым я пришел после длительного ряда поразительных и новых опытов, я просил Г. Г. комиссаров ограничиться только проверкой фактов, и я был вправе ожидать, что ученое Общество отзовется положительно о точности и новизне моих опытов». Парируя замечание комиссаров, что его эксперименты противоречат хорошо известным положениям оптики, он резонно спрашивал, должны ли опыты, «предназначенные обосновывать новую доктрину, опираться на устаревшие воззрения... Конечно, — продолжал Марат, — я всегда буду гордиться похвалой выдаю-

щихся ученых; но поскольку в мире нет ни одного научного общества, суждения которого могут превратить в истинное то, что ложно, и в ложное то, что истинно, я полагаю, что отказывая мне в одобрении, Академия наук не сможет изменить природу вещей»¹³. Это был незавуалированный вызов ученой элите Франции, и не удивительно, что книга Марата была издана в Лондоне, а не в Париже.

Если не считать некоторых явно неверных представлений Марата, например, что белый цвет состоит из синего и

венные изыскания «в области хроматики», восхищался тем, что Марат «осмелился выступить против привитой со школьной скамьи веры в Ньютона». Отметим предвзятое отношение парижских академиков к работам Марата, он продолжал: «Что до нас, мы полагаем, что Марат с большой принципиальностью и точностью рассматривал деликатный вопрос о цветах, относящийся к преломлению и дифракции. Этот предмет достоин дальнейших исследований, и мы надеемся, что они внесут подлинный прогресс в теорию»¹⁵. Как известно, строгая

Сеанс электролечения в середине XVIII в. Гравюра на меди неизвестного художника.



желтого цветов, то его рассуждения о дифракции, преломлении и других явлениях геометрической оптики так или иначе находились в русле имевшего солидный стаж критического отношения к оптике Ньютона. Ведь Ньютон и его учение подвергались «столь многочисленным нападкам и встретили такое множество противников, как редкий из людей и редкая из теорий»¹⁴.

Вне академических кругов сочинение Марата по оптике было встречено сочувственно, особенно за границей. И. В. Гете, который в конце XVIII — начале XIX вв. проводил собст-

венная теория дифракции, основанная на волновой концепции света, была создана О. Ж. Фрэнелем в 1818 г.

Свои работы по оптике Марат не прекращал почти до самой революции. В 1787 г. вышел в свет анонимно его перевод «Оптики» Ньютона — второй перевод этой книги на французский язык (первый вышел в 1720 г.). Ньютоноведы полагают, что он не адекватен оригиналу. Через год Марат выпустил в новой редакции «Открытия о свете», которые, впрочем, не получили отклика.

В начале 1782 г. Марат опубликовал «Физические исследования по электриче-

¹³ Ibid. P. 5—6.

¹⁴ Розенбергер Ф. История физики. Ч. 2. М.; Л., 1933. С. 192.

¹⁵ Cabanés A. Op. cit. P. 169.

¹² Ibid. P. 3.

ству»¹⁶ — книгу, в которой изложены все его исследования в этой области, описаны 213 опытов и сделаны некоторые обобщения. Она вышла в свет в тот период, когда из двух равноценных теорий электричества — дуалистической (допускавшей две разные субстанции — положительную и отрицательную) и унитарной (рассматривавшей единую электрическую субстанцию, недостаток или избыток которой определяет знак заряда тела) — большинство ученых отдавало предпочтение последней, когда каноническими стали труды Б. Франклина, Г. В. Рихмана, Ф. У. Т. Эпинуса (Кулон сформулирует свой закон лишь в 1785—1789 гг.). Сочинение Марата, направленное против унитарной теории, естественно, не могло отличаться особой оригинальностью, однако отвечало требованиям, предъявляемым к монографиям. Автор выступал против догадок о единой сущности флюидов огня, света и электричества (до создания электромагнитной теории света оставалось 80 с лишним лет). Он полагал, что электрический флюид отличается от других субстанций прежде своей способностью притягивать и отталкивать заряженные тела. Им была также высказана мысль, что электрический флюид — сам по себе не светящийся, а становится таковым при колебаниях, что уже было новым словом. Вместе с тем автор не рекомендовал устанавливать молниеотводы. В книге описаны приборы, усовершенствованные Маратом, как, например, электрометр Хенли (прототипом которого был указатель Рихмана), лейденская банка в форме колбы с удлиненным горлышком.

«Физические исследования по электричеству» были отмечены положительными рецензиями во французских и зарубежных научных журналах. Профессора из Стокгольма и Лейпцига, в основном противники унитарной теории, специально приезжали в Париж для ознакомления с экспериментами Марата.

Франклин, живший с 1776 по 1785 гг. в пригороде фран-

цузской столицы Пасси в качестве посланника только что возникшей заокеанской республики, не мог не заинтересоваться исследованиями Марата, о чем свидетельствуют его письма к французскому коллеге, в частности письмо от 25 февраля 1782 г., в котором американский ученый выразил желание посетить домашнюю лабораторию Марата. Франклин, несмотря на занятость, побывал в доме на улице Бургонь. Какое впечатление произвели на него опыты Марата, мы не знаем. А. Вольта, весной 1782 г. находившийся на стажировке в Парижской академии наук, также посетил лабораторию на улице Бургонь, чтобы ознакомиться с опытами, опровергающими унитарную теорию электричества. Встреча обоих ученых закончилась взаимным непониманием и даже оскорблениями, нанесенными итальянцу¹⁷. Среди критиков электрических исследований Марата были и просто недоброжелатели. Так, сын упомянутого выше Ледрю громко обвинял его в плагиате, в том, что Марат скопировал опыты и аппаратуру Ледрю-отца. Однако такие нападки не имели отношения к науке.

Несомненно, снобистское отношение представителей академической науки к трудам, как они считали, выскочки Марата сыграло роль детонатора для взрыва исподволь в нем назревавшей фанатичной ненависти к ним. Масла в огонь подлила публичная лекция Шарля¹⁸, состоявшаяся в Лувре 15 марта 1782 г. Он обрушился с резкой критикой на все научное творчество лейб-медика графа Д'Артуа. Посчитав аргументы Шарля смехотворными и оскорбительными для своего достоинства, присутствовавший на лекции Марат потребовал объяснений; неудовлетворен-

ный ответами профессора, он обнажил шпагу и бросился на него. Шарль был не из пугливых. Он мигом обезоружил разъяренного коллегу и вытолкнул из помещения. Марат потребовал сатисфакции, но так как не горел желанием драться на дуэли, то счел за благо обратиться и в полицию с жалобой на обидчика. Шарль письменно разъяснил, что он критиковал научные взгляды Марата, а отнюдь не его лично, и что драться ему пришлось бы со всей Европой, что, конечно, было преувеличением. Академики яростно преследовали опыты Марата о свете, об огне, электричестве, и ни один из них не хотел признать, что в этих опытах содержалось нового.

Честолюбивому Марату все труднее становилось жить и заниматься любимой работой в Париже. Неожиданно, по инициативе проживавшего в Мадриде его друга Сен-Лорена, возникшая заманчивая перспектива быть назначенным на вакантную должность президента основанной в 1774 г. Мадридской академии наук. Марат не хотел упускать эту возможность. С июля по ноябрь 1783 г. шла переписка по этому вопросу, из которой видно, что испанское правительство в лице министра иностранных дел Флорида-Бланка официально рассматривало кандидатуру Марата. 6 ноября 1783 г. ученый писал Сен-Лорену: «Я буду на вершине блаженства, если смогу посвятить свои способности на благо нации, которую я люблю и уважаю»¹⁹. Однако когда испанский посланник во Франции обратился за советом к парижским академикам, они в самой категорической форме отсоветовали приглашать Марата в Мадрид. На этом дело и закончилось.

В одном из писем к мадридскому другу Марат, не кривя душой, заявлял, что он враг материализма: «Я боролся с основами современной философии; вот где источник непримиримой ненависти ее апостолов ко мне»²⁰ — важное признание, наиболее отчетливо подтверждающее его приверженность к идеализму и неприятие

¹⁷ Fayet J. La Revolution française et la science, P., 1960. P. 35.

¹⁸ Ж. А. Шарль (1746—1823), профессор физики Парижской консерватории искусства и ремесел, с 1803 г. член, с 1816 г. президент Парижской академии наук, изобретатель воздушного шара с водородным наполнением, первый полет которого был осуществлен 27 августа 1782 г.

¹⁹ Fayet J. Op. cit. P. 36.

²⁰ Ibid. P. 37.

¹⁶ Marat. Recherches physiques sur l'électricité. P., 1782.

философии французских материалистов XVIII в. Парадоксальный факт в биографии будущего якобинца и трибуна революции, но это действительно так. Над мировоззрением Марата, противоречащим всему духу века Просвещения, иронизировал еще Вольтер.

Кто же были эти «апостолы»? В нашумевшем сорокстраничном памфлете «Современные шарлатаны, или Письма об академическом шарлатанстве», напечатанном через два года после взятия Бастилии, в сентябре 1791 г., Марат, не стесняясь в выражениях, назвал их поименно. Д'Аламбер (к которому памфлетист питал особую неприязнь из-за того, что тот отверг притязания молодого Марата сотрудничать в «Энциклопедии») «причинил мне боль», — писал он, — от которой мое сердце и сейчас сжимается. В союзе с Вольтером, Дидро, Лагарпом и Мармонтелем этот подлый клеветник лишил меня друга, моего учителя Руссо. (...) Блеск его гения затмил их, и они старались мучить его всю жизнь, уморили его, стремились омрачить его славу после смерти»²¹. А на других страницах памфлета Марат низводит до уровня авторов «научных романов» таких ученых, как Лавуазье, Вольтя и других, менее известных.

Создается впечатление, что приверженность Марата к упрощенному восприятию природных явлений была причиной непонимания им значимости наметившихся в конце XVIII в. революционных сдвигов в естествознании, особенно в химии. В том же памфлете мы читаем: «Мания строить системы равно овладела всеми учеными, но она не одинаково реализуется у химиков и физиков. В то время как последние стремятся свести к одному фактору все феномены

природы, первые умножают число этих факторов до бесконечности; они принимают за простые тела результаты разложения составного, и так как эти результаты различны в зависимости от веществ, которые их дают, они представляют их различными элементами. До какого огромного числа они довели кислоты, и какого огромного числа достигли у них воздухообразные газы!»²²

В том же памфлете Марат довольно критически высказался по адресу ученых, которые, согласно декрету Учредительного собрания от 8 мая 1790 г., приступили к разработке метрической системы мер. Предложение об упорядочении французских мер внес не кто иной, как Ш. М. Талейран, тогда еще рядовой депутат Учредительного собрания. «Продажные перья», — писал Марат, — тотчас же объявили этот способ чудесным открытием наших ученых. Но как вы думаете, откуда происходит этот блестящий метод? От египтян»²³. Речь идет о догадке, которую впервые высказал упоминавшийся выше Ромэ-Делиль, к мнениям которого Марат относился с большим уважением.

Между тем на первых порах Парижская академия наук к революции отнеслась, как к чему-то потустороннему. Заседания шли своим чередом, заведенным порядком. Академики пребывали на своем Парнасе в полном и высокомерном безразличии ко всему, что творилось на улицах и площадях столицы. На следующий день после взятия Бастилии, 15 июля 1789 г. шло обычное академическое собрание, на котором присутствовало 23 человека. Тилле и Бруссоне доложили о «машине для уничтожения вредителей зерна»; некий иностранный ученый предложил способ

консервации питьевой воды на судах; Шарль прочитал свой мемуар о градуировке ареометров. Три дня спустя Лаплас огласил перед коллегами трактат о наклоне эклиптики. В следующем году академики уже не были столь невозмутимы.

В августе 1792 г. декретом Конвента Парижская академия наук, другие французские академии и научные общества были распущены. Такое решение вытекало из логики революционной борьбы против институтов старого режима. Марат был в числе самых ярких ниспровергателей Академии наук как средоточия официальной казенной науки. И он был отнюдь не одинок в своем критическом запале. Противником академий был, например, член Парижской академии писатель С. Р. Шамфор. Но критика Марата отличалась слишком большой дозой личной неприязни, и его обвинения не всегда были справедливы.

Завершая эти далеко не исчерпывающие вопросы заметки о научном творчестве Марата, можно сказать, что его деятельность на поприще экспериментального естествознания была искренней и страстной, побуждала других ученых к трезвой оценке своих достижений. Он, несмотря на неприятие материализма французских просветителей, находился в передовой шеренге видных естествоиспытателей-новаторов конца XVIII в. Его можно сравнить с естествоиспытателем Лаврилем из «Шагреновой кожи» Бальзака, во всем облике которого «чувствовалась беспредельная преданность науке и ее открытиям... который не спал ночей, расширяя круг человеческих познаний, и самими ошибками своими служил Франции»²⁴ и, добавим мы, науке тоже.

²¹ Марат Ж. П. Памфлеты. М., 1934. С. 525.

²² Там же. С. 506.

²³ Там же. С. 531.

²⁴ Бальзак О. Собр. соч. Т. 18. М., 1960. С. 531.

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь — декабрь 1987 г.)

В ноябре — декабре в Советском Союзе было запущено 17 космических аппаратов, в том числе 13 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой. На «Космосе-1897» дополнительно установлена экспериментальная аппаратура для ретрансляции телеграфно-телефонной информации в сантиметровом диапазоне волн.

С помощью научной аппаратуры «Космоса-1906» продолжают исследования природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества.

Транспортный космический корабль «Союз ТМ-4» доставил на орбитальный комплекс «Мир» экипаж в составе: В. Г. Титов (командир экипажа), М. Х. Манаров (бортинженер) и А. С. Левченко (космонавт-исследователь), а автоматический грузовой корабль «Прогресс-33» — различное оборудование и аппаратуру.

Очередной спутник связи «Радуга» выведен на близкую к стационарной круговую орбиту; на нем установлена ретрансляционная аппаратура для круглосуточной телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи цветных и черно-белых программ Центрального телевидения в сантиметровом диапазоне. Очередной спутник телевизионного вещания «Экран» оборудован ретрансляционной аппаратурой для передачи в дециметровом диапазоне программ Центрального телевидения на сеть приемных устройств коллективного пользования. «Радуга», «Экран» и «Космос-1897» выведены на орбиту ракетами-носителями «Протон».

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1895»	11.XI	217	402	70,4	90,4
«Космос-1896»	14.XI	203	319	64,8	89,4
«Прогресс-33»	21.XI	193	268	51,6	88,8
«Космос-1897»	26.XI	35 770	35 770	1,4	1435
«Космос-1898»	1.XII	781	820	74	100,8
«Космос-1899»	7.XII	216	297	70,4	89,3
«Радуга»	10.XII	35 000	35 000	1,3	1396
«Космос-1900»	12.XII	263	287	65	89,8
«Космос-1901»	14.XII	181	376	65	89,8
«Космос-1902»	15.XII	373	417	66	92,4
«Союз ТМ-4»*	21.XII	260	298	51,6	89,9
«Космос-1903»	22.XII	614	39 342	62,8	709
«Космос-1904»	23.XII	989	1 021	83	104,9
«Космос-1905»	25.XII	216	298	70,4	89,3
«Космос-1906»	26.XII	190	274	82,6	88,8
«Экран»	27.XII	35 628	35 628	1,5	1428
«Космос-1907»	29.XII	208	398	72,9	90,2

*Параметры орбиты после коррекции.

1 декабря министр иностранных дел СССР Э. А. Шеварднадзе и министр иностранных дел и внешней торговли Австралии У. Хэйден подписали в Москве Соглашение между правительствами СССР и Австралии о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях (в области солнечно-земной физики, космической астрономии, астрофизики высоких энергий, космического материаловедения, космической биологии и медицины).

В декабре Лицензинторг по поручению Главкосмоса СССР подписал соглашение с фирмой «Кайзер-треде» (ФРГ) о проведении в 1989—1992 гг. трех исследовательских экспериментов на советских космических аппаратах «Фотон». Это — первое коммерческое соглашение, заключенное советскими организациями с иностранными партнерами в области космической технологии. Результаты планируемых исследований полупроводниковых материалов, сплавов и белковых структур могут иметь огромную ценность

для развития технологий будущего, в частности биотехнологии и генной инженерии.

Всего в 1987 г. в Советском Союзе было запущено 116 космических аппаратов, в том числе пилотируемые космические корабли «Союз ТМ-2, -3, -4», семь автоматических грузовых кораблей «Прогресс», астрофизический модуль «Квант», 97 спутников серии «Космос», шесть спутников связи «Молния», «Экран», «Радуга», «Горизонт», два метеорологических спутника «Метеор-2».

Космические исследования

Самая длительная экспедиция на станции «Мир»

29 декабря 1987 г. в 12 ч 16 мин московского времени после успешного выполнения программы научно-технических исследований и экспериментов на борту орбитальной

ного комплекса «Мир» спускаемый аппарат корабля «Союз ТМ-3» с космонавтами Ю. В. Романенко, А. П. Александровым и А. С. Левченко совершил посадку в 80 км от г. Аркалыка. Продолжительность полета Ю. В. Романенко составила 326 сут 11 ч 38 мин, А. П. Александрова — 160 сут 7 ч 17 мин, А. С. Левченко — 7 сут 21 ч 58 мин.

В декабре 1987 г. Ю. В. Романенко и А. П. Александров продолжили исследовательские работы. Велись наблюдения с помощью аппаратуры модуля «Квант», в частности 2 и 3 декабря измерялось рентгеновское излучение квазара, находящегося на расстоянии 1,5 млрд световых лет от Земли. С помощью ультрафиолетового телескопа «Глазар» проводились съемки отдельных участков небесной сферы — вблизи «Голубя» и в районе созвездия Заяц. В общей сложности рентгеновскими телескопами модуля «Квант» проведено свыше 500 сеансов исследований различных астрофизических объектов, а с помощью УФ-телескопа «Глазар» получено 270 снимков различных участков звездного неба.

Выполнены очередные серии измерений потоков электронов и позитронов высоких энергий с помощью установки «Мария». Их цель — изучение механизмов генерации этих частиц в околоземном космическом пространстве.

По широкой программе продолжались исследования в области космического материаловедения. На установке «Бирюза» и в зеркально-лучевой печи исследовались динамика физико-химических процессов в невестомости, а также особенности плавления и кристаллизации различных материалов.

12 декабря с помощью усовершенствованной аппаратуры «Электротопограф» космонавты начали серию экспериментов по определению непосредственно на борту станции состояния различных материалов, подвергшихся воздействию открытого космоса.

Были начаты эксперименты по дальнейшей обработке методов культивирования высших растений в условиях косми-

ческого полета. На установках «Фитон» и «Биотерм» изучались рост и развитие арабидопсиса и культуры ткани этого растения. Продолжались также наблюдения и съемки земной поверхности в целях изучения природных ресурсов Земли и контроля загрязненности окружающей среды. В техническом эксперименте «Резонанс» определялись динамические характеристики орбитального комплекса и оценивалась величина нагрузок, действующих на его конструкцию.

Учитывая предстоящее возвращение на Землю, экипаж уделит много времени физическим упражнениям и медицинским обследованиям.

Последнюю неделю на орбите Ю. В. Романенко и А. П. Александров работали вместе с экипажем космического корабля «Союз ТМ-4». После возвращения Ю. В. Романенко, А. П. Александрова и А. С. Левченко на Землю работу на орбитальном научно-исследовательском комплексе «Мир» продолжили В. Г. Титов и М. Х. Манаров.

С. А. НИКИТИН
Москва

Космические исследования

Снова о десятой планете

В пользу существования десятой планеты говорят результаты анализа движения автоматических межпланетных станций «Пионер-10 и -11», выполненного Дж. Андерсоном (J. Anderson; Лаборатория реактивного движения НАСА, Пасадена, штат Калифорния, США).

Группа Андерсона регистрирует с борта этих станций радиосигналы, частота которых из-за доплеровского эффекта должна меняться в случае, если на них воздействует притяжение со стороны какого-либо массивного тела. Точность подобных наблюдений настолько высока, что позволяет обнаружить ускорение, составляющее всего 1 мм/с, при общей скорости станции 14 км/с.

«Пионер-10» находится сейчас уже за пределами среднего расстояния Плутона от Солнца. (Но Плутон временно перестал быть «крайней» планетой нашей системы, так как «сплюснутость» его орбиты привела его ближе к светилу, чем Нептун.) «Пионер-11» еще не пересек орбиту Нептуна.

Находясь на 40 % дальше от Солнца, чем любая планета, «Пионер-10» должен быть под большим воздействием Немезиды («компаньонки» Солнца)¹, если она существует. Однако никаких следов подобного влияния не отмечено. Полученные данные позволяют также окончательно исключить наличие во внешней части Солнечной системы какой-либо новой планеты с большой массой, подобной Юпитеру.

Наиболее вероятно существование во внешней области Солнечной системы неизвестной планеты с умеренной массой — до пяти масс Земли. Орбита такой планеты должна быть наклонной относительно орбит всех остальных планет и отличаться крайне большой вытянутостью (большим эксцентриситетом). Сейчас эта планета должна находиться в такой точке орбиты, что не может оказывать своим тяготением заметного воздействия на полет «Пионеров». В прошлом же она проходила вблизи Урана и Нептуна, вызывая нарушения в их движении, которые и наблюдались в XIX и начале XX вв.

Данные «Пионеров» не могут указать точного местонахождения десятой планеты. Однако они подкрепляют сделанные несколько лет назад утверждения Б. Харрингтона (B. Harrington; Морская обсерватория США), согласно которым «нарушения» орбит Урана и Нептуна вызываются планетой, в 3—5 раз массивнее Земли, совершающей один оборот вокруг Солнца примерно за 800 лет. Харрингтон даже предложил дать десятой планете имя Хамфри.

¹ Подробнее о Немезиде см.: Мачроник Л. С., Долгополова Е. И., Усиков Д. А. Облако Оорта // Природа. 1987. № 12. С. 36—45.

Поиски планеты, все еще считающейся гипотетической, ведутся теперь с помощью телескопа в Новой Зеландии, так как, возможно, эту планету можно наблюдать только в небе Южного полушария.

New Scientist. 1987. Vol. 115. № 1569. P. 36 (Великобритания).

Космические исследования

Изучается Плутон

Результаты тщательного анализа данных, собранных международным инфракрасным спутником «IRAS» в 1983 г., когда он прошел вблизи планеты Плутон, опубликованы группой американских астрофизиков, возглавляемой М. Сайксом (M. Sykes; Стьюардская обсерватория при Университете штата Аризона, Таксон) и Л. Лебофски (L. Lebofski; Лаборатория по изучению Луны и планет того же Университета).

Ранее выполненные наблюдения свидетельствовали, что яркость свечения Плутона со временем претерпевает постоянное, но существование изменения. Данные «IRAS» позволили установить причину этого. Как оказалось, на Плутоне существуют яркие полярные шапки, образованные льдом из метана, а в экваториальном районе пролегает темная полоса, почти полностью свободная ото льда. По мере того как Плутон по своей сильно эксцентрической орбите сближается с Солнцем (полный оборот занимает 248 земных лет), по-видимому, происходит значительное таяние полярных шапок, а с ним и снижение общей яркости свечения планеты. Подобному процессу содействует и то, что ось вращения Плутона сильно наклонена и экватор находится в плоскости, составляющей угол примерно 90° с плоскостью орбиты.

Приборы «IRAS» определили плотность атмосферы Плутона: она оказалась весьма малой и не превышала ту, которой обладал бы всего 10-метровый слой земной атмосферы при стандартных температуре и давлении.

Данные измерений впервые позволили построить «изображение» Плутона не в отраженном солнечном излучении, а в собственном инфракрасном свете. Температура на Плутоне не превышает 59 К в его темной центральной области и около 54 К — в пределах полярных шапок. Столь низкие температуры делают Плутон почти невидимым на длинах волн 12 и 25 мкм, но на более длинных волнах (60 и 100 мкм) получены весьма четкие сигналы от этой далекой планеты.

Science. 1987. Vol. 237. P. 1336 (США);

New Scientist. 1987. Vol. 116. № 1580. P. 30 (Великобритания).

Астрофизика

Астрофизическое ограничение на магнитный момент нейтрино

Само название нейтрино говорит о том, что это нейтральная, т. е. электрически не взаимодействующая частица; именно так и описывается нейтрино в стандартной теории электрослабых взаимодействий. Однако, с точки зрения эксперимента, утверждение об отсутствии электромагнитных взаимодействий нейтрино справедливо только с определенной степенью точности. Из опыта сейчас известно, что электрический заряд нейтрино в триллионы раз меньше заряда электрона, а магнитный момент не больше $2 \cdot 10^{-10}$ магнетонов Бора (т. е. если нейтрино — это маленький магнит, то он в 5 млрд раз слабее, чем у электрона).

В 1986 г. М. Б. Волошин, М. И. Высоцкий и Л. Б. Окунь (Институт экспериментальной и теоретической физики) показали, что если бы величина магнитного момента нейтрино была порядка 10^{-10} магнетонов Бора (μ_B), этого было бы достаточно, чтобы объяснить результаты эксперимента Дэвиса по регистрации нейтрино от Солнца; тогда в солнечном магнитном поле часть нейтрино может переох-

дить в «стерильные» состояния, т. е. менять спиральность и, в результате, не регистрироваться земными детекторами¹.

Давно известно, что наличие магнитного момента у нейтрино открывает дополнительные каналы для охлаждения плотной плазмы: нейтринные пары могут возникать в электромагнитных (т. е. порождаться фотонами, вернее, плазмонами), а не только в слабых взаимодействиях. На некоторых стадиях эволюции звезд такое ускоренное охлаждение может стать значительным. Например, у горячих белых карликов даже при нулевом магнитном моменте нейтрино нейтринная светимость может превосходить фотонную, а при моменте $\sim 10^{-10} \mu_B$ она будет в сотни раз выше. Однако уже тот факт, что мы все-таки наблюдаем горячие белые карлики, говорит о том, что они не остаются столь быстро. Следовательно, магнитный момент нейтрино меньше $10^{-10} \mu_B$; таким путем примерно 10 лет назад был получен верхний предел на магнитный момент нейтрино: $(6-8) \cdot 10^{-11} \mu_B$.

В последние годы собран богатый наблюдательный материал по белым карликам, который позволяет более достоверно проверить теорию остывания этих звезд. Различными методами установлено, что распределение белых карликов по массе имеет острый пик при массе около $0,6 M_{\odot}$. Точно такую же массу ядра имеют старые инфракрасные звезды — предшественники белых карликов. Зная массу, можно оценить и плотность, и ход температуры внутри звезды.

В недавно вышедшем наиболее полном Паломарском обзоре Грина содержатся сведения о примерно 400 белых карликах, находящихся в окрестностях Солнца, температура на поверхности которых составляет 12—80 тыс. К (температура в недрах достигает 10^5 К). В эволюции самых горячих из них решающую роль должно играть нейтринное излучение.

¹ Волошин М. Б., Высоцкий М. И., Окунь Л. Б. // ЖЭФ. 1986. Т. 91. С. 754—765.

С. И. Блинников (Институт экспериментальной и теоретической физики) провел детальные расчеты остывания таких белых карликов при различных значениях магнитного момента нейтрино. При нулевом моменте доля самых горячих белых карликов оказалась в хорошем согласии с наблюдениями. Если момент нейтрино равен $2 \cdot 10^{-11} \mu_B$, время охлаждения самых горячих карликов от 80 тыс. до 40 тыс. К сокращается почти в 8 раз, а время охлаждения от 80 до 12 тыс. К — всего на 30 %, так что самых горячих звезд должно быть в 5 раз меньше, чем наблюдается. При магнитном моменте нейтрино $10^{-11} \mu_B$ эта доля примерно в 3 раза меньше наблюдаемой, что тоже выходит за допустимые ошибки наблюдений и теории. Отсюда можно заключить, что магнитный момент нейтрино должен быть ниже $10^{-11} \mu_B$.

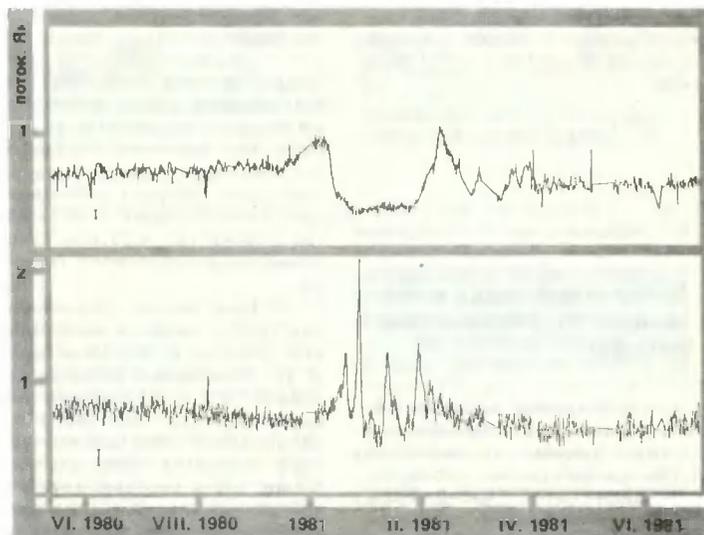
Этот вывод важен не только для объяснения нейтринного потока от Солнца (ведь теперь при расчетах необходимо соответственно увеличить магнитное поле внутри Солнца), но и для планируемых лабораторных измерений магнитного момента нейтрино от ядерных реакторов.

Soviet Sciences Review, E. 1987.
Vol. 6. P. 185.

Астрофизика

Новый класс объектов в гало Галактики?

Переменность излучения любого астрономического источника всегда воспринимается как ценное качество, поставляющее информацию о фундаментальных астрофизических процессах. Центральным при этом остается вопрос: чем обусловлена наблюдаемая переменность — процессами в самом объекте или тем, что происходит с излучением на пути от источника до наблюдателя? Физически значимы оба случая: одни исследователи концентрируют внимание на исходном объекте, другие — на среде,



Регистрируемый поток излучения от источника 0954+658 на частотах 2,7 (вверху) и 8,1 (внизу) ГГц. Отчетливо видна «мерцательная» переменность потока в начале 1981 г.

в которой излучение распространяется. Интересную пищу для размышлений дают наблюдательные данные, опубликованные англо-американской группой радиоастрономов, в которую входит первооткрыватель пульсаров лауреат Нобелевской премии 1974 г. Э. Хьюиш (A. Hewish).

В течение 7 лет эта группа вела наблюдения 36 внегалактических радиоисточников на частотах 2,7 и 8,1 ГГц с помощью четырехэлементного радиоинтерферометра обсерватории Грин Бэнк (США). У одного из источников (его обозначение 0954+658) с декабря 1980 по апрель 1981 г. было зарегистрировано необычное изменение потока излучения на обеих частотах. Проведя тщательный анализ наблюдательного материала, авторы последовательно исключили возможность того, что эта переменность обусловлена процессами в самом источнике, а также различными искажениями, возникающими вблизи него (или на космологических расстояниях, сопоставимых с расстоянием до самого источника). По-видимому, наилучшим образом согласуется с наблюдениями модель мерца-

ний радиоизлучения от источника 0954+658 на неоднородности межзвездной среды размером $\sim 0,5$ а. е. ($7,5 \cdot 10^7$ км), находящейся от нас на расстоянии ~ 1 кпк ($3 \cdot 10^{16}$ км). Заметим, что, по современным оценкам, гало Галактики имеет радиус около 15 кпк.

Была предпринята попытка отождествить гипотетическую неоднородность с каким-либо известным объектом из оптического обзора Паломарской обсерватории, каталога точечных источников инфракрасного спутника «IRAS», а также обзоров высокоскоростных межзвездных облаков. Ни в одном из случаев это не удалось. Впрочем, удивляться неудаче не следует, поскольку угловой размер неоднородности около 10^{-3} угловой секунды и при неэкстремально высокой яркости поток от такого объекта был бы невелик.

По мнению авторов, начата на радиоинтерферометре Грин Бэнк долговременная программа наблюдения мерцаний внегалактических источников с высоким временным разрешением позволяет обнаруживать неоднородности межзвездной среды, подобные описанной. Если их поиск даст положи-

тельный результат, неоднородность в направлении на источник 0954+658 может стать первым новым классом астрономических объектов в гало Галактики.

Nature. 1987. Vol. 326. №6114. P. 675—678 (Великобритания).

Физика

Дискретный заряд в связанных туннельных переходах

Две группы исследователей, работающие в Московском государственном университете и Исследовательской лаборатории Белл (штат Нью-Джерси, США), одновременно сообщили об экспериментальном обнаружении эффектов, связанных с дискретным характером туннелирования электронов через систему из двух туннельных переходов. Устройства, исследованные в этих работах, представляли собой в одном случае — два, в другом — три контакта, напыленных на общий проводник, на котором предварительно создавался слой оксида. Площадь туннельных переходов делалась предельно малой, чтобы уменьшить эффективную емкость получившегося устройства до долей фемтофарады (10^{-15} Ф). Если на обкладки конденсатора такой малой емкости C поместить заряды противоположного знака, по величине равные заряду электрона e , то его энергия $e^2/2C$ будет составлять несколько Кельвинов, т. е. будет сравнима с энергией джоузефсоновского контакта или сверхпроводящей щели. (Такие сверхминиатюрные туннельные переходы в последнее время привлекают большое внимание, поскольку в них проявляются некоторые новые квантовые явления.)

Два туннельных перехода последовательно включались в цепь постоянного тока. При одной из возможных постановок эксперимента к средней точке устройства (общему электроду) прикладывалось электрическое напряжение. Было обнаружено,

что при монотонном изменении этого напряжения вольт-амперная характеристика пары туннельных переходов периодически изменялась. Период зарегистрированных осцилляций соответствовал напряжению e/C , до которого заряжается конденсатор при величине зарядов на его обкладках, равной заряду электрона. Эффект наблюдался при температурах как выше, так и ниже температуры сверхпроводящего фазового перехода.

На возможность наблюдения такого явления было впервые указано Д. В. Авериним и К. К. Лихаревым, которые связывали его с процессом коррелированного квантового туннелирования электронов через пару контактов. Они отмечали также, что в системе двух контактов, по которым протекает ток I , могут возбуждаться колебания с частотой I/e . Одно из ограничений, препятствующих наблюдению такого эффекта, накладывается квантовомеханическим соотношением неопределенностей, согласно которому квантовая неопределенность энергии, связанная с конечным временем пребывания электрона в переходе, должна быть мала в сравнении с электростатической энергией. Для туннельных переходов это означает, что сопротивление должно превышать \hbar/e^2 (~ 4 кОм).

Обнаруженный новый эффект может быть использован в сверхчувствительной субэлектронной спектроскопии, например при изучении тонких эффектов, связанных с перемещением в туннельных барьерах одиночных заряженных примесей.

Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. № 8. С. 389—390; Physical Review Letters. 1987. Vol. 59. № 1. P. 109—112 (США).

Физика

Влияние фазового перехода на термодесорбцию

Сотрудники Физико-химического института им. Л. Я. Карпова исследовали влияние структурного фазового

превращения в монокристаллах кобальта на состояние захвата атомов гелия, внедренных в поверхностный слой при бомбардировке ионами низких энергий.

Известно, что имплантацией ионов удается изменить состав, структуру и свойства поверхностных слоев твердых тел на глубину до десятков нанометров. Задача тем более актуальна для кобальта, являющегося основой многих конструкционных сплавов, в том числе жаропрочных. При $T_c \approx 700$ К в кобальте происходит структурный фазовый переход, влияющий на состояние атомов, захваченных в процессе ионной бомбардировки. Структурное превращение в кобальте остается одним из загадочных явлений, несмотря на большое количество исследований. Оно представляет собой «слабый» фазовый переход I рода. В широкой температурной окрестности точки T_c (50—100К) наблюдается аномальное поведение теплоемкости, диффузионной подвижности атомов и других свойств.

С кристаллографической точки зрения при $T=T_c$ происходит перестройка: гексагональная плотноупакованная решетка, стабильная при $T < T_c$, выше T_c сменяется на гранецентрированную кубическую. Обе решетки построены из параллельных плотноупакованных кристаллических плоскостей, в каждой из которых атомы имеют по шесть ближайших соседей. Две структуры различаются лишь порядком укладки этих плоскостей и могут быть получены одна из другой путем параллельных сдвигов, подобных сдвигам карт в колоде. Считается, что именно таким путем и осуществляется превращение. В отдельных местах смещения плотноупакованных плоскостей достигают такой величины, что могут возникнуть короткоживущие «островки» со структурой, близкой к структуре новой фазы. Поскольку описанный сценарий остается гипотетическим, особую ценность представляют экспериментальные данные, подтверждающие или опровергающие его.

В эксперименте монокристаллы Со облучались ионами He^+ с энергией 200—

300 эВ; затем образцы нагревались и изучались спектры термодесорбции гелия (зависимость выхода гелия из образца от температуры). Как показал анализ спектров, атомы гелия вначале захватываются вакансиями V (пустыми узлами в решетке), образуя комплексы типа HeV , He_2V или He_mV_n , где m и $n > 2$. Структурное превращение приводит к уничтожению части центров захвата. Высвободившиеся атомы He из более глубоких слоев диффундируют к поверхности, частично попадая в уцелевшие центры захвата и заполняя их до насыщения. Эти последние также распадаются, но при более высоких температурах. В целом фазовое превращение ускоряет десорбцию имплантированных атомов He, снижая термическую стабильность модифицированного поверхностного слоя. Отсюда напрашивается практический вывод о целесообразности подавления фазового перехода в Co путем легирования или другими способами.

Поверхность. Физика, химия, механика. 1987. № 8. С. 113—116.

Физика

Новый лазерный двигатель

Работы по созданию устройств, непосредственно преобразующих энергию лазерного луча в механическую, начались сразу же после создания достаточно мощных лазеров. Традиционные схемы основаны на использовании либо реактивной тяги, возникающей при взаимодействии излучения импульсного лазера с поглощающей мишенью в «камере сгорания» двигателя, либо стандартного двухтактного двигателя внутреннего сгорания, в котором горючая смесь заменена поглощающим лазерное излучение газом, нагревающимся лазерным лучом через прозрачное окно «камеры сгорания».

Преимущества лазерных двигателей перед традиционны-

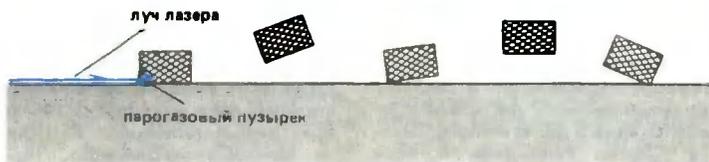


Схема работы лазерного двигателя.

ми очевидны. Они не загрязняют окружающую среду, так как в процессе их работы не образуются токсичные вещества. Отпадает необходимость возить с собой запас топлива, поскольку в лазерных двигателях рабочее тело либо находится в замкнутой системе, либо таким рабочим телом является атмосферный воздух. Наконец, энергию к лазерному двигателю можно подводить с помощью лазерного луча на расстоянии там, где другие способы подвода энергии невозможны.

С. Ф. Растопов и А. Т. Суходольский (Институт общей физики АН СССР) создали лазерный двигатель, в котором транспортировка энергии осуществляется за счет механизмов, аналогичных применяемым в вибротехнике. При испарении поглощающей свет жидкости лучом непрерывного лазера через прозрачную стенку сосуда возникает парогазовый пузырек, который представляет собой источник ударной волны в жидкости и упругих деформаций в опоре и дне сосуда. Такой «нецентральный» удар приводит к одновременному поступательному и вращательному движению сосуда, которое носит скачкообразный характер. Последовательные фазы движения (один цикл) приведены на рисунке. При повторяющихся воздействиях лазерного излучения сосуд движется непрерывно.

В экспериментах использовался непрерывный аргоновый лазер мощностью 2 Вт, излучение которого поглощалось в кювете с раствором органических красителей в этаноле массой 25 г. Концентрация красителей подбиралась так, чтобы обеспечить коэффициент поглощения $20\text{—}500\text{ см}^{-1}$. В экспери-

менте кювета двигалась по горизонтальной опоре со скоростью 1 см/с. Производились также эксперименты по движению кюветы по наклонной плоскости (5 градусов к горизонту).

По мнению авторов, такого рода устройство можно использовать там, где другие способы подвода энергии к двигателю невозможны, например в вакуумных установках.

Журнал теоретической физики. 1987. Т. 57. Вып. 9. С. 1233—1234.

Физика

Плавление двумерного коллоидного кристалла

К. А. Мюррей и Д. Х. Ван Уинкл (С. А. Murrey, D. H. Van Winkle; Исследовательская лаборатория фирмы Белл, штат Нью-Джерси, США) впервые наблюдали двустадийное плавление двумерного коллоидного кристалла, образованного заряженными полистироновыми шариками.

Интерес к физическим явлениям в системах с пониженной пространственной размерностью (например, одно- или двумерных) в последнее время очень велик. Около 10 лет назад Б. Галперин и Д. Нелсон (Гарвардский университет, США) предсказали, что в двумерном случае плавление кристаллов может происходить не скачком, как это обычно бывает в трехмерном мире, а путем двух последовательных плавных фазовых переходов. В первом из них кристаллическое твердое тело теряет свойство трансляционной симметрии (периодическую повторяемость расположения атомов в пространстве),

а во втором — анизотропии (ориентацию кристаллических осей). Оба фазовых перехода происходят в результате спонтанного образования в системе топологических дефектов — дислокаций и дисклинаций¹. После работы Галперина и Нелсона неоднократно предпринимались попытки промоделировать двумерную ситуацию с помощью компьютера. Однако результаты расчетов различных групп оказались противоречивыми.

Мюррей и Ван Уинкл создали «двумерный кристалл», поместив суспензию шариков диаметром около 0,3 мкм в воде между двумя полированными стеклянными пластинами. При увеличении расстояния между пластинами плотность «кристалла» увеличивалась. Расположив пластины под небольшим углом друг к другу, исследователям удалось наблюдать в поле зрения микроскопа три различные фазы: твердую, жидкую и промежуточную — «гексатическую» (названную так по аналогии с жидкими кристаллами). Изображение в микроскопе (в поле попадало порядка тысячи шариков) подвергалось цифровой обработке; в результате были рассчитаны необходимые для сравнения с теорией плотности топологических дефектов, корреляционные функции и т. д. Эксперимент качественно подтвердил основные предсказания теории. Однако, как отмечают авторы, выявленная ими структура топологических дефектов, возникающих при двумерном плавлении, оказалась значительно более сложной, чем предполагалось. Например, отдельные дефекты объединяются в группы, образуя границы зерен; границы, в свою очередь, формируют сеть. Картина имела динамический характер.

В последнее время коллоидные суспензии полистироновых шариков в воде нашли широкое применение для моделирования ряда задач физики твердого тела, одной из кото-

рых и посвящена работа Мюррея и Ван Уинкла. И, как правило, с их помощью удается получить более детальную структуру явлений в сложной системе, чем при других способах моделирования, включая численный эксперимент.

Physical Review Letters. 1987. Vol. 58. №12. P. 1200—1203 (США).

Физико-химическая биология

Белки, узнающие раково-эмбриональный антиген

Сотрудники Тихоокеанского института биоорганической химии Дальневосточного отделения АН СССР во Владивостоке в результате изучения более 100 видов морских беспозвоночных различных таксонов, выделили вещества, названные онкопреципитинами. Эти вещества специфично реагируют с раково-эмбриональным антигеном (РЭА) человека.

Наиболее характерны онкопреципитины: крастацин (рака отшельника, *Pagurus prideauxii*) и ципреин (брюхоногого моллюска-каури, *Surgrea caputserpentis*). Оба вещества относятся к гликопротеинам — сложным белкам, содержащим углеводные компоненты; крастацин обладает молекулярной массой 36 кД, ципреин — 44 кД. Система тестов на основе этих веществ по сравнению с традиционной имеет более высокую чувствительность при определении содержания РЭА в экстрактах опухолевых и нормальных тканей человека, что может быть в перспективе использовано в онкологической диагностике. Авторы полагают, что некоторые морские беспозвоночные могут синтезировать и другие вещества, специфичные к РЭА, которые уже начинают изучаться. Можно предположить, что исследования в этой области будут способствовать успехам в онкологии.

Доклады АН СССР. 1987. Т. 293. № 4. С. 1009—1010.

Физико-химическая биология

Структура цитоплазмы

Изучение структуры цитоплазмы методами электронной микроскопии, измерение ее вязкости и упругости свидетельствуют о наличии в ней определенной структуры, однако экспериментальных данных о формах структурной организации почти нет из-за отсутствия методов исследования клетки без ее предварительного фиксирования или разрушения.

Американские исследователи из Университета Карнеги применили для изучения цитоплазмы живой клетки флуоресцентные методы анализа и измерили подвижность различных пробных частиц (меток) внутри клетки. Флуоресцентные метки готовили из полисахарида Фикола, частицы которого представляют собой твердые шарики, и сортировали их по размерам. Метки заданного размера путем микроинъекции вводили в культивируемые мышинные фибробласты и определяли коэффициент диффузии метки D в цитоплазме методом восстановления флуоресценции после фотообесцвечивания. На определенном месте в цитоплазме посылали лазерный импульс такой интенсивности, что пробные частицы, попавшие под пятно света, переставали светиться. Затем уменьшали интенсивность освещения во много раз и направляли импульс на «выжженное» место, после чего измеряли интенсивность флуоресценции. Сначала флуоресценция почти отсутствовала, так как метки, попавшие под пучок света, обесцвечивались, но постепенно за счет диффузии «выжженное» место начинало заполняться неповрежденными метками из соседних областей цитоплазмы и флуоресценция восстанавливалась. Измеряя кинетику восстановления флуоресценции, можно вычислить коэффициент диффузии светящихся меток.

Этим методом авторы исследовали подвижность меток с радиусами от 30 до 250 Å, но перед проведением измерений убеждались, что введение меток

¹ Этот механизм двумерного плавления был предсказан в 1970 г. В. Л. Березинским (ЖЭТФ. 1970. Т. 59. С. 907—912).

внутри клеток не изменяет морфологию и жизнеспособность последних. Для контроля сравнивали величины D в цитоплазме и той же метки в воде. Оказалось, что даже для самых маленьких частиц вязкость цитоплазмы в 3—4 раза больше вязкости воды, а отношение значений D в цитоплазме и в воде быстро уменьшается с увеличением размера частицы, и частицы радиусом более 160 Å в цитоплазме практически не двигаются. Чтобы выяснить, не является ли уменьшение подвижности крупных меток следствием наличия белков в цитоплазме, авторы измерили значение D в растворах белка овальбумина различной концентрации и убедились, что в отличие от цитоплазмы диффузия меток в концентрированных растворах белков не зависит от их размеров.

Полученные результаты четко указывают на существование межмолекулярных взаимодействий, формирующих некую сетчатую структуру цитоплазмы с максимальным размером ячейки около 330 Å, хотя и не могут свидетельствовать в пользу какой-либо определенной модели организации цитоплазмы.

Proceedings of the National Academy of Science of the USA. 1987. Vol. 84. № 14. P. 4910—4913 (США).

Физико-химическая биология

Молекулярная хирургия: избирательное уничтожение клеток

Экспрессия многих генов эвкарриот контролируется энхансерами — фрагментами ДНК, активирующими транскрипцию окружающих участков ДНК. Многие энхансеры находятся в активном состоянии лишь в определенных клетках организма. В частности, энхансер гена эластазы I (фермента, расщепляющего фибриллярный белок эластин) активен лишь в клетках поджелудочной железы, в результате чего эластаза I синтезируется только в этом органе.

Исследователи из трех американских университетов штатов Вашингтон, Пенсильва-

ния и Колорадо сконструировали бактериальную плазмиду, в которой энхансер гена эластазы I объединен с геном дифтерийного токсина. Такую плазмиду вводили в яйцеклетки мышей, и, когда она встраивалась в геном зародыша, развивались мыши, лишённые поджелудочной железы. Это происходило, вероятно, потому, что в клетках поджелудочной железы действие энхансера гена эластазы I приводило одновременно и к синтезу дифтерийного токсина, убивающего эти клетки. В настоящее время уже известно много тканеспецифичных энхансеров. Описанный «хирургический» метод может найти применение в изучении процессов развития и дифференцировки многих тканей организма.

Cell. 1987. Vol. 50. P. 435—443 (США).

Общая биология

Форма клетки влияет на синтез ферментов

При стимуляции размножения клеток эпителия в них резко усиливаются синтез и секреция протеолитических ферментов. Эти ферменты содержатся во всех организмах и катализируют расщепление пептидных связей в белках. Благодаря их действию происходят разрушение и перестройка компонентов внеклеточного вещества, что делает возможным структурные преобразования пластов эпителиальных клеток. В то же время для размножения клеток такие ферменты не нужны.

Канадские биологи из Университета Британской Колумбии Х. Хонг и Д. Брунетт (H. Hong, D. Brunett) установили, что решающим фактором, регулирующим уровень синтеза и секреции протеолитических ферментов в эпителии, является не стимуляция пролиферации (размножения), а сопутствующее этому процессу изменение формы клеток. Обычно делящиеся клетки округляются и ча-

стично утрачивают контакты с соседними клетками. Авторам удалось, используя инертные подложки для культивирования клеток, обладающие различной адгезионной способностью, добиться аналогичного изменения формы выращиваемых эпителиальных клеток — поджатия, уменьшения степени расплывания — без стимуляции пролиферации. Оказалось, что одного уменьшения степени расплывания (округления формы клеток) достаточно для стимуляции синтеза и секреции протеолитических ферментов. Таким образом, показано, что изменение формы клетки — важный фактор, влияющий на синтез белка.

Journal of Cell Science. 1987. Vol. 87. P. 259—267 (Великобритания).

Общая биология

Кератины и морфогенез

Почти все клетки эвкарриот содержат в цитоплазме три типа белковых фибрилл: микрофиламенты, микротрубочки и промежуточные филаменты. Микрофиламенты обеспечивают подвижность клеток, микротрубочки — внутриклеточный транспорт, промежуточным филаментам отводятся обычно чисто механические функции. Но если микрофиламенты и микротрубочки в разных тканях организма имеют сходный биохимический состав — они построены соответственно из актина и тубулина, то промежуточные филаменты отличаются необычно большим разнообразием (по составу). В разных тканях организма промежуточные филаменты построены из различных белков, например в клетках эпителия — из кератинов, причем в человеческом организме насчитывается 27 различных кератинов, каждый из которых кодируется своим геном.

В чем причина такого разнообразия? Одинаковы ли по набору кератинов различные клетки, составляющие эпителий? Эти вопросы изучены С. М. Трояновским с сотрудниками из Все-

союзного онкологического научного центра АМН СССР с помощью полученных ими специфических моноклональных антител к кератинам, обозначенным номерами 8, 17, 18 и 19. Авторам удалось установить определенные правила распределения кератинов внутри эпителиальных тканей человека. Оказалось, что во всех исследованных железах внешней секреции (молочной, слюнных, потовых железах, печени и т. д.) эпителий, производящий секретлируемые вещества, содержит кератин 8, а эпителий выводящих протоков желез — кератины 8 и 19. Еще интереснее оказалось распределение кератинов 17 и 18: клетки, расположенные вблизи базальной мембраны, которая отделяет эпителий от соединительной ткани, содержат кератин 17, а клетки, участвующие в образовании апикальной поверхности эпителия, обращенной в просвет железы, содержат кератин 18. Сходные результаты были получены при изучении многоядерного эпителия дыхательных путей и переходного эпителия мочевого пузыря — базальные клетки содержали кератин 17, а апикальные — кератин 18. Иными словами, распределение кератинов связано с положением клетки в структуре эпителиального комплекса и не зависит от ее происхождения и типа дифференцировки.

По предположению авторов, именно белковый состав промежуточных филаментов определяет строение и морфогенез эпителиальной ткани. Возможно, что клетки, синтезирующие кератин 18, вытесняются к апикальной поверхности эпителиального пласта, а клетки, синтезирующие кератин 17, остаются в базальном слое эпителия. Причиной этого могут служить, по мнению авторов, различия в механических свойствах промежуточных филаментов, построенных из разных кератинов, и вызванные этим различия в механических свойствах самих клеток — т. е. морфогенез эпителиальных тканей может в конечном счете определяться составом синтезируемых кератинов.

Общая биология

Особенности оптической системы глаза птиц

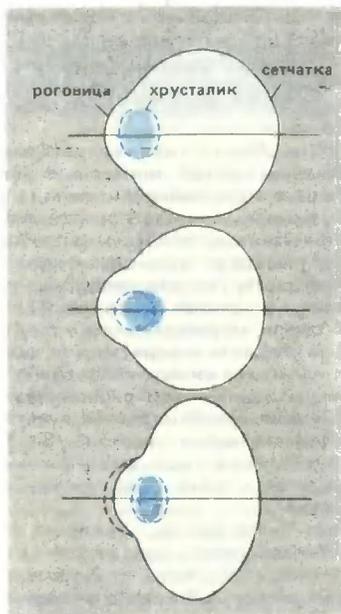
Сравнительное исследование оптической системы глаза некоторых классов позвоночных провел английский зоолог Г. Мартин (G. Martin) из Бирмингемского университета. Хорошо известно основное свойство глаза — изменение фокусного расстояния от хрусталика до сетчатки, называемое аккомодацией. В зрительной системе позвоночных имеется два элемента: хрусталик и роговица. У млекопитающих, в том числе и человека, аккомодация достигается благодаря тому, что хрусталик изменяет свою кривизну. Проще, с эволюционной точки зрения, устроен глаз некоторых рыб и бесхвостых амфибий: хрусталик у них всегда имеет одинаковую сферическую фор-

му, но зато он способен смещаться по направлению к сетчатке (или от нее), подобно тому, как двигается объектив в фотоаппарате или микроскопе.

Оказалось, что аккомодацию у птиц осуществляют оба компонента зрительной системы — хрусталик и роговица. Представители этого класса позвоночных обладают чрезвычайно острым зрением. В зрительном аппарате птиц обнаружена сеть внутриглазных мышц, изменяющих кривизну поверхности роговицы. Они прикрепляются к специальному кольцу, образованному мельчайшими косточками склеры. С помощью меток, прикрепляемых к поверхности роговицы, было показано, что кривизна ее способна изменяться под действием внутриглазных мышц. Хрусталик глаза птиц также изменяет свою кривизну.

Таким образом, оптическая система глаза птиц устроена более сложно, чем у млекопитающих и низших позвоночных. Аккомодацию осуществляют и роговица, и хрусталик. Открытым остается вопрос: как осуществляется контроль за их согласованной деятельностью со стороны мозга?

Nature. 1987. Vol. 328. № 6129. P. 383 (Великобритания).



Устройство оптической системы глаза млекопитающих [вверху]; рыб и бесхвостых амфибий [в середине]; птиц [внизу]. Пунктиром показано изменение положения и кривизны хрусталика и роговицы.

Физиология

Нейролептик нарушает синтез белка

В основе терапевтических эффектов нейролептиков (соединений, снимающих нервное напряжение) лежит их способность блокировать рецепторы, взаимодействующие в центральной нервной системе (ЦНС) с нейромедиатором — дофамином. Несмотря на то что теория блокировки дофаминовых рецепторов вполне адекватно объясняет быстрые эффекты действия нейролептиков, она не в состоянии объяснить успокаивающее действие этих соединений на ЦНС спустя две-три недели после их однократного приема.

Именно этим вопросом занялась группа биохимиков из Института психиатрии в Лондоне, которая решила проверить предполагаемую способность нейролептиков влиять на синтез белка. Для этого методом двумерного электрофореза с высоким разрешением разделяли белки лимфоцитов человека, инкубированные в присутствии аминокислоты метионина с радиоактивной меткой. О характере белкового синтеза судили по содержанию этой аминокислоты в белках, определяя уровень радиоактивности.

При высоких концентрациях нейролептика галоперидола общий синтез белка подавляется. При снижении концентрации нейролептика общий белковый синтез не подавляется, но при этом наблюдается избирательность действия препарата: синтез белков с молекулярными массами 74, 69 и 30 кД усиливается, а с массами — 65 и 23 кД — ослабляется. Авторы считают, что снижение «валового» синтеза белка при высоких дозах препарата обусловлено его неспецифическим действием на общий клеточный метаболизм. Избирательное активирование и подавление синтеза различных белков низкими дозами галоперидола может лежать в основе отдаленных последствий действия этого соединения на клетки мозга.

Biochemical Society Transaction. 1987. Vol. 15. № 4. P. 688—689 (США).

Физиология

Чувствительность нейронов меняется в онтогенезе

Известно, что специфический белок — фактор роста нервов (ФРН), состоящий из 118 аминокислотных остатков, регулирует развитие и активность нейронов организма. В процессе развития чувствительность нейронов к ФРН меняется, что может быть следствием уменьшения числа клеточных рецепторов, опосредующих действие этого фактора.

Группа исследователей медицинского колледжа Корнеллского университета (США) определяла концентрацию мРНК в разных участках периферической и центральной нервной систем (ЦНС). Удалось установить одновременное присутствие мРНК в нервных ганглиях на периферии и в базальной части переднего мозга ЦНС новорожденных крысят. Это свидетельствует о независимом синтезе рецепторов к ФРН на периферии и в центре. В процессе последующего роста животных концентрация мРНК в шейном отделе спинного мозга возрастала в 5—10 раз, что подтверждает важную роль ФРН в периферических нервных ганглиях. В базальной части переднего мозга ЦНС концентрация мРНК увеличилась в 2—4 раза, а на периферии — существенно уменьшалась, что соответствовало известным фактам о снижении чувствительности нейронов этой зоны к действию ФРН.

Таким образом, предположение о регуляции в процессе развития чувствительности нейронов к ФРН путем изменения числа рецепторов к нему получило фактическое подтверждение. Полученные результаты позволяют считать, что система ФРН — рецептор играет важную роль не только в развивающемся, но и в составившемся организме. Так, по мнению авторов, причиной дегенерации ядер базальной части переднего мозга при распространенном психическом заболевании — болезни Альцгеймера¹ может являться уменьшение числа рецепторов к ФРН.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1987. Vol. 84. № 9. P. 3060—3063 (США).

Медицина

СПИД и нравы

Работающий в Республике Конго врач Ф. Нуарло (F. Noir-

lau) обратил внимание на то, что еще в 1973 г. во Франции была опубликована статья японского этнографа А. Касамуры (A. Kashamura), в которой описаны нравы жителей побережья оз. Виктория и других близлежащих озер. Оказывается, у некоторых местных племен существует практика стимулирования половой активности путем введения крови обезьян человеку: кровь самца обезьяны вводится в тело мужчины, а самки — женщины.

Доктор Нуарло подчеркивает, что это наблюдение было сделано задолго до того, как впервые были обнаружены случаи заболевания СПИДом у человека; способность же человекообразных обезьян быть носителями этой болезни недавно подтверждена. Эти факты опровергают существующее мнение об искусственном создании вируса СПИДа.

New Scientist. 1987. Vol. 115. № 1569. P. 67 (Великобритания).

Медицина

«Легендарный» чеснок

Издавна различные народы использовали чеснок как лечебное средство. Большое распространение имела легенда о способности чеснока разжижать кровь и отпугивать вампиров. Американские исследователи М. Джейн (M. Jain; Отдел химии университета Делавэр, Ньюарк) и Р. Апитз-Кастро (R. Aritz-Castro; Центр биохимии и биофизики, Каракас, Венесуэла) выделили из этанольного экстракта измельченного чеснока нелетучую фракцию, способную подавлять агрегацию тромбоцитов, которую назвали аджоен (ajoene от исп. ajo — чеснок). В отличие от чеснока это вещество не обладает запахом.

Аджоен препятствует агрегации тромбоцитов, вызванной такими сильно действующими соединениями, как тромбин и форболовые эфиры. Его действие можно наблюдать в суспензии тромбоцитов, в крови и непосредственно в живом организме. По мнению авторов,

¹ См.: Белок, вызывающий болезнь Альцгеймера // Природа. 1987. № 12. С. 97.

аджоен действует на некоторой стадии, предшествующей необратимой агрегации тромбоцитов, возможно, он препятствует превращению фибриногена в фибрин; действие аджоена зависит от его концентрации. Авторы считают, что аджоен может применяться, когда подавление агрегации тромбоцитов необходимо осуществить быстро и так же быстро затем восстановить их функции. При изучении взаимодействия аджоена с другими препаратами для профилактики тромбозов обнаружено усиление их действия в присутствии аджоена.

Таким образом, биохимические исследования на основе средневековых легенд привели к обнаружению вещества, способного управлять агрегацией тромбоцитов и влиять на свертываемость крови. Об антивампирном действии чеснока пока сказать нечего, так как нет подходящей экспериментальной тест-системы.

Trends in Biochemical Science. 1987. Vol. 12. P. 252—254 (Великобритания).

Медицина

Еще один метод консервирования тромбоцитов

Введение концентратов тромбоцитов (клеток крови, участвующих в свертывании) широко используется в клинической медицине при лейкозах, злокачественных новообразованиях, массивных кровопотерях, сепсисе. Перспективным методом консервирования тромбоцитов и их хранения является криоконсервирование.

Сотрудники Центрального научно-исследовательского института гематологии и переливания крови Минздрава СССР под руководством В. А. Аграненко и Ф. Э. Файнштейн создали раствор «тромбокриодмац», содержащий диметилацетамид в водном растворе глюкозы; его смешивают с концентратом тромбоцитов в равных объемах. «Тромбокриодмац» быстро проникает в клетки и сохраняет тромбоциты от раз-

рушения при замораживании. Метод криоконсервирования тромбоцитов с использованием раствора «тромбокриодмац» позволяет длительно (до трех лет) сохранять около 80 % исходного количества клеток, при этом более половины их сохраняют жизнеспособность и функциональную полноценность. Этот метод дает возможность создать банк замороженных тромбоцитов от доноров любых групп крови и при экстренной необходимости быстро (не позднее чем через час) обеспечить клинику полноценными клетками.

Гематология и трансфузиология. 1987. Т. XXXII. № 5. С. 8—12.

Психология

Память на имена и профессии

Группа английских психологов под руководством К. Макуини (К. McWeeny; Ланкастерский университет) показала, что профессии незнакомых лиц запоминаются гораздо лучше, чем их имена. Исследователи показали испытуемым 16 фотографий, сопровождаемых их стереотипной информацией: «Это — мистер/миссис (фамилия), он/она — (профессия)». Запомнить фамилии оказалось гораздо труднее и, чтобы выучить все 16, потребовалось в три раза больше времени, чем для запоминания профессий всех изображенных лиц. Интересно, что многие фамилии были синонимами профессий: мистер Бейкер (булочник), мистер Смит (кузнец) и т. п. Однако и эти фамилии не составляли исключения, например запомнить, что этот человек — плотник, оказалось гораздо легче, чем то, что другого зовут мистер Карпентер.

Следовательно, связь между лицом и «обозначающим» его словом представляет собой не простую ассоциацию, а смысловое образование. Так, имя рассматривается как абстрактное и сугубо условное «обозначение» человека, тогда как его профессия — гораздо

более существенный и содержательный признак. Запоминаемые связи между лицом и его обозначением опосредуются смысловым содержанием этой связи.

British Journal of Psychology. 1987. Vol. 78. № 2. P. 143—149 (Великобритания).

Биология

Успешное обучение попугая

И. Пепперберг (I. Pepperberg; Северо-Западный университет в Чикаго, США) в течение 10 лет «воспитывает» африканского серого попугая по кличке Алекс. Он уже безошибочно называет по-английски 30 различных предъявляемых ему предметов, определяет 5 геометрических очертаний, 6 цветов и может считать до 6. Алекс способен соединить между собой ярлычки, чтобы «описать» разные объекты, и различает по единственному признаку сходные пары предметов. Он правильно называет вещь, которую хочет получить, и даже просит, чтобы его пощекотали. Слово «серый» он заучил по неоднократно обсуждавшемуся вопросу о том, каков цвет его собственного изображения в зеркале.

И. Пепперберг объясняет свой успех (не уступающий достижениям экспериментаторов, обучавших речи шимпанзе) избранным ею способом тренировки попугая. Обычно орнитологи и специалисты по психологии животных не связывают правильный ответ с наградой: они дают подопытной птице вид лакомства, не относящийся к запоминаемому понятию (это аналогично ситуации, когда на уроке иностранного языка ученик получает шоколадку, правильно назвав карандаш), Алексу же наградой служит сам названный им предмет. Если он несъедобен, попугай начинает любимую игру: разбивает предмет на кусочки мощным клювом.

Исследовательница считает, что ее метод основан на «социальном взаимодействии»

между человеком и животным: человек обучается параллельно с птицей и действует одновременно как союзник и как соперник. Они также могут меняться ролями, задавая вопросы и задачи друг другу.

New Scientist. 1987. Vol. 115. № 1571. P. 28 (Великобритания).

Зоология

Как жабы находят дорогу

Серая жаба (*Bufo bufo*) — одно из обычных земноводных Европы. В течение ряда лет жабы откладывают икру в одних и тех же водоемах. После икрометания они уходят от воды и встречаются в сравнительно сухих местах, нередко на больших расстояниях от водоемов. Как жабы находят свои водоемы?

У. Зинш (U. Sinsch; Институт физиологии поведения им. М. Планка, Зеевизен, ФРГ) показал, что жабы, перенесенные на значительное расстояние от места размножения, ориентируются преимущественно по запаху и магнитным сигналам, а зрение лишь корректирует движение. В экспериментах жабы возвращались к месту размножения примерно с одинаковой точностью из точек, расположенных на расстояниях от 155 до 3000 м и под углами 90—270°. Исходная ориентация жаб, у которых глаза были закрыты темными полосками, не отличалась от ориентации зрячих особей, но пути их возвращения к водоему были менее направленными. Жабы, лишенные обоняния, выбирали направление, по-видимому, случайным образом, но выбранное направление выдерживали четко. Если же их лишали и зрения, и обоняния, они полностью дезориентировались и двигались кругами. Прикрепление к головам жаб намагниченных полосок приводило к тому, что группа исследуемых животных сильно рассеивалась и лишь отдельные особи четко выдерживали нужное направление. Наличие или отсутствие облаков на небе не влияло на

правильность ориентации жаб или на «рассеяние» группы. Однако на успех возвращения влияло направление ветра: при ветре, дующем от водоема, жабы ориентировались лучше. Максимальное расстояние, с которого жабы способны возвращаться, превышает 3 км. Однако время, затрачиваемое на выбор правильного направления, увеличивается с расстоянием.

The Journal of Comparative Physiology. A. 1987. Vol. 161. P. 715—727 [межд. журнал].

Зоология

Защитная окраска ужей

Обыкновенный уж (*Natrix natrix*) — пожалуй, наиболее известная неядовитая змея Старого Света. Ужи, обитающие в Европе, обычно окрашены сверху в черный цвет с желтыми или беловатыми пятнами на шее. Особи с другими вариантами окраски (в том числе совершенно черные) встречаются гораздо реже. Контраст между пятнами на шее и окраской остального тела сильнее у молодых животных. Что дает ужам яркая расцветка?

Т. Мадсен (Th. Madsen; Лундский университет, Швеция) предполагает, что, по крайней мере у молодых особей, такая окраска играет защитную роль. Экспериментально выяснялось влияние различной окраски молодых ужей на их уязвимость со стороны птиц. Из синтетического материала были изготовлены модели, имитирующие нормально окрашенных и совершенно черных молодых ужей (по 75 экземпляров каждого варианта). Модели были разложены группами одинакового состава через каждые 30—50 м на протяжении 3 км — так, чтобы они были хорошо заметны птицам с воздуха. Черные модели чаще подвергались нападениям птиц, чем нормально окрашенные. Судя по следам, оставленным птицами, наиболее часто модели ужей атаковали обыкновенный скворец, черный дрозд и сойка. Это обычные птицы Южной Швеции, причем о последних

двух видах и раньше было известно, что они поедают молодых ужей. Возможно, более редкая встречаемость черных ужей по сравнению с обычными связана с их «выведанием» хищниками. Предполагается, что желтые пятна на черном фоне могут играть роль предупреждающей или разделяющей (т. е. дезориентирующей хищника) окраски. Допускается также возможность мимикрии — подражания ужат по окраске насекомым, обладающим неприятным вкусом (осы, некоторые бабочки и т. д.).

Ослабление с возрастом черного фона и контраста пятен на шее, возможно, связано с тем, что потенциальные враги взрослых ужей — это крупные птицы, которых предупреждающая окраска все равно не удерживает от нападений.

Oikos. Acta oecologica scandinavica. 1987. Vol. 48 № 3. P. 265—267 (Дания).



Экология

Выведение игуан в неволе

Количество обыкновенных зеленых игуан (*Iguana iguana*) — традиционно важного источника питания жителей



Зеленая игуана, выведенная в неволе.

Южной Америки — катастрофически уменьшилось из-за чрезмерной охоты и нарушения среды обитания этих рептилий.

Ученые Смитсоновского института тропических исследований в Панаме разработали надежные методы искусственной инкубации яиц игуан, а также добились высокой степени выживаемости потомства. Из 1200 выведенных в неволе игуан, выпущенных на территории Панамы в 1985 г., примерно одна треть (а может быть, и половина) до сих пор живы и создали новую популяцию.

Успех этой программы позволит обеспечить возможность широкого разведения игуан на фермах, а тем самым — увеличить пищевые ресурсы стран Латинской Америки, не прибегая к уничтожению лесов в целях расширения сельскохозяйственных угодий.

International Wildlife. 1987. March-April. P. 32 (США).



Экология

Трудное лето в Афинах

Лето 1987 г. в Средиземноморье было необычайно жарким. В отдельных местах Пелопоннесского п-ова температура временами поднималась до 50 °С, а на уровне 40° держалась неделями. Особенно тяжелая обстановка складывалась в Афинах, где (считая с ближайшими пригородами) живет около 3 млн человек — примерно треть всего населения Греции. Положение усугублялось чрезвычайно высокой плотностью населения (местами — до 1600 человек на 1 га); незастроенное пространство занимает лишь 3,6% городской территории. При такой скученности особенно ярко выражен известный метеорологам эффект «теплого острова» над городом. Здания и другие сооружения поглощают летом огромное количество тепла и не дают воздуху охлаждаться даже по ночам. Кроме того, плотная застройка не позволяет улицам проветриваться, снижая скорость движения воз-

душных масс. К середине августа число жертв теплового удара достигло 1300 человек, 1200 из них умерли в Афинах.

Еще 10 лет назад Всемирная организация здравоохранения при ООН опубликовала отчет, в котором предупреждала — во избежание трагических последствий — о необходимости наведения порядка в застройке Афин, борьбы с загрязнением воздушной среды, увеличения площади зеленых насаждений. Известно, что всего 1 га посадок лиственных деревьев способен устранять из воздушного пространства около 4 т пылевых частиц в год. Измерения в лондонском Гайд-Парке показали, что 260 га, покрытых растительностью, снижают на 1/4 содержание дыма в городской атмосфере. Особенно эффективны хвойные деревья: разновидности сосны, встречающиеся в Средиземноморье, способны очищать воздух от пыли на 20—50%. По данным советских ученых, даже небольшая парковая зона вокруг завода или фабрики снижает содержание пыли в атмосфере на 40%. Аналогичные выводы сделаны по результатам наблюдений в Чикаго.

Печальный опыт лета 1987 г. заставляет ныне греческие власти всерьез приступить к осуществлению мер, которые будут противостоять возможному повторению подобной трагедии.

New Scientist. 1987. Vol. 115. № 1574. P. 54 (Великобритания).

Геофизика

О форме земного ядра

Известно, что во многих районах крупномасштабные прогибы земной поверхности совпадают с аномалиями гравитационного поля планеты¹. Так, обработка данных, полученных со спутников «GEO3» и «SEASAT», показала, что в Индийском океане, к югу от

Шри-Ланки, вокруг точки с координатами 3° с. ш., 81° в. д., существует район с сильно ослабленным гравитационным полем; здесь же, в зоне поперечником около 2000 км поверхность океана ниже окружающей области на 130 м. Очевидно, именно характер этого аномального гравитационного поля и обуславливает статический прогиб уровневой поверхности океана. Установлено, что и породы дна этой части океана отражают подобное воздействие. Первоначально в этом усматривали указание на то, что в земной коре или верхней мантии «недостает» определенной массы. Ныне группа сотрудников Национального института геофизических исследований Индии (Хайдарабад) во главе с Дж. Неги (J. Negi), изучая более поздние спутниковые данные, обнаружила в той же части Индийского океана и довольно отчетливую магнитную аномалию. Такие аномалии, в принципе, могут быть вызваны сильно намагниченными породами на поверхности дна. Но спектральный анализ вертикальной компоненты этого аномального поля показал, что она четко прослеживается и в длинноволновом диапазоне, а это говорит о том, что данная аномалия связана с электрическими токами в земном ядре.

Такая связь гравиметрических и магнитных явлений заставила индийских исследователей искать их общую причину на границе между ядром и мантией. Возникло предположение, что под аномальной областью лежит долинообразная впадина в ядре глубиной 5—10 км, заполненная мантийным веществом, которое, как известно, обладает меньшей плотностью, чем вещество ядра, а следовательно, и отвечает за наблюдаемую гравитационную аномалию. Неправильная форма ядра вызывает и соответствующую аномалию в магнитном поле.

Несмотря на некоторую опосредованность подобных утверждений, нет ничего, что бы им противоречило. Прямое картирование границы между ядром и мантией сейсмическими методами пока может обнару-

¹ См. также: Форма земного ядра // Природа. 1987. № 6. С. 116.

жить лишь весьма крупномасштабные ее поднятия и впадины. Более подробная съемка этой границы станет возможной, если Национальное управление США по аэронавтике и исследованию космического пространства выполнит свое намерение запустить специальный геомагнитно - гравиметрический спутник «Grav-Magsat» (что намерено сделать в следующем десятилетии).

Точное определение фигуры Земли, строения ее ядра, распределения в ней масс имеет большое теоретическое и практическое значение. В частности, оно может предсказывать изменения скорости вращения планеты, длины суток; оно играет существенную роль в проблемах астрометрии и навигации.

Nature. 1987. Vol. 325. P. 678;
New Scientist. 1987. Vol. 114. № 1561.
P. 33 (Великобритания).

Геология

115-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

В этом первом из девяти запланированных в Индийском океане рейсов научно-исследовательского бурового судна «ДЖОЙДЕС Резолюшн», проходившем в мае — июле 1987 г. под научным руководством Я. Бэкмана (J. Backman; Стокгольмский университет, Швеция) и Р. Данкена (R. A. Duncan; Университет штата Орегон, США), решались две главные задачи: проверить реальность предсказанного моделью тектоники литосферных плит последовательного увеличения возраста вулканизма (связанного с «горячей точкой») вдоль линии вулканических хребтов Маскаренский — Чагос — Мальдивский; исследовать историю накопления биогенных карбонатов в неогене (22—2 млн лет назад)¹.

Рейс проходил по маршруту от о. Маврикий на север вдоль Маскаренского хребта (скв. 705—711) и далее вдоль хребтов Чагос и Мальдивский

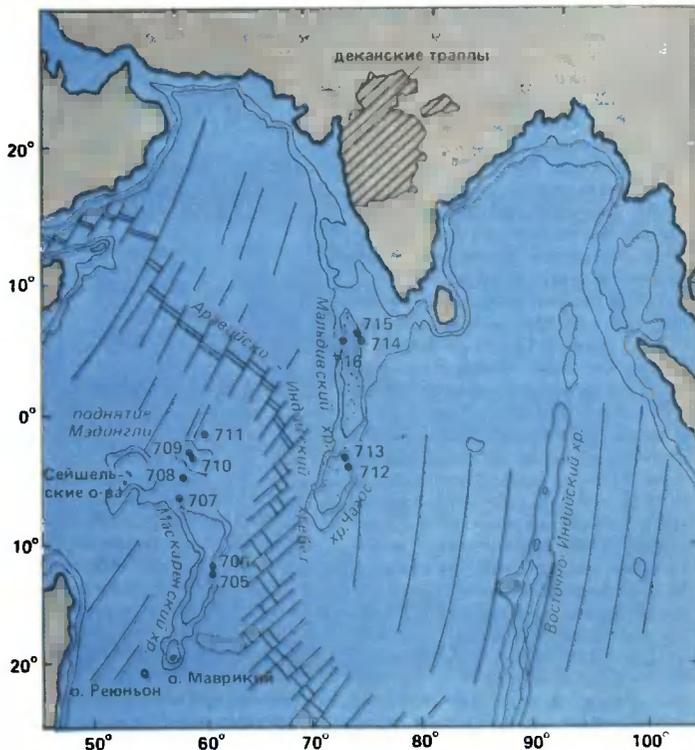


Схема расположения буровых скважин в 115-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн».

(скв. 712—716), как бы повторяя движение Африканской и Индийской литосферных плит над неподвижной тепловой аномалией в мантии — «горячей точкой», питающей магмой ныне действующий вулкан на о. Реюньон.

Базальтовый фундамент был вскрыт в четырех скважинах (706, 707, 713, 715). Образцы из этих скважин, наряду с обнажениями базальтов на о-вах Реюньон и Маврикий и массовыми излияниями базальтов (траппами) на Деканском плоскогорье в Индии, позволили получить представительные данные о петрологии и геохимии вулканических пород реюньонской «горячей точки», имеющих возраст от современного до поздне мелового (около 67 млн лет для деканских траппов). Возраст базальтов в скважинах (по биостратиграфическим датировкам надбазальтового слоя осадков) хорошо согласуется с предска-

занным на основании реконструкции движения плит. С юга на север он последовательно увеличивается: 33 млн лет — в скв. 706, 47 млн лет — в скв. 713, 55—60 млн лет — в скв. 715. Исключение составляет только скв. 707, пробуренная на «припаянном» к Сейшельскому микроконтиненту блоке литосферы, в которой базальты близки по возрасту к деканским траппам (64 млн лет).

В скв. 707 и 715 вскрыты базальты наземных (островных) вулканов, тогда как базальты скв. 706 и 713 — подводные, излившиеся на умеренной глубине. В минеральном составе базальтов доминирует плагиоклаз, а оливин обилен только в скв. 715. Химический состав базальтов контролируется фракционированием при кристаллизации оливина, клинопироксена и плагиоклаза. Величина отношения Zr/Nb, по которому можно судить о первичном составе ман-

¹ Ocean Drilling Program. 1987. Leg 115.2. P. 1—4.

тийного источника выплавки базальтовой магмы, указывает на типичный внутриплитовый вулканизм для скважины 715: встреченные здесь базальты неотличимы от современных внутриплитовых базальтов о. Реюньон. Базальты скв. 707 и 713, судя по этому отношению, извергались в тот момент, когда «горячая точка» была совмещена с центром спрединга (осью срединно-океанического хребта).

Большой диапазон глубин океана — от 1541 м (скв. 707) до 4428 м (скв. 711) — при близкой биологической продуктивности вод в точках, расположенных в одной климатической зоне, позволил получить уникальные данные о растворении биогенного CaCO_3 для неогеновых отложений Маскаренского хребта. В самой мелководной скважине (707) растворение практически отсутствует, но существенное значение имеет перемыв придонными течениями, особенно заметный в осадках моложе 3 млн лет и в осадках, отложившихся между 9 и 29 млн лет назад. В скв. 708 (глубина океана 4096 м) от 30 до 50 % разреза представлено карбонатными турбидитами. Если их исключить, то в общем процессе карбонатонакопления выявляются три периода замедленной аккумуляции (после 1 млн лет назад, между 3 и 5, между 8 и 9 млн лет назад). Сохранность фораминифер — плохая по всему разрезу. В трех скважинах, пробуренных на гребне поднятия Мэдингги (709) и на его склоне (710, 711) прослеживается усиление процесса растворения CaCO_3 с глубиной. По данным скв. 710 установлено, что в неогене (22—2 млн лет назад) скорость накопления биогенных карбонатов резко колебалась: максимальные величины (до $0,8 \text{ г/см}^2$ за 1000 лет) зарегистрированы для отложений моложе 8 млн лет; минимальные (менее $0,2 \text{ г/см}^2$ за 1000 лет) — для среднего миоцена (14—10 млн лет назад), когда растворение CaCO_3 было наиболее интенсивным на всех глубинах. В олигоцене (37—22 млн лет назад) отмечаются устойчиво высокие скорости накопления биогенных карбонатов. В скв. 716 получены данные о накоплении и растворении био-

генного арагонита, смытого с соседних мелководий. Установленные изменения уровней растворения CaCO_3 авторы связывают с глобальными колебаниями климата.

И. О. Мурдмаа,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

Океанология

Мировой океан расширяется

По результатам исследования, проведенного Т. Уигли (T. Wigley; Национальный центр исследования атмосферы США, Боулдер, штат Колорадо) и С. Рейпером (S. Repet; Университет Восточной Англии, Норидж, Великобритания), тепловое расширение Мирового океана продолжается. Согласно их данным, уровень моря только по этой причине повысился в период с 1880 по 1985 г. на 2—5 см.

По мере общего потепления, связанного с парниковым эффектом, такой процесс должен еще более усилиться.

За последнее столетие средние температуры на земном шаре повысились примерно на $0,5^\circ$. Вследствие этого уровень океана поднялся на 10—15 см. Вызвано это было как тепловым расширением верхнего слоя вод, так и таянием полярных и горных ледников.

Nature. 1987. Vol. 300. P. 127 (Великобритания).

Геохимия

Образование самородного алюминия

Недавние находки самородного металлического алюминия поставили вопрос о путях его образования. Как считают Э. В. Соботович и Ю. А. Ольховик (Институт геохимии и физики минералов АН УССР), в природных расплавах под воздействием электротеллури-

ческих токов¹ происходит электрохимическое восстановление алюминия.

Теллурические токи, циркулирующие в земной коре, имеют плотность около 2 А/км^2 , а средняя напряженность создаваемого ими поля составляет 20 мВ/км (в высоких широтах — до десятков вольт на 1 км). Таким образом, электрическое поле, необходимое для протекания процессов электролиза в природных расплавах Земли, существует. А поскольку расплавы обладают ионной проводимостью, то возможно выделение вещества на природных «электродах».

К настоящему времени накоплен обширный экспериментальный материал о процессах электрохимического разложения расплавов, содержащих кислородные соединения алюминия. Так, глинозем диссоциирует в расплаве с образованием ионов Al^{3+} (те же ионы существуют в алюмосиликатных шлаках доменного производства). Не вызывает сомнений и существование ионов Al^{3+} в природных расплавах типа магмы. Поверхность контакта сред с различным типом проводимости, на которой под действием поля будет происходить электролитическое разложение, может возникнуть при внедрении магматического очага в близповерхностные твердые породы.

По оценкам, время образования пластины алюминия толщиной 1 мм на площади контакта 1 см^2 равно примерно $7,5 \cdot 10^5$ лет. Расчет проводился для температуры 1200°C , давления 4—5 кбар, удельного сопротивления расплава 10 Ом/м , напряженности поля 20 мВ/км .

Полученное время электродного процесса согласуется с оценками длительности формирования интрузива. Отсюда делается вывод, что природные электродные процессы, протекающие на длительно существующей фазовой границе расплав — порода, могут привести к появлению заметных ко-

¹ Земные, или теллурические, токи (от лат. telluris — Земля) — это текущие в земной коре электрические токи. В основном они связаны с вариациями геомагнитного поля.

личества самородных металлов, доминировать среди которых должны алюминий и железо, поскольку они наиболее распространены в расплаве.

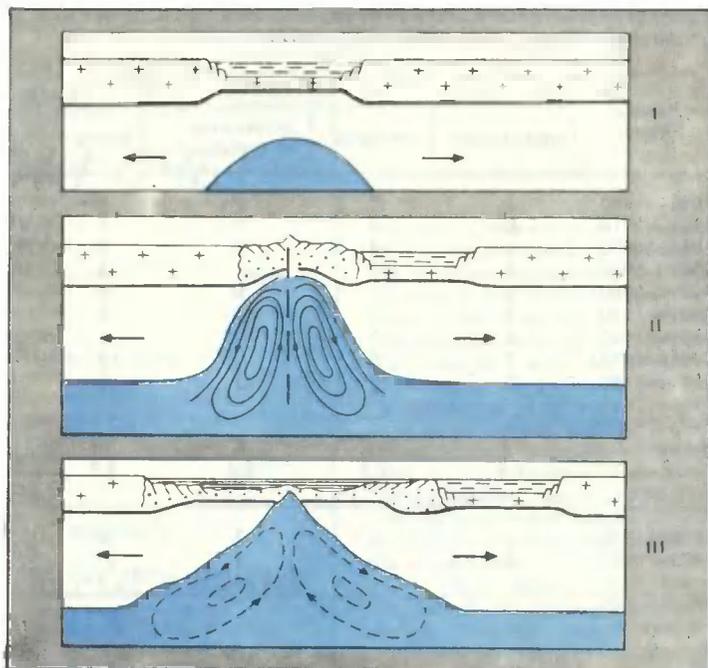
Доклады АН СССР, 1987.
Т. 294. № 2. С. 456—458.

Геотектоника

Геодинамика Северной Атлантики

Группа специалистов из Норвегии, США и ФРГ во главе с К. Хинцем (К. Hinz; Федеральное учреждение по наукам о Земле и сырью) провела детальные геофизические работы методом широкоугольного сейсмического профилирования¹ в зоне пассивной континентальной окраины на севере Атлантики (между Норвегией и Восточной Гренландией). Как установлено этими исследованиями, здесь по обе стороны Атлантического океана симметрично расположены сходные по составу крупные структурные элементы земной коры. Это наклонные к океану блоки, сложенные, по данным бурения, толеитовыми базальтами, залегающими на континентальных образованиях, для которых характерны пониженные значения скорости сейсмических волн.

Наблюдаемые особенности строения этих пассивных окраин хорошо согласуются с моделью развития спрединговых зон, которая разрабатывается коллективом авторов во главе с В. Буком и Ю. Муттером (W. R. Buck, J. C. Mutter; Геологическая обсерватория Ламонта-Доэрти, Палисейдс, штат Нью-Йорк, США). В соответствии с этой моделью, за несколько миллионов лет до раскрытия океана (на рис. — стадия I), в условиях растяжения земной коры развивался широкий внутриконтинентальный бассейн, в котором накапливались мощные толщи осадочных пород (в Северной Атлантике



+ + Континентальная кора
 Мантия
 — — — — — Осадочный бассейн

Океаническая кора
 Конвекция в мантии
 Растяжение литосферы

Схема образования океанической коры (по Ю. Муттеру и др.): I — тектоническое развитие внутриконтинентального бассейна до раскола; II — раскол континентального блока, сопровождающийся интенсивной конвекцией вещества мантии; III — затухание конвекции после раскола и заключительная стадия формирования океанической коры.

такими образованиями могут быть верхнеюрские толщи плато Воринг). Затем, в начальный период спрединга, произошла резкая перестройка температурного режима в литосфере, что вызвало перераспределение вещества верхней мантии, интенсивную конвекцию и подъем мантийного диапира. Эти процессы привели к расколу континентальной коры и активному вулканизму (стадия II). По мере развития спрединга холодная континентальная литосфера все более удалялась от мантийного диапира, ее температурный гра-

диент уменьшался, так что конвекция, обеспечивающая поступление в верхнюю часть земной коры расплавленных продуктов, замедлялась. Лишь на III стадии, спустя несколько миллионов лет после начала спрединга, формируется океаническая кора нормальной мощности.

Marine and Petroleum Geology. 1987. Vol. 4. № 8. P. 166—187 (США).

Климатология

Почему похолодали летние сезоны!

После памятного исключительно жаркого лета 1972 г. на европейской территории СССР намечилась отчетливая тенденция к похолоданию в летние месяцы.

По имеющимся данным за 90 лет (1891—1980), на южной

¹ См. также: Новые данные о глубинном строении пассивных окраин океана // Природа. 1987. № 6. С. 116.

Число холодных летних сезонов на европейской территории СССР по десятилетиям (1891—1980 гг.) и с 1973 г.

Десятилетия	Сезоны			
	прохладные	холодные	экстремально-холодные	Всего
1891—1900	2	0	0	2
1901—1910	0	0	1	1
1911—1920	3	4	0	7
1921—1930	2	1	1	4
1931—1940	0	1	0	1
1941—1950	3	1	1	5
1951—1960	1	0	0	1
1961—1970	3	0	0	3
1971—1980	0	4	2	6
Итого	14	11	5	30
Среднее	1,6	1,2	0,6	3,3
1976—1985	2	4	2	8
1973—1987	2	7	2	11

половине европейской территории Союза (45—55° с. ш., 30—50° в. д.) наблюдалось 30 холодных летних сезонов, подразделяемых на три категории: прохладные, холодные и экстремально-холодные. К прохладным отнесены те, у которых отрицательная аномалия сезонной температуры составляет по крайней мере половину среднего квадратичного отклонения. В холодные сезоны эта аномалия достигает полной величины, а в экстремально-холодные — не менее полуторной величины среднего квадратичного отклонения, которое для рассматриваемой территории близко к 0,8°.

Из общего числа холодных и, как правило, дождливых летних сезонов 14 были прохладными, 11 — холодными и 5 — экстремально-холодными. В среднем приходилось по 3,3 случая холодных летних сезонов в десятилетие.

С 1973 г. начался 15-летний период повышенной повторяемости холодных летних сезонов, в котором особенно выделяется десятилетие 1976—1985 гг.: восемь холодных и лишь один жаркий летний сезон, в 1981 г. Всего же за эти 15 лет было 11 холодных летних сезонов, чего не наблюдалось ни

за один 15-летний период в прошлом.

Непосредственная причина этого похолодания — особенность крупномасштабной циркуляции атмосферы¹. Суммарная повторяемость всех атмосферных процессов, которые вызывают похолодания летом, возросла за последние 15 лет до 60%. Но при этом превышение нормы для большинства таких процессов невелико (в пределах 2—3%), зато повторяемость одного из них — так называемого циклонического № 1 — достигает 29% при норме 12%. Такой процесс обычно продолжается 5—6 суток и характеризуется прохождением циклонов в европейской части страны. Он-то и создает дождливую погоду вследствие образования сплошной облачности, препятствующей прогреву, и притоков холодного воздуха с севера в тыл циклонов. Понижения температуры относительно нормы со-

ставляют около 1,5° в среднем для европейской территории Союза и около 2° для Москвы, но в отдельных случаях они могут достигать 5° и более.

В среднем (за 85 лет) повторяемость циклонического процесса № 1 составляла 2,3 случая за летний сезон, но в 1973—1987 гг. возросла до 5,3. В сезонах же 1976, 1978, 1984 и 1987 гг. наблюдалось от 7 до 10 случаев при общей численности всех атмосферных процессов 16—18. В период с 1973 по 1987 г. большинство процессов, создающих похолодания, были термически активными, т. е. вызывали отрицательную аномалию больше своей нормы. Например, отрицательная аномалия температуры при циклоническом процессе № 1 в летних сезонах 1973—1987 гг. была в среднем на 0,6°, а в июле — на 0,8° больше нормы.

Резкое усиление циклонической деятельности в летних сезонах 1973—1987 гг. связано с изменением типичных форм циркуляции атмосферы в летнее время. Обычно в летние месяцы в средней тропосфере над европейской территорией страны формируется теплый высотный гребень повышенного давления. Но в подавляющем большинстве летних месяцев исследуемого периода, а именно в 31 случае из 44, эта форма циркуляции была заменена противоположной — высотной холодной ложбиной. Причины столь значительной и длительной аномалии циркуляции атмосферы еще не ясны и требуют дополнительных исследований. Однако можно предполагать, что по крайней мере одной из них является возросший контраст температур между высокими и низкими широтами, который благоприятствует возникновению циклонов. Указанием на это могут служить, с одной стороны, некоторое увеличение площади льда в Баренцевом море, а с другой — участвовавшие особенно жаркие летние сезоны в субтропиках Средиземноморья².

Л. В. Клименко,
кандидат географических наук
Москва

¹ Клименко Л. В. Синоптико-климатическая типизация атмосферных процессов и ее каталог. М.: Изд-во МГУ, 1976. С. 107; Он же // Сезонная повторяемость и термическая характеристика типовых синоптических процессов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1985. № 2. С. 88—89.

² См., напр., в этом номере: Трудное лето в Афинах.

«ГАМБУРГСКИЙ СЧЕТ» НАУКИ

А. А. Гурштейн,
доктор физико-математических наук
Москва

Ю. Б. ТАТАРИНОВ

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



• НАУКА •

Ю. Б. Татаринov. ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: ЛОГИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ / Отв. ред. В. А. Жамин. М.: Наука, 1986. 232 с.

раз и навсегда отказавшись в своем мышлении от идеалов и норм прошлого века. Уже очень давно профессия научного работника стала массовой. Уже очень давно в науку внедрены плановые начала. Эти и подобные им другие реалии второй половины XX в. властно требуют адекватных организационно-управленческих мероприятий.

Кстати сказать, некоторые сферы творческой деятельности — ничуть не менее творческие, чем занятия наукой, — дают нам яркие примеры успешного внедрения количественных

оценок. Сколько яростных споров и возражений вызывало в шахматном мире введение «коэффициентов Эло». На практике выяснилось, однако, что количественная оценка шахматиста по итогам его выступлений нисколько не умаляет чести и достоинства творческой личности, а шахматный рейтинг изжил вкусовщину экспертных суждений и стал надежной основой при решении таких, например, организационных вопросов, как подбор участников международных турниров.

Итак, перед нами монография Ю. Б. Татаринova «Проблемы оценки эффективности фундаментальных исследований». И мы далеки от мысли рекомендовать ее читателю как легкое и увлекательное чтение. Более того, эта книга очень трудна для восприятия как в силу дискуссионности многих из выдвигаемых автором основных положений, так и в силу несколько тяжеловесной, чересчур академичной манеры изложения. Попробуем же разобраться в сути предложенного.

Ю. Б. Татаринov предлагает радикально изменить характер деятельности научных экспертов в области естествознания, в первую очередь в физике и астрономии. Сегодня каждый из них руководствуется собственными критериями, зачастую несопоставимыми. Именно унификация критериев и создание сводного — пусть и очень громоздкого — вопросника с весьма ограниченным числом возможных ответов на каждый вопрос представляется автору главным средством упорядочить действия экспертов и внести в их выводы полную определенность. Центр тяжести в этом случае переносится с этапа заключительной деятельности экспертов на этап предварительной разработки системы критериев и установления их взаимной относительной важности. В детальном анализе сла-

НАУЧНЫЕ работники нередко встречают в шыки даже саму мысль о возможности количественной оценки уровня и эффективности научного исследования. Живая наука в их представлении не терпит прикосновения бездушного скальпеля математизированного науковедческого анализа, и количественное сравнение творческих достижений, скажем, И. Ньютона, А. Пуанкаре и Л. Д. Ландау кажется откровенным кощунством. Нет слов, такая точка зрения имеет право на существование, однако она коренным образом расходится с реалиями современности.

Ежедневно и ежечасно в повседневной научной деятельности сталкиваемся мы с необходимостью оценок уровня выполненных или планируемых научных исследований. Разве не эту задачу решают члены специализированных советов по присуждению ученых степеней кандидатов и докторов наук? Разве не ту же самую задачу продолжают решать эксперты ВАК? И не перед той ли самой проблемой оценки уровня и эффективности исследовательской работы стоят авторитетные члены Комитета по Ленинским и Государственным премиям? А члены международного Нобелевского комитета?

Пора всерьез задуматься над реальным положением дел,

бостей предшествующих разработок и выработке принципиально нового методического подхода к проблеме нам видится основная ценность монографии Ю. Б. Татаринова.

Подход Ю. Б. Татаринова требует вычленения из научных публикаций их конечного результата в гносеологически-информационной форме, т. е. конкретных научных принципов, теорий, гипотез, моделей, классификаций, явлений, процессов, свойств или аномалий. Дальнейшему экспертному анализу будут подвергнуты их отличия от существующей общей или локальной научных картин мира.

По каким же критериям пойдет анализ установленных отличий? Эти критерии сведены в 10 групп, перечень которых дает наглядное представление о тех мучительных неясностях, которые необходимо преодолеть на пути к количественной оценке уровня научного результата. Вот этот перечень: 1) типология объекта исследования; 2) структурный уровень материального мира, затронутый при исследовании объекта; 3) типология гносеологически-информационной формы полученного результата; 4) степень обобщения, «уплотнения» научной информации в достигнутом результате; 5) иерархия структурных единиц науки, которая учитывается при составлении одной из измерительных матриц; 6) уровень познавательной новизны оцениваемого результата; 7) уровень познания сущности объекта исследования; 8) широта охвата научным результатом других потенциальных объектов исследования; 9) уровень концептуального сдвига, т. е. масштабы воздействия полученного результата на науку и ее структурные составляющие; 10) степень достоверности полученного результата.

Нам представляется, что четкое выделение и квалифицированный анализ указанных

критериев сам по себе является ценным науковедческим результатом. Однако автор не останавливается на этом и на эмпирической основе разрабатывает «измерительный комплекс» из четырех логических измерительных таблиц-матриц и трех измерительных шкал со словесным описанием градаций этих шкал. Численные значения, получаемые в итоге ответов экспертов, отражают так называемый уровень интенсивности каждого из выделенных ранее критериев-параметров. Кроме того, автору удалось сформулировать закономерность, которая позволила получить компактные расчетные формулы для «индекса» и «ранга» фундаментальности, объединяющих дифференциальные оценки по каждой таблице-матрице и шкале в сводную интегральную оценку. Единая интегральная оценка соотносит конкретный рассматриваемый научный результат с национальным или мировым уровнем соответствующих достижений в различных областях знаний.

Разумеется, Ю. Б. Татаринов не первым предлагает ввести интегральные количественные оценки научных достижений. Разного рода балльные системы применялись на практике и задолго до него. Но всем им был присущ общий врожденный порок. Ясно отдавая себе отчет в сложности, многоаспектности генезиса нового научного знания, авторы стремились оценить его значимость неадекватными, упрощенными, грубо говоря, дедовскими методами. В преодолении этого противоречия видится серьезная заслуга методики Ю. Б. Татаринова. Вновь подчеркнем, что принципиальная новизна его системы состоит в том, что эксперты основываются не на произвольных критериях, а дают оценки по системе, отражающей сложность процесса приобретения нового научного зна-

ния. Они действуют в рамках определенных оценочных градаций, причем мнение их определяется только высказываниями вида «да» или «нет». Жесткая детерминированность возможных ответов на ясно поставленные вопросы, кстати сказать, не требует от экспертов столь высокой квалификации, как в случае «свободной» экспертизы, когда участники оценки, по существу, должны знать все обсуждаемые работы до мельчайших подробностей.

Полигоном для испытания работоспособности системы Ю. Б. Татаринова стала астрономия. Автор воспользовался многочисленными вербальными оценками из книги члена-корреспондента АН СССР И. С. Шкловского «Проблемы современной астрофизики» (М.: Наука, 1982), а также опубликованными высказываниями ряда других ведущих современных ученых. Обсуждаемые ими научные результаты были количественно оценены в 1982 г. с помощью описанной в книге экспертной процедуры при участии нескольких сотрудников Астрономического совета АН СССР. Количественная оценка оказалась в превосходном согласии с ранее высказанными суждениями широко признанных авторитетов.

Нелишне отметить, что монография Ю. Б. Татаринова на сегодня представляет собой единственный в СССР и, насколько можно судить по литературе, единственный в мире труд, посвященный анализу логико-методологических аспектов оценки эффективности и качества фундаментальных исследований. В книге изложен интересный и принципиально новый социально-когнитивный подход к экспертной оценке научных результатов, который может быть практически реализован.

Отнюдь не все вопросы, излагаемые в книге, получили исчерпывающее решение. От-

СУДЬБА «ПРОИСХОЖДЕНИЯ»

П. М. Бородин,
кандидат биологических наук
Новосибирск

дельные положения автора носят слишком дискуссионный характер и нуждаются в дополнительной проработке и осмыслении.

Но в целом же книга Ю. Б. Татаринова, появившаяся в результате долгих лет поисков и раздумий, заслуживает пристального внимания.

У «научного рейтинга» — «гамбургского счета» науки — действительно может оказаться большое будущее. Он дает возможность оценивать научную продуктивность для различных исторических периодов развития науки. Он ведет к обоснованным оценкам прогноза планируемых исследований и, тем самым, может стать одним из рычагов планирования и управления наукой. Многофакторность системы оценок способствует не только более тонкому различению уровня научных результатов, но и заставляет обратить внимание научных работников на факторы, способствующие доведению уже полученных ими научных достижений и открытий до их потенциально существующего «потолка». Следует пожелать успеха автору в более тщательном экспериментальном апробировании его предложений.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «Просвещение» сделало превосходный подарок всем интересующимся биологией, нет, всем культурным людям. Ибо «Происхождение видов» из того ряда вечных книг, что и «Илиада», «Божественная комедия», «Преступление и наказание». Человек не должен числить себя по разряду культурных людей, не прочитав этой книги. Так оно и было с момента ее выхода в Англии в 1859 г. и у нас в России в 1864 г. Книга не просто разошлась в один день. Она была прочитана и перечитана многократно. Она стала темой жарких дискуссий, в один момент перевернув мировоззрение читающего человечества. Этот научный труд вызвал такую бурю эмоций во всем мире, какую не породило ни одно литературное художественное произведение ни до, ни после него. Во второй половине XIX в. «Происхождение видов» властвовало умами русских революционных демократов.

Россия всегда была самой дарвиновской страной. Именно на русском, а не на английском языке впервые увидели свет такие книги Дарвина, как «Изменения животных и растений при одомашнивании» и полный текст «Автобиографии». Первая переводилась с корректурных листов, полученных от автора, и издавалась немедленно (вторую, раньше, чем в Англии) В. О. Ковалевским. Из-за этой-то



Ч. Дарвин ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВИДОВ ПУТЕМ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТБОРА. Книга для учителя / Комментарий А. В. Яблокова, Б. М. Медникова. М.: Просвещение, 1987. 383 с.

книги и, конечно, под влиянием «Происхождения» правовед и издатель В. О. Ковалевский стал палеонтологом и прославил отечество великими открытиями в этой области. Показательно, что «Происхождение» переводили, комментировали и издавали у нас выдающиеся ученые. Вот на моем столе издание 1935 г. — перевод К. А. Тимирязева, вступительные статьи академиков Н. И. Вавилова и Н. И. Бухарина.

К сожалению, так было не всегда. Предпоследнее издание «Происхождения» вышло после печально знаменитой сессии

ВАСХНИЛ 1948 г. В то время, когда генетику заменила «агробиология», а теорию эволюции — «творческий дарвинизм»: дарвинизм, очищенный от борьбы за существование, от естественного отбора — от всего, что собственно и составляет ядро дарвиновского учения, что отличает его от «ламарковых бредней» (слова Дарвина). Комментарии к этому изданию были сочинены правоверными «творческими дарвинистами» (читай — лысенковцами), и бедного Дарвина в этих комментариях отчитывали за его «ошибки и заблуждения» как нашкодившего школяра.

В течение сорока лет после этого «Происхождение» не переиздавали. Выросли два поколения, которые в массе своей Дарвина не читали. Они знали его в пересказах. Это, по-моему, тот сорт полунзания, который даже хуже полного невежества. Сложилась странная ситуация: мало кто знает, что, собственно, сделал Дарвин, но большинство убеждено, что он, если и не был не прав изначально, то теперь уж точно безнадежно устарел. Спросите своих знакомых, чем знаменит Дарвин. В лучшем случае вам скажут, что Дарвин доказал происхождение человека от обезьяны.

Убеждение в неправоте или устарелости Дарвина усиленно культивируется научно-популярными публикациями газет и журналов. Ругать Дарвина стало постепенно хорошим тоном. В этом я вижу не злонамеренность, а только иллюстрацию к мысли Пушкина: «Человек по природе своей склонен более с осуждением, нежели к похвале (говорит Макиавелль, сей великий знаток природы человеческой). Глупость осуждения не столь заметна, как глупая похвала; глупец не видит никакого достоинства в Шекспире, и это приписано разборчивости его вкуса, стран-

ности и т. п.» Я прошу меня простить за столь длинную цитату из Пушкина в рецензии на книгу Дарвина, но — ей-богу! — она мне кажется столь к месту, что я рискну ее расширить. «Иезуит Посвин, столь известный в нашей истории, был один из самых ревностных гонителей памяти Макиавеллевой. (...) Ученый Congripinus... доказал, что Посвин никогда не читал Макиавелля, а толковал о нем понаслышке»¹.

Нечто подобное происходит и вокруг Дарвина. Авторы комментария к новому изданию «Происхождения» отмечают в послесловии: «Порой остается только удивляться, насколько аргументация современных противников дарвинизма даже в деталях совпадает с критикой, на которую уже был дан ответ в «Происхождении видов». Многие из них не читали работу Дарвина и спорят не с дарвинизмом, а со своим искаженным и неверным представлением о нем» (с. 363).

Дарвин сыграл со своими критиками опасную шутку. В «Происхождении» есть две паразитические главы: «Затруднения, встречаемые теорией» и «Различные возражения против теории естественного отбора». Никто ни до, ни после него не решался вставлять такого рода главы в свои книги. Человеку свойственно увлекаться созданием своего ума, закрывать глаза на «затруднения, встречаемые его теорией», не принимать всерьез различные «возражения против нее». Дарвин же педантично проанализировал все трудности, с которыми сталкивается его идея, все критические замечания, которые могут быть против нее выдвинуты. И тем самым обезоружил своих ниспровергателей на столетия вперед.

Ну что ж, теперь есть надежда, что Дарвин будет прочитан и его критиками. Но дело даже не в них. Гораздо важнее, чтобы «Происхождение» стало непререкаемым чтением школьников, студентов, учителей, научных работников, всех культурных людей. Тогда они сами будут решать, кто прав: Дарвин или его критики. Ведь самое важное — знать предмет дискуссии в авторском изложении, а не в апологетическом или разоблачительном пересказе.

Перед издателями «Происхождения» в виде книги для учителя стояла труднейшая задача — издать его так, чтобы его читали. Можно сколько угодно агитировать за «Происхождение», но все ведь решает сам читатель: читать ему «Происхождение» или смотреть телевизор. И он выбирает первое только в том случае, если ему самому, а не издателю будет интересно. Издатели с блеском решили эту задачу. Они бережно сократили дарвиновский текст. Я вполне представляю, насколько трудна была эта задача — поднимать ножницы на «Происхождение». Остается только поражаться, с каким тактом и вкусом они отредактировали Дарвина. Они избежали соблазна сделать Дарвина большим дарвинистом, чем он был на самом деле. Ведь это так легко было сделать: в числе сокращений убрать и его слова о наследовании эффектов упражнения органов.

Наиболее значительному сокращению подверглись главы 5 «Законы изменчивости» и 9 «Гибридизация». Пожалуй, это справедливо. В этих главах практически нет обобщений, важных для дарвиновской концепции. Они представляют собой сводку довольно противоречивых данных о механизмах наследственности, накопленных к XIX в. В наше время, после открытия законов Менделя, они интересны разве что историкам

¹ Пушкин А. С. Полн. собр. соч. Т. 8. Л., 1978. С. 64—65.

науки. Весьма существенно был сокращен «Исторический очерк». И это сокращение мне кажется уместным. В тексте осталось упоминание тех предшественников Дарвина, которые внесли наиболее принципиальный вклад в создание теории эволюции. И все же немаложаль, что не сохранен тот длинный список ученых, которых сам Дарвин со свойственной ему щебетливостью упоминает как своих предшественников, хотя их вклад абсолютно несопоставим с его вкладом. Дарвиновский стиль обращения с предшественниками весьма поучителен для нынешних поколений ученых, у которых соответствующий список зачастую начинается с непосредственного научного руководителя.

Весьма полезным мне представляется предпринятое издателями разбиение глав «Происхождения» на подзаголовки. У Дарвина их не было: по литературным обычаям своего времени он перечислял основные темы в виде анонса перед началом каждой главы.

Издатели сохранили не только строгую и, вместе с тем, изящную логику «Происхождения», но и его замечательный литературный стиль. Стиль совершенно поразительный для научного труда — не фанатическая проповедь, не внушение истин в последней инстанции, но мягкий доверительный разговор умного, сомневающегося автора с не менее умным и сомневающимся читателем.

А эта прелесть чуть тяжеловесных викторианских оборотов! Она была чудесно передана в переводе К. А. Тимирязева и сохранена в настоящем издании. «Как почки в силу роста дают начало новым почкам, а эти, если только сильны, превращаются в побеги, которые, разветвляясь, покрывают и заглушают многие зачахнувшие ветви, так, полагаю, было в силу воспроизведения и с великим

Древом Жизни, наполнившим своими мертвыми опавшими сучьями кору земли и покрывшим ее поверхность своими вечно расходящимися и прекрасными ветвями» (с. 97). Что это, как не прекрасная поэзия дарвиновского слога!

В дарвиновском «Происхождении» была всего одна иллюстрация — схема расхождения признаков под действием естественного отбора. Современный читатель предпочитает книжки с картинками. И в этом отношении новое издание «Происхождения» ему должно понравиться. Оно снабжено превосходными, прекрасно исполненными и замечательно подобранными иллюстрациями. Они не просто иллюстрируют дарвиновский текст, но служат основой для комментариев к «Происхождению».

На рисунках представлены все основные элементы дарвиновского учения. Читатель видит поразительные изменения организмов, обитающих в природе и под контролем человека. По прекрасно выполненным зоогеографическим картам он может представить себе пути формирования современных фаун. Генеалогические древа большинства крупных таксонов дают ясную картину их филогении. Рисунки и комментарии увязывают дарвиновский текст с современным состоянием биологии. Читатель найдет в новом издании «Происхождения» и законы Менделя, и современные представления о механизмах синтеза белка. Учитель может использовать эти рисунки и комментарии к ним для преподавания практически всего курса общей биологии.

Впрочем, почему только общей биологии, которую изучают только в старших классах? Вся школьная биология — природоведение, ботаника, зоология, анатомия и физиология — должна быть пронизана дарвиновской идеологией.

Однако, боюсь, что моя рецензия получается слишком уж апологетической и не в духе времени. Нужно отметить недостатки. Как любая другая книга, новое издание «Происхождения» содержит опечатки. Особенно обидно видеть ошибки в рисунках. Аденин назван аланином, (рис. 1-4), на рис. 11-7 обозначения не соответствуют тем, что даны в подрисуночных подписях, а в рис. IV-1 нет тех стрелок, которые отмечены в подписи, и т. д. Но это, конечно, ловля блох. Я уверен, что издательство «Просвещение» легко устранит их, когда устранит, наконец, главный недостаток этого замечательного издания — его ничтожно малый тираж. Первое издание «Происхождения» было напечатано в Лондоне в 1250 экз. и разошлось в день выхода в свет. Последнее издание, напечатанное в Москве в 135 000 экз., разошлось, не знаю как где, но в Новосибирском Академгородке за 15 мин. Тираж, может быть, и большой по сравнению с 1859 г., но, право, ничтожный сегодня для нашей страны.

И, наконец, я должен сказать о тех, кого я выше уважительно называл издателями. Непростительно назвать редакторами (это Дарвина-то редактировать! они и сами не примут такого титула) или авторами комментариев людей, которые взяли на себя благородную и трудную задачу вернуть «Происхождение» советскому читателю. И от имени этого читателя я хочу принести искреннюю признательность члену-корреспонденту АН СССР А. В. Яблокову и профессору Б. М. Медникову за новое издание «Происхождения». Они оба внесли крупный вклад в развитие эволюционной теории. И время, затраченное на подготовку этого издания, они могли использовать для своей научной работы, но они отдали его Дарвину.

Физика

А. А. Буряк, Н. Б. Карпова. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВО: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА / Под ред. Л. И. Анатыхука. Кишинев: Штиинца, 1987. 74 с. Ц. 15 к.

По словам академика А. Ф. Иоффе, разнообразные термоэлектрические явления, известные науке уже полтора века, зачастую воспринимаются лишь как мелкие факты, украшающие курс физики эффектами лекционными опытами. Однако их действительное значение гораздо больше. Помимо того что преобразование тепловой энергии в электрическую как физический процесс заслуживает внимания само по себе, оно в последнее время все чаще находит любопытные практические применения. Поэтому многие с интересом ознакомятся с брошюрой А. А. Буряка и Н. Б. Карповой, рассказывающей об истории открытия термоэлектрических явлений, о предпринятых в прошлом попытках использовать их, о современном состоянии этой области науки и техники. Авторы обрисовали и вероятные пути дальнейшего развития термоэлектрического приборостроения и энергетики.

Любой физик не задумываясь назовет по крайней мере одно термоэлектрическое устройство — термомонопару, простой и удобный измеритель температуры, без которого не обходится никакая лаборатория. Но с помощью термоэлектричества измеряют и другие величины, в частности поток инфракрасного излучения, электрический ток. Полупроводниковые термогенераторы — надежные и стабильные автономные источники энергии, хорошо зарекомендовавшие себя в самых разных условиях. Они давали ток радиостанциям в партизанских лагерях во время Великой Отечественной войны, они же работают сейчас на баках или станциях катодной защиты трубопроводов. Термоэлектрические элементы питали даже телепередатчики космического аппарата «Викинг», пославшего на

Землю первые марсианские панорамы.

Не менее полезны и обратные термоэлектрические эффекты — к примеру, эффект Пельтье, т. е. выделение или поглощение тепла при пропускании тока через контакт двух разных проводников. Охлаждение с помощью эффекта Пельтье заметно улучшает характеристики детекторов лазерного излучения, приборов с зарядовой связью и некоторых других электронных устройств, оно используется при медицинских операциях, особенно в микрохирургии. Нет сомнения, что термоэлектрическое охлаждение поможет решить и иные задачи — если и не создать автоматы, готовые мороженое или продающие соки, о которых упоминают авторы, то защитить от перегрева панели, кристаллодержатели и отдельные детали вычислительных машин.

Прочтя книгу «Термоэлектричество: вчера, сегодня, завтра», еще раз убеждаешься — современная техника настолько сложна и разнообразна, что всякое физическое явление может быть в ней использовано с успехом и выгодой, для всякого эффекта найдется своя «технологическая ниша».

Физика

И. Л. Розенталь. ГЕОМЕТРИЯ, ДИНАМИКА, ВСЕЛЕННАЯ. М.: Наука, сер. «Планета Земля и Вселенная», 1987. 144 с. Ц. 50 к.

Основы геометрии известны уже два с половиной тысячелетия, динамика существует несколько веков, а изучение Вселенной стало действительно научным и оформилось в особую дисциплину (космологию) не более семи десятилетий назад. И тем не менее соседство этих трех слов естественно для названия книги. Дело не только в том, что язык механики включает в себя геометрические понятия, а законы динамики позволяют рассчитывать будущее или восстанавливать прошлое Вселенной. Связь между геометрией, динамикой и космологией

значительно глубже — можно сказать, что это три разных взгляда на один предмет.

Современная физика оказалась от понимания пространства как пустого «вместилища» вещей и наделила его важными физическими свойствами. В результате динамика (если понимать под ней не только раздел механики, но и всю совокупность законов взаимодействия физических объектов, от макроскопических тел до элементарных частиц) стала определяться геометрией пространства нашего мира, а геометрия, в свою очередь, — ходом эволюции Вселенной.

Автор задался целью помочь читателю-неспециалисту, знакомому лишь с общим курсом физики, разобраться в непростом клубке этих взаимозависимых понятий. За основным текстом следует написанный А. Д. Линде раздел, посвященный теории раздувающейся Вселенной, а также дополнение с некоторыми сведениями из физики элементарных частиц и квантовой теории поля, которые могут потребоваться читателю.

Выбранная автором тема очень трудная для популяризации — не только из-за сложности математического аппарата теоретической физики, но и вследствие непривычности ее понятий, зачастую не укладывающихся в рамки обывденного здравого смысла. Не исключено, что после прочтения этой книги останется что-то, ясное читателю не до конца. Можно ожидать, что это подтолкнет его к дальнейшему знакомству с сегодняшними поисками физической науки.

Биология

Г. Шеперд. НЕЙРОБИОЛОГИЯ: В 2-х т. Т. I, II / Пер. с англ. Н. Н. Алипова, О. В. Левашова, под ред. Д. А. Сахарова. М.: Мир, 1987. 454 с. 868 с. Ц. 2 р. 20 к.

Вышел двухтомный труд известного американского нейробиолога Гордона М. Шеперда — факт отраднейший и долгожданный. Эта книга, изданная Оксфордским университетом в

1983 г., — наиболее полная и универсальная сводка дисциплин, объединяемых под общим названием «нейробиология». Сам автор определяет эту область как «изучение нервных клеток и способов их организации в нервную систему, управляющую поведением животного».

Книга Г. Шеперда в нашей стране очень нужна. Однако приходится признать, что ее рекомендация в качестве учебника для студентов-биологов и медиков несколько преждевременна — они пока не подготовлены к ее восприятию. Сегодня у нас книгу Г. Шеперда способны понять в полном объеме главным образом профессионалы, изучающие центральную нервную систему и поведение животных. Многие положения книги, как, например, переход от традиционной «нейронной доктрины» и теории рефлекторных цепей к сложным системным трактовкам и закономерностям, требуют систематического подхода на основе глубоких знаний физиологии, биохимии, цитологии, этологии и ряда других дисциплин.

Может показаться несколько странным отношение Г. Шеперда к аллометрическим и морфоэкологическим особенностям мозга позвоночных, получившее в последние годы большее распространение среди исследователей мозга. Есть и другие спорные моменты. Но, как справедливо отмечает редактор перевода, главное значение книги Г. Шеперда для советского читателя в том, что она поможет формированию нового типа мышления в области нейробиологии.

Особое внимание привлекают иллюстрации, которые отличаются простотой и высокой информативностью; около 400 рисунков и фотографий наглядно иллюстрируют изложение материала практически всех глав. Для советского читателя огромный интерес будет представлять библиография.

Н. А. Мягков

С. И. Никоноров,
доктор биологических наук
Москва

Биология

К. Вибе, Б. Муус, Ф. Саломонсен. ЖИЗНЬ В СТРАНЕ ЛЕДЯНОГО БЕЗМОЛВИЯ / Пер. с дат. с сокр. Ю. А. Решетова. Науч. ред., авт. послесл. и коммент. С. М. Успенский. М.: Мысль, 1987. 159 с. Ц. 1 р. 60 к.

Крупнейшие датские биогеографы рассказывают об уникальной природе Гренландии — самого большого острова на Земле. Из иллюминатора самолета остров кажется безжизненной пустыней, однако животный мир Гренландии разнообразен и интересен.

Сведения о жизни рыб, птиц и млекопитающих сопровождаются в книге многочисленными красочными иллюстрациями.

Поскольку фауна Гренландии характерна и для полярных районов нашей страны, книга имеет не только научное, познавательное, но и практическое значение. Она представляет интерес для зоологов, ботаников, биогеографов и широкого круга читателей.

Геофизика

А. Е. Святловский, Ю. И. Китайгородский. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ВУЛКАНОЛОГИЯ. М.: Недра, 1988. 255 с. Ц. 3 р. 20 к.

В монографии рассматриваются основные проблемы вулканизма в их прямой связи с геодинамическими процессами, протекающими в земной коре. Авторы анализируют различные современные геодинамические построения и предлагают новую концепцию — волновую геодинамику. Она основана на предположении, что в Земле на разных уровнях возникают волновые процессы, при которых взаимосвязанно изменяются основные параметры — давление, напряжение, температура, скорости течений, — характеризующие состояние земных оболочек и определяющие ход физических процессов на Земле. Источниками энергии для возникновения и поддержания волнового процесса служат гравитационная

дифференциация, фазовые переходы и радиоактивный распад.

Теоретические результаты волновой геодинамики согласуются с фундаментальными геологическими фактами.

Авторы используют свою концепцию для прогноза вулканических явлений и создания общей теории вулканизма, охватывающей максимальное число геологических фактов; предлагают новое геодинамическое обоснование классификации вулканических структур и регионов; описывают различные проявления взаимосвязи вулканизма и землетрясений.

Биогеография

С. М. Успенский. ЖИВАЯ АРКТИКА. М.: Мысль, 1987. С. 268. Ц. 1 р. 60 к.

Книга посвящена животному миру Арктики, в частности высшим позвоночным — птицам и млекопитающим. Ее написал известный зоолог и большой знаток Крайнего Севера. С. М. Успенский объездил практически все уголки этой огромной зоны от Скандинавии до Берингова пролива, побывал на Аляске и севере Канады. Стационарные наблюдения, проводившиеся в любое время года, и впечатления многодневных, порой тяжелых маршрутов, составляют прочную основу текста.

Избегая повторов, автор отбирает для каждого региона наиболее характерное. В первой главе — это прежде всего птичьи базары Мурмана, межвидовые связи их обитателей, зеленые оазисы у птичьих базаров, обусловленные обилием органики. Во второй главе описан маршрутный эколого-географический разрез — от Новой Земли до материковой лесотундры. Здесь много тонких замечаний: о токе дупелей и необыкновенных куликах-турухтанах, о своеобразии песни дроздов-белобровиков в лесу и др. Третья глава открывается очерком о Таймыре, интересно и обстоятельно говорится о диком олене, волке, краснозобой казарке, много види-

мания уделено адаптациям животных. Предпоследняя глава начинается с воссоздания, можно сказать, самого духа того времени, когда по земле бродили мамонты. Превосходно сделана реконструкция ландшафта того периода. Затем описываются современные животные региона: диковинный журавль — стерх, розовая чайка, ездовые собаки. В очерке об о. Врангеля много замечательных страниц посвящено белому медведю, в монографическом изучении которого С. М. Успенскому принадлежит бесспорный приоритет.

Все региональные очерки органично включают исторические справки об открытии мореходами той или иной территории, исследователях Арктики — географах и зоологах. Ярko и с юмором описан быт современных путешественников, даны запоминающиеся портреты спутников автора.

Заключительная глава нам представляется местами сухой, слишком назидательно написан раздел «Сегодня». Недостаточно заострены некоторые проблемы охраны северной природы.

Рекомендуя книгу С. М. Успенского «Живая Арктика» читателям, нужно их предупредить, что многим придется ознакомиться с ней в библиотеке: хотя книга издана тиражом 100 тыс. экз., на прилавках она не залежалась. Очевидно, вскоре потребуются ее второе издание, дополненное и «освеженное».

Д. И. Бибиков,
доктор биологических наук
Москва

Экология

В. К. Лукашев. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ / Ред. К. И. Лукашев. Минск: Наука и техника, сер. «Человек и среда», 1987. 336 с. Ц. 2 р. 70 к.

Содержание книги относится к новой научной дисциплине — геологии окружающей среды, которая развивается на стыке естественных, технических и социальных наук. Почти все ос-

новные задачи современной геологии, связанные с расширением сырьевой базы и энергетических ресурсов, рациональным использованием минеральных богатств Земли, неотъемлемо сопряжены с проблемами окружающей среды: загрязнением техногенными веществами, захоронением токсичных химических и радиоактивных отходов, устойчивостью хранилищ, почвенной эрозией и др. Для принятия грамотных экологических решений необходимо хорошо знать эволюцию биосферы с момента ее зарождения до наших дней, учитывать факторы, обеспечивающие ее саморазвитие, самоочищение, саморегулирование, изменение экологических систем и ландшафтов и т. д.

Геология окружающей среды теснейшим образом связана с инженерной геологией. Возросшее влияние человека на окружающую среду стало сравнимо с естественными геологическими процессами. В настоящее время 5 % поверхности суши занимают геологические структуры, созданные человеком, прежде всего городская геологическая среда; к концу века она, по-видимому, увеличится до 20 %. Некоторые виды инженерной деятельности (создание крупных водохранилищ, выкачивание подземных жидкостей — воды, нефти и др.) стимулируют развитие в земной коре стихийных бедствий: землетрясений, извержений, а также менее масштабных, но более частых явлений — обвалов, оползней, грязевых потоков. Разумное использование геологической среды предполагает разработку проектов, до минимума сводящих риск стимуляции этих явлений.

Автор рассматривает техногенез как новый геологический фактор взаимодействия человека с окружающей средой, обсуждает критерии и принципы эффективного и рационального природопользования, выявляет геологические и экологические проблемы городов. Рассматриваемые проблемы иллюстрируются многочисленными экологическими примерами.

Книга рассчитана на гео-

логов, географов, экологов и других специалистов в области охраны окружающей среды.

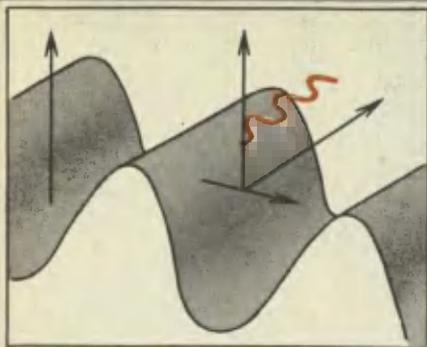
История науки

Я. Фолта, Л. Новы. ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В ДАТАХ. Хронологический обзор / Пер. со словацкого Э. Е. Гельмана. Предисл. и общ. ред. А. Н. Шамина. М.: Прогресс, 1987. 495 с. Ц. 1 р. 60 к.

В этом кратком хронологическом обзоре естествонаучных сведений от первобытных племен до наших дней (обзор завершается 1975 г.) представлено более 2500 исторических фактов — едва ли не максимум того, что может вместить подобное издание справочного характера. Если до сих пор предметом хронологических описаний избирались лишь отдельные области науки, то в данной книге предпринята одна из первых попыток в мировой историографической литературе представить историю развития естествознания в целом в виде путем отбора важнейших научных событий в их хронологической последовательности.

Весьма существенно, что авторы снабдили основной текст синхроническими таблицами, которые дополняют хронологию наглядным сравнением основных фактов развития науки с основными фактами развития общественно-культурной, философской и технической мысли, позволяя тем самым зримее воспринимать условия, в которых формировалось естествонаучное знание.

Книга писалась чехословацкими историками в расчете на читателей своей страны, поэтому в ней хронология чехословацкой науки представлена более подробно, чем хронология науки других стран.

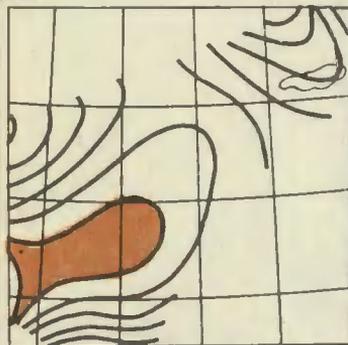


Как сделать ускорители заряженных частиц компактнее? Один из возможных путей — использование мощного электрического поля лазерного излучения.

Горбунов Л. М. УСКОРИТЕЛИ XXI ВЕКА?
(Лазерные методы ускорения частиц в плазме).

Простейшие живые агенты, враги всего живого на Земле, вирусы не могут считаться организмами. Но тем не менее их эволюция подчиняется законам, которые распространяются на любые формы жизни.

Жданов В. М. ЭВОЛЮЦИЯ ВИРУСОВ

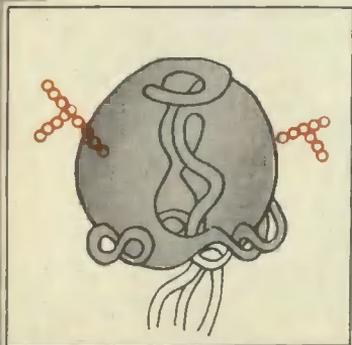


Взрывообразное развитие сейсмологии привело к рождению новой области исследований — структурной геологии глубоких недр. Работы в этой области уже сейчас оказывают влияние на развитие мировой геологической мысли.

Винник Л. П. СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ ГЛУБОКИХ НЕДР ЗЕМЛИ

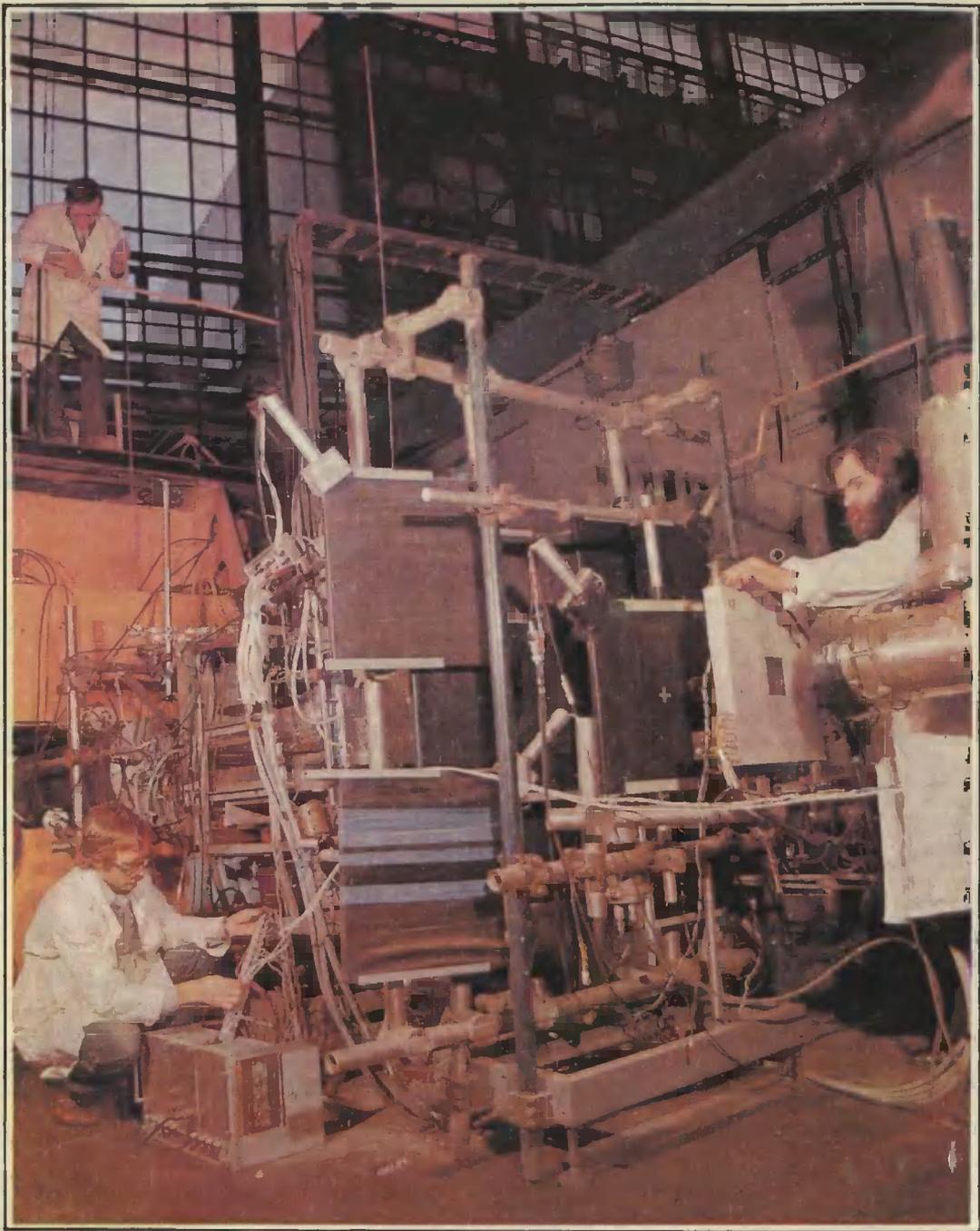
Фрагменты из готовящейся к публикации книги историка генетики А. Е. Гайсиновича «Зарождение и развитие генетики» и материалы из личного архива генетика Ю. Я. Керкиса возвращают читателя к самому тяжелому для отечественной биологии времени.

«ДЕЛА ТОМАТНЫЕ»



Результаты изучения биохимических свойств белков вируса СПИДа сулят многообещающие перспективы диагностики, профилактики и терапии этого грозного заболевания.

Кульберг А. Я. НОВЫЙ ЭТАП В ИЗУЧЕНИИ СПИДА.



Природа, 1988, № 4, 1—128.

Цена 80 к.
Индекс 70707