

ISSN 0032-874X

# 7 ПРИРОДА

1983





## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Заместитель главного редактора  
кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР  
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР  
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР  
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Академик  
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ

Доктор экономических наук  
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь  
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук  
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук  
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР  
А. А. СОЗИНОВ

Академик  
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ

Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

На первой странице обложки. Санно-гусеничный поезд Советской антарктической экспедиции. См. в номере: Дюргерова М. Б. Через Центральную Антарктиду.

Фото М. Б. Дюргерова

На четвертой странице обложки. Незабудка азиатская (*Myosotis asiatica*) на Таймыре. См. в номере: Кожевников Ю. П. В предгорьях и горах Бырранга.

Фото Ю. П. Кожевникова

**В НОМЕРЕ**

<b>Волков Ю. М.</b> МГД-генераторы в исследованиях земной коры	2
<b>Зеленин А. В., Прудовский И. А.</b> Зачем лишать клетку ядра	15
<b>Плетнева С. А.</b> Исчезнувшие народы. Печенеги	26
<b>Кожевников Ю. П.</b> В предгорьях и горах Бырранга	3
<b>Дюргеров М. Б.</b> Через Центральную Антарктиду	42
<b>Иваницкий Г. Р.</b> Пушинский социальный эксперимент	56
<b>Манжелей В. Г.</b> Криокристаллы	64
<b>Щека С. А., Чубаров В. М.</b> Самородное железо в углях Приморья	75
<b>Баткин Л. М.</b> Леонардо да Винчи о бесконечном	76
<b>Перчук Л. Л.</b> Методы термометрии и барометрии в геологии	88
<b>Хаджинуров Н., Солодков В. К.</b> Новый грязевой вулкан на полуострове Челекен	98
<b>НОВОСТИ НАУКИ</b>	<b>100</b>

Автоматическая станция «Астрон» • Спутник «IRAS» • Обнаружен ионосферный полярный ветер • Строение Местного сверхскопления галактик • Компоненты около квазаров • Геологические процессы на Венере • Обнаружена протонная радиоактивность • Первое наблюдение изовекторного монополюсного резонанса • Хранение ультрахолодных нейтронов • Импульсное радиоизлучение при кристаллизации воды • Наблюдение эффекта Агаронова — Бома • Новый вид хроматографии • Защитное действие синтетических антиоксидантов • Липосомы усиливают действие лекарства • Диета и здоровье • Психофизиологические изменения в течение менструального цикла • Новая вирусная инфекция • Профилактика наследственных болезней • Хромосомная дивергенция севанских форелей • Идентифицированы мицелиальные грибы из ледников Антарктики • Профилактика диарреей • Попытка получить азотфиксирующие высшие растения • Искусственное выращивание гинандроморфов у муравьев • Малярия у ящеров • Африканские слоны: их настоящее и будущее • Комплексный контроль нефтяных загрязнений • Экологические последствия использования драг • Метан в окружающей среде • Спрединг и полосовые магнитные аномалии в океанах • Необычное течение в Черном море • Казахстанско-Сибирский ископаемый океан • «Биологические часы» в верхнем докембрие? • Реконструкция истории камчатских вулканов • Температура воздуха на Южном полюсе

**РЕЦЕНЗИИ**

**120**

**Никитин Е. Д., Смирнов П. В.** Жизнь и творчество В. И. Вернадского (на кн.: Мочалов И. И. Владимир Иванович Вернадский). **Цверева Г. К.** Один из старейших в нашей стране (на кн.: История Тартуского университета. 1632—1982)

**НОВЫЕ КНИГИ**

**124**

**Тарасов Л. В.** Этот удивительно симметричный мир • Перспективы квантовой физики • Физика за рубежом • **Андерсон Б.** Определение драгоценных камней • Лес и человек • Системные исследования, методологические проблемы • Ленинградский университет в воспоминаниях современников • **Луцкий В. К.** История астрономических общественных организаций в СССР • **Немировский Е. Л.** Андрей Чохов (около 1545—1629)

**В КОНЦЕ НОМЕРА**

**Михайлов Л. И.** Как ссылаться на других авторов?

**127**

## МГД-генераторы в исследованиях земной коры

Ю. М. Волков



Юрий Михайлович Волков (1935—1982), доктор физико-математических наук. Занимал должность начальника отдела МГД-энергетики в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова. Специалист в области магнитной гидродинамики и физики плазмы. Лауреат Государственной премии СССР (1977).

Как это ни парадоксально, но о ближнем космосе мы сегодня знаем больше, чем о земной коре, и это не случайно. Объект изучения — земная твердь — трудно поддается диагностике, особенно активной. Это связано, с одной стороны, со сложностью самого внутреннего строения Земли, а с другой стороны — с большими затратами энергии, требуемыми на проведение соответствующих «зондирований» сплошной неоднородной толщи горных пород, слагающих Землю (см. табл. 1).

Наиболее развиты в настоящее время сейсмические методы просвечивания земной коры. Они основаны на анализе распространения в Земле упругих волн, возбуждаемых землетрясениями или искусственными источниками (взрывом или мощным вибратором), расположенными на земной поверхности.

В последние десятилетия сейсмический метод разведки занимает ведущее место в разведочной геофизике. Однако одних сейсмических данных явно недостаточно для получения правильной картины структуры земных недр. Это обусловлено тем, что на особенности распространения упругих волн в Земле влияют главным образом механические характеристики пород, а не их вещественный состав. Поэтому чрезвычайно важно сочетать сейсморазведку с другими методами, в частности

электромагнитными и гравиметрическими, более чувствительными к петрофизическим свойствам горных пород.

### ГЕОФИЗИКА И ЭНЕРГЕТИКА

Электромагнитные методы исследования Земли требуют разработки качественно новых приемов интерпретации экспериментальных данных. В отличие от сейсморазведки, здесь нельзя пользоваться методами лучевой оптики: используемое электромагнитное излучение имеет большие длины волн (сотни километров) и распространяется в среде по закону диффузии.

Следует отметить, что за последние десятилетия методика и техника электромагнитного зондирования Земли получили существенное развитие. Были созданы методы частотного и импульсного зондирования Земли, отличающиеся высокой разрешающей способностью. Они позволили значительно повысить глубину проведения исследований, особенно в работах по поиску и разведке месторождений нефти и газа. Интенсивно развивались методы электро-разведки, предназначенные для поиска рудных тел на сравнительно небольших глубинах. Однако, несмотря на достигнутые результаты, существующие методы электромагнитного зондирования все еще не вполне удовлетворяют требованиям,

**Таблица 1**  
**Энергетические потребности современных электромагнитных измерений в геофизике**

Задачи исследований	Типичные глубины, км	Типичные удельные сопротивления, Ом·м	Времена диффузии поля, с	Затраты энергии, МДж
Глубинные структурные исследования кристаллической земной коры (щиты и т. п.) и мантии	30—70	$10^3—10^5$	0,1—10	30—300
Изучение очагов землетрясений	10—40	$10^2—10^3$	0,1—10	3—100
Нефтеразведка в осадочных чехлах и шельфах	3—10	3—30	1—30	10—3000
Разведка крупных рудных полей	1—10	$10—10^3$	0,1—3	0,10—10

предъявляемым к ним практикой геофизической разведки. Причин здесь несколько. Это и сложность решения теоретических задач распространения волн в трехмерных неоднородных средах, каковыми являются толщи горных пород, и недостаточная мощность применяемых сегодня в полевой разведке источников электромагнитного поля, ограничивающая разрешающую способность методов и глубину исследований, и, наконец, отсутствие соответствующей измерительной аппаратуры.

Действительно, величина электромагнитного поля от дипольных источников убывает обратно пропорционально кубу расстояния от них, а время диффузии поля в земные породы пропорционально квадрату расстояния от источника. Следовательно, если мы хотим «пропитать» магнитным полем некий объем пород (причем таким образом, чтобы поле на его границах оставалось достаточно большим по сравнению с шумами), нам необходимо увеличивать мощность источника — пропорционально 6—8-й степени характерного размера объема. Для типичных пород земной коры величина требуемых энергетических затрат составляет около 300—1000 МДж для блока пород с ребром около 40 км. Это сравнительно большая энергия, особенно если учесть, что ее необходимо получить в сложных природных условиях автономно от линий электропередач. Это обстоятельство, с точки зрения автора, существенно сдерживало до последнего времени развитие активных электромагнитных методов исследования земной коры. Появление импульсных автономных МГД-генераторов и их успешное применение в геологии позволяет по-новому взглянуть на эту проблему.

Идея о преимуществах использования МГД-генераторов в геофизике была высказана Е. П. Велиховым в 1971 г. Она заключается в следующем: для получения информации, необходимой для дальнейшей гео-

логической интерпретации, достаточно возбудить зондирующее электромагнитное поле на короткое время, сравнимое со временем диффузии поля в земную кору на необходимую для исследований глубину. К счастью, типичные времена диффузии (так называемые скин-времена) для пород земной коры не превышают десятка секунд. Это позволяет применять короткодействующие импульсные источники тока, а для получения коротких, даже очень мощных импульсов тока можно использовать генерирующие устройства без принудительного охлаждения, т. е. более легкие и простые в эксплуатации. Такими источниками и являются импульсные МГД-генераторы, разработанные в СССР в 60—70-е годы.

Импульсные МГД-генераторы представляют собой пороховые ракетные двигатели со специальной конструкцией сопла и порохом особого состава, дающие струю хорошо проводящей плазмы. При течении этой плазмы по специальному каналу поперек сильного магнитного поля (создаваемого внешними обмотками) в струе, как и во всяком проводящем теле, возникает электродвижущая сила. Между двумя электродами, установленными по бокам канала, появляется разность потенциалов. Она и может быть использована для возбуждения тока во внешней цепи, и в частности для поддержания тока в обмотках, создающих магнитное поле, необходимое для работы самого генератора.

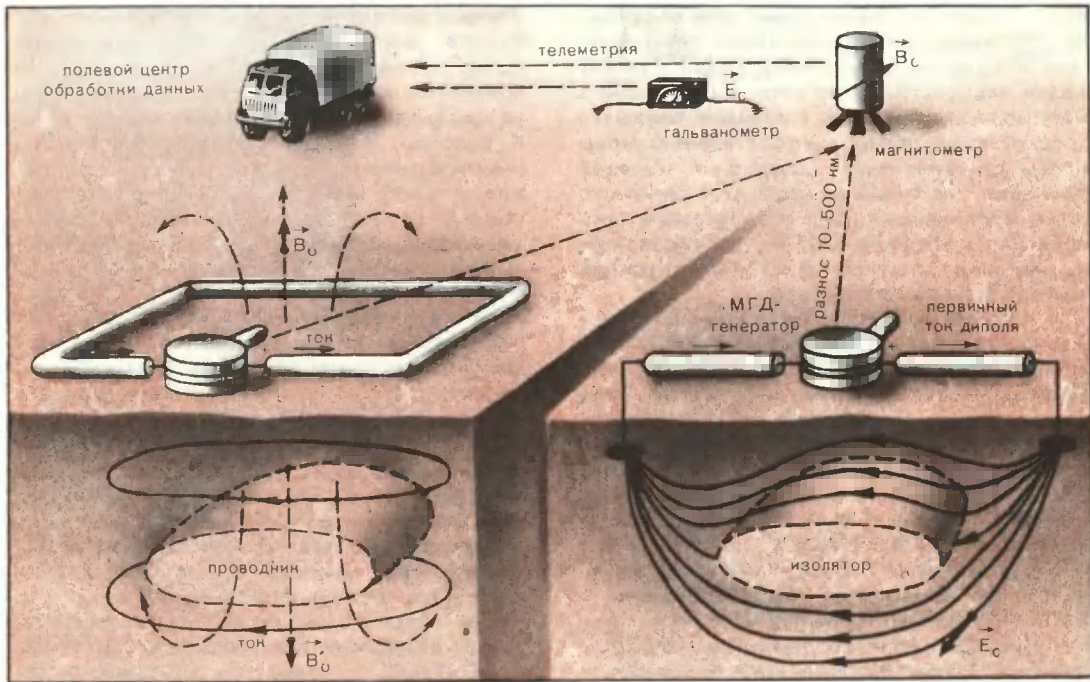
Возникает естественный вопрос: зачем для указанных целей применять мощную «экзотическую» технику, если известно, что полезная информация, получаемая с помощью электромагнитного зондирования, зависит только от полных затрат энергии на проведение сеанса измерений. Можно осуществлять многократные измерения очень слабые сигналов и на фоне сильных шумов накопить необходимую информацию, отфильтровав даже сильные



помехи. Поэтому, казалось бы, достаточно взять сравнительно маломощный генератор и через какое-то время получить то же самое, что и с мощным МГД-генератором.

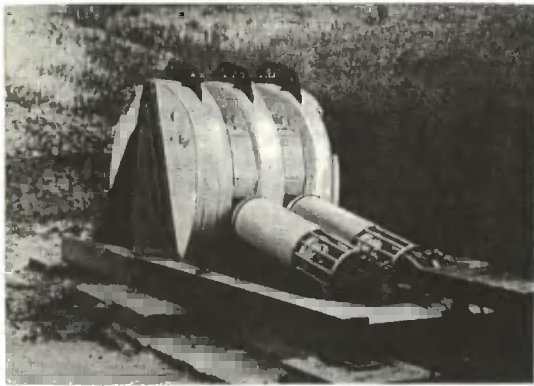
Но такое представление зиждется на опыте работ с помехами, представляющими собой так называемый стационарный «белый шум», когда помехи с равными амплитудами, но разными знаками равновероятны. Однако природные электромагнитные поля-помехи в диапазоне частот порядка  $10^{-3}$ — $10^2$  Гц (интересных с точки

зрения глубинного зондирования) по своим статистическим свойствам весьма далеки от стационарного белого шума. Во-первых, они сильно нестационарны: в разные (близкие) периоды времени их средние амплитуды могут отличаться в десятки тысяч раз. Во-вторых, между помехами, измеренными с интервалом в десятки и даже сотни секунд, часто имеются сильные корреляционные связи, что значительно уменьшает возможность их эффективной фильтрации путем последовательного накопления во вре-



Принципиальная схема электромагнитного зондирования с помощью МГД-генератора. Справа — излучателем является электрический диполь; ток ( $E_0$ ) в этом случае гальванически замыкается через земные породы. Слева — излучатель — магнитный диполь; ток замыкается через кабельную петлю. Под действием магнитного поля  $B_0$  петли с током (пунктиром обозначены силовые линии поля) в проводящих породах возбуждаются индукционные токи, в свою очередь создающие магнитное поле  $B_0'$ . На рисунке схематически показан процесс получения и обработки данных.

мени. В этих условиях длительность сеансов накопления данных при решении многих геофизических задач становится чрезмерно большой. В результате энергетические затраты на проведение эквивалентных сеансов зондирования с мощным единичным импульсом, сразу перекрывающим помехи во много раз, могут быть в сотни раз меньше, чем при использовании метода накопления слабых сигналов. Например, чтобы получить те же по информационному качеству результаты, что и с МГД-генератором мощностью в 25 МВт, работающим в течение 10 секунд, нужно 20—60 суток непрерывной работы со стандартной геофизической техникой мощностью около 30 кВт. Затраты энергии при этом будут при-



МГД-установка «Памир-1» на Гармском геофизическом полигоне Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР (слева). На переднем плане видны два пороховых генератора плазмы с 70 кг топлива в каждом. Они состыкованы с МГД-каналами, размещенными между обмотками, создающими магнитное поле (видны 3 катушки обмотки). Первичный ток создается отдельной батареей конденсаторов. В дальнейшем часть генерируемого тока используется для поддержания тока



в обмотках магнитной системы. Таким образом, установка работает в режиме самовозбуждения. Нужного значения (вплоть до 30 кА) ток достигает примерно за 1 с, после этого подключается зондирующий (или магнитный) диполь. Сигналы от такого МГД-комплекса могут быть приняты на измерительных станциях, удаленных на 40 км. Справа — подвижная установка «Памир-2» в Прикаспии (МГД-генератор установлен на шасси автомобиля КраЗ-257).

мерно в 1000 или даже в 10 000 раз больше. Во столько же раз увеличится объем информации, которую нужно будет обрабатывать, а это уже потребует применения мощных ЭВМ. Все это позволяет рассматривать метод зондирования с помощью мощного однократного импульса поля как самостоятельное направление в инструментальной геофизике, причем чрезвычайно перспективное.

### ИМПУЛЬСНЫЕ МГД-ГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ ГЕОФИЗИКИ

В 1831 г. на берегах Темзы у моста Ватерлоо М. Фарадей установил электроды и подключил переброшенные по мосту провода к гальванометру. Он рассчитывал получить заметный ток, исходя из только что открытого им закона электромагнитной индукции: в проводящей жидкости (ею в данном случае была солоноватая вода Темзы), движущейся в магнитном поле (здесь магнитное поле Земли), должна возникать электродвижущая сила. Она, в свою очередь, должна возбуждать электрический ток в проводниках, соединяющих электроды. Его-то Фарадей и надеялся зафиксировать с помощью гальванометра. Прибор заметных показаний не дал (да и вряд ли существующая тогда техника позволила бы

надежно измерить генерируемые при этом милливольты и миллиамперы). Однако этот «геофизический прибор» уже содержал в себе все элементы современного МГД-генератора и был полным его идейным прообразом.

Все основные физические концепции современных плазменных МГД-генераторов по существу были сформулированы уже в начале XX в. Однако практическая реализация этих идей стала возможной лишь в 60—70-е годы в связи с развитием работ по термоядерному синтезу и ракетостроению. В это время в Советском Союзе (а также в США) было разработано твердое топливо порохового типа, позволившее создать мощные импульсные МГД-установки с уникальными параметрами. Поскольку скорости плазменных потоков при использовании порохового топлива достигают 2—2,5 км/с, а удельная проводимость образовавшейся плазмы составляет 50—100 См/м, то в МГД-генераторе с магнитным полем порядка 2—4 Т удается получать с 1 кг топлива до 1 МДж электрической энергии в полезной нагрузке. Удельная плотность генерируемой мощности достигает при этом  $10^3$  МВт/м<sup>3</sup>. Последняя цифра красноречиво свидетельствует, что такие МГД-генераторы достаточно компактны при огромных мощностях; отношение веса МГД-генератора к его мощности составляет 0,1—1 кг/кВт. Исполь-

Таблица 2  
 Геофизические МГД-установки, разработанные в СССР

Тип МГД-установки	Внутреннее сопротивление, Ом	Затраты топлива в импульсе, т	Длительность импульса, с	Мощность в согласованной нагрузке, МВт	Масса кабеля согласованного диполя, т
«Памир-1»	0,05	0,15	2,5	15	25
«Памир-2»	0,05	0,6	10	15	150
«Урал»	0,03	0,25	2,5	40	40
«Хибины»	0,03	1,5	10	60*	200*
Перспективная подвижная	1,5	0,1	10	5	1—2
Перспективная перевозимая	1,0	0,5	10	25	2—5

\* Данные получены из эксперимента «Хибины»

зую принцип самовозбуждения магнитной системы, предложенный еще в 1856 г. Л. Иедликом, можно использовать часть генерируемого системой тока для питания обмотки своего же магнита. Это делает МГД-генератор полностью автономным от промышленных электросетей. Компактность и автономность таких электрических машин открывают возможности для их использования в самых сложных природных условиях практически в любой точке земного шара. Сейчас созданы две серии мощных МГД-энергоблоков I поколения (см. табл. 2). На их базе созданы стационарные («Памир-1») и подвижные («Памир-2») МГД-установки для прогнозирования землетрясений и геологоразведочных работ. Кроме того, с помощью МГД-установок поставлены крупные геофизические эксперименты по глубинному зондированию Земли: на Урале (МГД-установки «Урал») и на Кольском п-ове (МГД-комплекс «Хибины»). Продолжаются также работы по дальнейшему совершенствованию техники самих геофизических МГД-установок. Дальнейший прогресс здесь связан с повышением генерируемого напряжения, удешевлением используемого топлива и упрощением условий полевой эксплуатации.

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Землетрясение — одно из самых грозных стихийных бедствий, бороться с которым пока еще не научились. В течение последних десятилетий внимание геофизиков направлено как на изучение самого явления, так и на разработку методов предсказания места и времени землетрясений. Следует отметить, что до сих пор

нет единого представления о физике процессов, протекающих в очаге землетрясения. Существующие гипотезы основаны, в сущности, на механических моделях разрушения твердого тела под воздействием экстремальных нагрузок и дополнительного влияния жидкостей на эти процессы. Изучение физики очага землетрясения еще не вышло из стадии накопления фактов, поэтому любые сведения о явлениях, сопровождающих процесс его подготовки, представляют несомненный интерес.

Динамические процессы в земной коре могут быть, в частности, прослежены по изменению во времени ее гидрогеологических и электрофизических характеристик. По-видимому, это связанные процессы, поскольку электрофизические параметры горных пород определяются главным образом их насыщенностью влагой и термодинамическими условиями, а сам минеральный скелет пород представляет собой почти идеальный изолятор. Электропроводность — один из наиболее чувствительных факторов, реагирующих на геодинамические явления. Это есть следствие того факта, что электропроводность зависит от температуры, давления и степени увлажнения пород (причем в последнем случае зависимость экспоненциальная). Это и позволяет использовать вариации электропроводности в качестве признака готовящегося землетрясения. По-видимому, такую возможность впервые отметил О. М. Барсуков (Институт физики земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР), который уже в 60-е годы проводил на Памире периодические электроразондирования и пытался связать результаты исследований с наблюдаемой сейсмической активностью. Однако техника, которой располагал

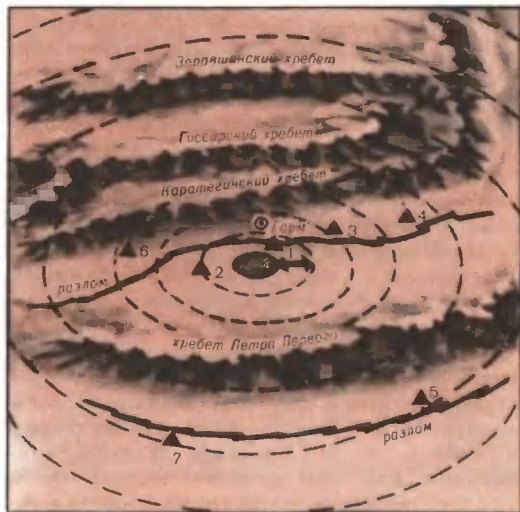


О. М. Барсуков, позволяла контролировать динамику только верхних 2—3 км земной коры. Тем не менее он наблюдал вариации среднего сопротивления в несколько процентов от начального уровня перед землетрясениями 10—12 энергетического класса (энергия, выделяющаяся в очаге,  $10^{10}$ — $10^{12}$  Дж).




В 70-е годы в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова была высказана идея, что можно значительно повысить амплитуду этих вариаций (а следовательно, и чувствительность самого метода), увеличив глубину зондирования так, чтобы захватывались области самого очага (гипоцентра) готовящегося землетрясения, где геодинамические процессы наиболее активны. Очаги землетрясений в условиях Памира располагаются на глубинах 5—20 км, вполне доступных для зондирования мощным МГД-генератором. Такие работы в Гармском районе Таджикской ССР были начаты в 1973 г. совместно Институтом физики Земли и Институтом атомной энергии. В них использовалась МГД-установка «Памир-1». Она размещалась на высоте 2500 м над ур. м. на склоне хребта Петра Первого, а измерения велись на сейсмостанциях Института физики Земли. Запуски и измерения проводились два раза в месяц, из-за труднодоступности района — в основном летом и осенью. Измерения показали, что, действительно, амплитуда вариаций сопротивления крупных блоков земной коры (с характерными размерами порядка  $100 \times 100$  км) увеличивается почти в десять раз (для землетрясений 12—13 класса до 30%). Заметные изменения сопротивления перед готовящимся землетрясением такой энергии начинались за несколько месяцев до события. Более того, оказалось, что начало вариаций сопротивления (оно здесь всегда уменьшалось перед землетрясением) как бы перемещается в пространстве от будущего эпицентра к периферии со скоростью около 1 км/сут. После землетрясения происходит обратный процесс, причем время восстановления первоначального уровня сопротивления зависит от класса землетрясения. Анализ таких событий осложнен тем, что вариации от разных одновременно готовящихся землетрясений суммируются.

Есть основания ожидать, что при достаточно густой сети и большой продолжительности систематических наблюдений можно выделить процессы, протекающие в разных гипоцентрах, и предсказать место и время предстоящих землетрясений. Для этого в наиболее сейсмоопасных областях

необходимо организовать специальные прогнозные полигоны, оснащенные как мощной энергетической техникой, так и приемно-обрабатывающими комплексами на базе современной автоматической измерительной аппаратуры и ЭВМ. Такой комплекс мог бы состоять из мощного (около 25 МВт) стационарного МГД-генератора, работающего до 3 раз в месяц, и менее мощного (около 5 МВт) подвижного МГД-генератора, который бы выезжал для проведения детальных исследований на ме-



Распространение вариации среднего сопротивления крупных блоков земной коры ( $30 \times 30$  км) в Гармском р-не Таджикской ССР при подготовке землетрясения 11 класса (19 января 1976 г.) с очагом на глубине 6 км и магнитудой  $M=4,3$ . Сопротивление начинает убывать последовательно на станциях 1—7, процесс распространяется со скоростью  $0,7 \pm 0,2$  км/сут.

-  Очаг землетрясения
-  Измерительные станции
-  Электрический диполь

сто будущего эпицентра, как только стационарный комплекс начал регистрировать подготовку землетрясения, особенно на периферии района. МГД-генератор с мощностью в 25 МВт дает возможность уверенно контролировать район площадью около  $100 \times 100$  км. Таким образом, даже для крупных сейсмоактивных зон необходи-

мо всего несколько таких комплексов, взаимно дополняющих друг друга. В настоящее время Институтом высоких температур, Институтом физики Земли и Институтом атомной энергии проводятся работы по созданию таких опытно-методических полигонов в Киргизии, Узбекистане и Таджикистане.

### ГЛУБИННОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ НА УРАЛЕ

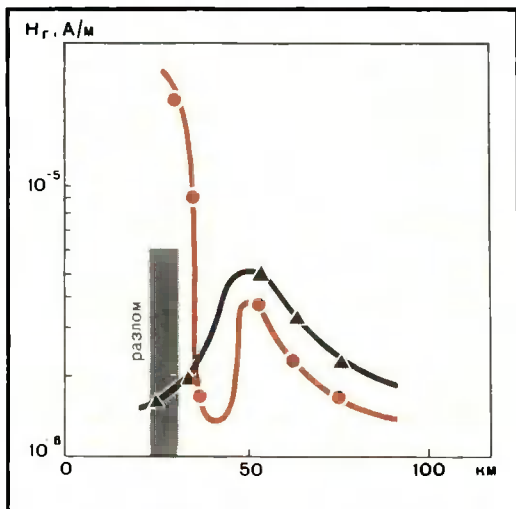
Изучение электропроводности земной коры и верхней мантии необходимо для дальнейшего развития фундаментальной геологии. Кроме того, выявление глубинных неоднородностей, в частности погребенных разломов земной коры, является основой для планомерной разведки полезных ископаемых. В связи с этим в последнее время геофизики уделяют большое внимание детальному изучению геоэлектрического строения земной коры. В 50—70-х годах эти работы, как правило, проводились либо с большими батареями аккумуляторов, либо с линиями электропередач.

Здесь уместно отметить, что впервые глубинное зондирование с помощью искусственных источников тока (аккумуляторы и электрический диполь) было осуществлено в 1946 г. А. П. Краевым. В этом уникальном для того времени эксперименте удалось провести измерения сигналов в условиях, когда источник тока и приемник были разнесены на 74 км. Работы велись в районе Финского залива. Было показано, что до глубин 10—20 км земная кора представляет собой хороший изолятор со средним удельным сопротивлением около  $10^4$  Ом·м; проводимость пород на больших глубинах резко увеличивается — среднее удельное сопротивление падает примерно в 100 раз. В дальнейшем аналогичные результаты были получены в экспериментах, проведенных в других районах СССР и за рубежом.

Работы с источниками, создающими магнитное поле, начались еще в конце 70-х годов. В СССР (1975) применялся МГД-генератор, а в США (1977) — мало мощный (10 кВт) источник тока, возбуждающий магнитный момент, равный  $7 \cdot 10^7$  А·м<sup>2</sup>. В американских экспериментах измерения проводились непрерывно в течение недели с непосредственным вводом данных сразу в мощную ЭВМ. При этом удалось измерить сигналы лишь на расстояниях до 30—50 км от источника поля. На больших расстояниях (90 км) за недель-

ный цикл измерений был получен только сигнал, сравнимый с электромагнитными помехами.

Отметим, что когда верхний слой складывается из пород с большим удельным сопротивлением, применение электрического излучателя поля малоэффективно, поскольку основной ток концентрируется в самых верхних слоях осадочных пород. В этих условиях магнитный излучатель значительно эффективнее, так как переменное магнитное поле свободно проникает



Зависимость горизонтальной компоненты магнитного поля ( $H_g$ ) от расстояния между источником и излучателем (эксперимент «Урал»). На субмеридиональном профиле (цветная линия) обнаружен скрытый в земной коре разлом, который резко увеличил горизонтальную компоненту поля на этом профиле в связи с концентрацией токов в нем. На субширотном профиле (черная кривая) компонента магнитного поля сначала закономерно возрастает с увеличением расстояния, а затем падает по закону  $r^{-3}$  [в соответствии с таким же уменьшением амплитуды полного поля].

сквозь породы с большим сопротивлением и индуцирует токи в находящих под ними породах с низким сопротивлением. В 1975 г. по инициативе Ю. П. Булашевича (Институт геофизики Уральского научного центра АН СССР) в Зауралье был поставлен эксперимент по глубинному электромагнитному зондированию. В нем использовался мощный МГД-генератор типа «Урал» с магнитным диполем, представляющим собой прямоугольную рамку (пло-

щадь в  $1 \text{ км}^2$ ) из алюминиевого кабеля сечением в  $40 \text{ см}^2$ . В петле возбуждался ток силой до  $40\,000 \text{ А}$ ; соответственно магнитный момент излучателя составил  $4 \cdot 10^{10} \text{ А} \cdot \text{м}^2$  — это примерно на 3—4 порядка выше достигнутых ранее величин.

Измерения проводились в 19 различных точках на двух профилях — субширотном и субмеридиональном. Расстояние между источником и приемником достигало  $80 \text{ км}$ . Применялась частотно-избирательная измерительная аппаратура, настроенная на максимумы первых гармоник импульсных сигналов вертикального и горизонтального магнитных полей, а также азимутального электрического поля в точках измерения. В экспериментах была выявлена существенная анизотропия поверхностных отложений по меридиональной и широтной трассам. В то же время распределение электропроводности на больших глубинах оказалось более или менее однородным. Об этом свидетельствовал тот факт, что магнитные составляющие поля по обеим трассам были соизмеримы. Анализ полученных данных показал, что геоэлектрический разрез всей толщи земной коры в Зауралье по субмеридиональному профилю можно представить в виде трехслойной среды. Верхний слой — осадочные породы с продольной проводимостью около  $0,5 \text{ См}$ ; средний слой — коренные породы с высоким удельным сопротивлением (около  $10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ), простирающиеся на глубину  $35\text{—}40 \text{ км}$ , и третий слой пород с низким сопротивлением, порядка  $10^3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Это свидетельствует в пользу того, что в нижних слоях земной коры происходят изменения физического состояния ювенильных растворов, возможно, обусловленные повышением степени диссоциации связанных молекул воды (дегидратацией).

Второй интересный результат экспериментов — обнаружение скрытого разлома в земной коре на субширотном профиле. Он выявился по резкому минимуму горизонтальных составляющих магнитного поля при разносе источника и приемника на расстояние  $30 \text{ км}$ . Применение маломощных источников тока и МГД-генераторов позволило провести измерения соответственно на малых и больших глубинах. Это дало возможность определить, что разлом имеет восточное падение под углом около  $45^\circ$ , простирается на глубину до  $10 \text{ км}$  и имеет суммарную проводимость около  $100 \text{ См}$ .

Уральские эксперименты с МГД-генератором не только продемонстрировали возможность глубинного зондирования

земной коры, но и показали, что данные, полученные таким методом, представляют несомненный интерес как для фундаментальной, так и для практической геологии.

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ХИБИНЫ»

Опыт работ с МГД-генератором на Урале показал, что в полевых условиях сооружение магнитного диполя, согласо-



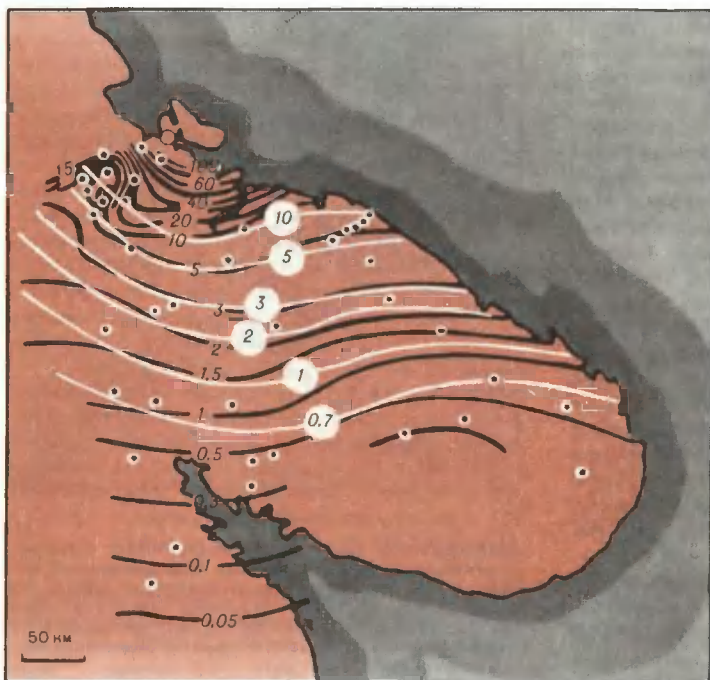
Распределение тока в море вокруг п-ова Рыбачий, полученное путем физического моделирования. Основной ток сосредоточен у береговой линии, но значительная его часть проникает далеко в море (на расстояние порядка  $100 \text{ км}$ ), быстро убывая по мере удаления от берега. Цифрами указаны значения тока в амперах.

ванного с малым внутренним сопротивлением мощного МГД-генератора, представляет собой довольно сложную инженерную задачу. Дальнейший рост дипольного момента возможен только путем увеличения массы кабеля, из которого сделан диполь, и его размеров. В 1975 г. Е. П. Велиховым и автором было предложено использовать в качестве мощного «кабеля» морскую береговую линию полуостровов.



Из-за скин-эффекта ток в таком «кабеле» не сразу растекается в море, а какое-то время сосредоточен у берега в виде огромной токовой петли, излучающей сильное электромагнитное поле. Металлический кабель в этом случае нужен только для того, чтобы поместить клеммы генератора в заливы. Такой эксперимент (условное наименование «Хибины») был начат в конце 1975 г. на Кольском п-ове.

МГД-генератор «Хибины» представлял собой две спаренные установки



Изодинамы (линии равной напряженности) вертикальной компоненты магнитного поля на территории Кольского п-ова [эксперимент «Хибины»]. При физическом моделировании, когда Кольский п-ов рассматривается как однородный изолятор, изодинамы более или менее эквидистантны (белые линии). В действительности наблюдаются резкие отклонения от подобного распределения поля (черные линии). Это имеет место в районах крупных рудных залежей (Печенгский и Имандра-Варзугский регионы). Точками обозначены пункты, где проводились измерения (1976—1981 гг.); цифры на изодинамах соответствуют напряженности поля в нанотеслах.

типа «Урал», одна из них после запуска служила источником питания для обеих магнитных систем генераторов, а с МГД-канала другой, работающей в режиме внешнего возбуждения, снимался ток в море. Установка «Хибины» была расположена на узком 8-километровом перешейке между полуостровами Средний и Рыбачий; кабель с положительным потенциалом опускался в бухту Кутовую, с отрицательным потенциалом — в Малую Волоковую. При максимальном значении тока сопротивление нагрузки достигало 90 МОм (из них 30 МОм приходилось на кабель), а индуктивность контура была равна 50 мГ. Измерения показали, что эффективный магнитный мо-

мент при токе в 22 000 А составлял около  $2 \cdot 10^{14}$  А · м<sup>2</sup> — в 5000 раз больше, чем на Урале! Это означает, что эквивалентная площадь токовой струи в море была порядка  $10^4$  км<sup>2</sup>. Чтобы создать подобный излучатель на суше, понадобилось бы более 7000 т металла. Использование такого уникального источника электромагнитного поля дало возможность измерять излучаемые сигналы на расстояниях до 750 км от п-ова Рыбачий и уверенно проводить измерения на всей территории Кольского п-ова

(расстояние между источником и приемником до 450 км).

В настоящее время выполнено 110 регистраций сигналов в 75 пунктах на территории Кольского п-ова и Карелии.

Следует отметить, что в отличие от обычного контура с током морской токовой контур меняет свои свойства во времени, так как ток диффундирует от береговой линии в море, занимая все большее пространство. Сопротивление и индуктивность такого контура растут во времени и в максимуме достигают указанных выше величин. Этот динамический контур излучает магнитный поток, примерно равный  $3 \cdot 10^{-3}$  Т · м<sup>2</sup>. Он пересекает поверх-

ность Земли снизу вверх на территории п-ова Рыбачий и сверху вниз на остальной территории Кольского п-ова. В момент обрыва генерируемого тока в море примерно на 15 секунд возникает гигантская замкнутая петля с током. В это время направление магнитного потока на п-ове Рыбачий меняется на обратное. Когда значение поля максимально, в ионосфере на высоте порядка 100 км возбуждается магнитное поле около 3—10 нТ. Изменение этого поля вызывает в ионосфере наведенные

следует учитывать. Как видно, новый масштаб эксперимента не только открывает широкие возможности для проведения детального зондирования всей территории Кольского п-ова, но и ставит перед исследователями новые проблемы.

Первым шагом в эксперименте «Хибины» было создание физической модели такого динамического контура, в которой Кольский п-ов рассматривался как идеальный изолятор. На основе этой модели изучались пространственно-временные рас-

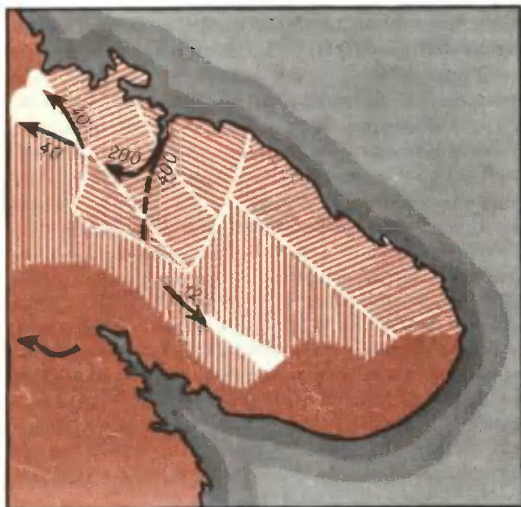
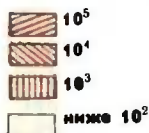


Схема проводящих блоков и каналов тока (черные линии со стрелками) в земной коре Кольского п-ова, определенных по данным МГД-зондирования. Полная сила тока в эксперименте составляла 20 000 А; цифры соответствуют ориентировочным значениям токов (в амперах) в проводящих каналах, стрелки указывают на направления токов в них.

Электрическое сопротивление блоков, Ом · м



токи. Магнитный поток с п-ова Рыбачий «просачивается» в ионосферу в течение 1—2 секунд, что сравнимо с длительностью фронта импульса тока. Следовательно, возбуждаемое магнитное поле уже может экранироваться ионосферой, и этот эффект

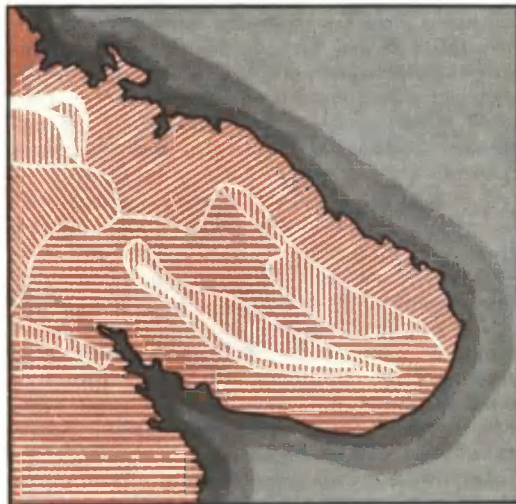


Схема продольной проводимости ( $\sigma$ ) верхней 10-километровой толщи земной коры Кольского п-ова по данным МГД-зондирования. ( $\sigma$  связана с удельным сопротивлением  $\rho$  соотношением  $\sigma = h/\rho$ , где  $h$  — глубина проводящего слоя).

Продольная проводимость блоков, сименсы



пределения тока в море и вертикальной компоненты магнитного поля. Результаты моделирования сравнивались с натурными измерениями электромагнитного поля, что и позволяло выявить, насколько Кольский п-ов отличается от идеального изоля-



тора. Оказалось, что распределение плотности тока хорошо согласуется с модельным, в то время как действительное распределение электромагнитного поля резко от него отличается. В частности, в районах крупных рудных залежей (Печенгский и Имандра-Варзугский регионы) наблюдается сгущение линий магнитного поля, причем оно особенно сильное на линиях горизонтального электрического поля. Анализ распределения изодинам (линий равной напряженности поля), проведенный с учетом известных геологических особенностей района, позволил выделить на территории Кольского п-ова около 10 крупных (50×50 км) блоков земной коры, резко различающихся по средней электропроводности. Так, например, крупный Мурманский блок, сложенный древними архейскими породами, имеет очень высокое среднее сопротивление (порядка  $10^5$  —  $10^6$  Ом·м), тогда как Печенгские структуры обладают сопротивлением примерно в 1000 раз меньшим. Это дает возможность достаточно точно выделить резкие глубинные неоднородности пород древнего Балтийского щита. Кроме того, на основании полученных данных удалось составить карту-схему продольной проводимости верхней десятикилометровой толщи земной коры Кольского п-ова. Такая карта представляет несомненный интерес для разведки полезных ископаемых. На карте хорошо выделяются оба известных крыла Печенгской никеленосной структуры, а также узкая длинная полоса хороших проводников, простирающаяся от Имандра-Варзуги до Мончегорского массива. Хорошие поверхностные проводники обрамляют также плохопроводящие поверхностные породы Мурманского блока.

По характеру распределения импульсов поля в коренных породах были выделены протяженные каналы, хорошо проводящие ток. С таким явлением геологи столкнулись впервые. Оказалось, что существует канал, в котором сила тока достигает 200 А (при токе в море до 20 000 А); он начинается в области Кольского залива и направлен в район Печенги (ток при этом течет в западном направлении). Кроме того, обнаружен проводящий канал в районе Имандра-Варзуги, по которому ток течет в восточном направлении и достигает значения 10 А. Возможно, существует еще один канал в районе Кандалакши. Удалось выяснить, что проводящие каналы, обрамляющие Печенгскую никеленосную структуру с севера и с юга, независимы. Следовательно, эта структура состоит из

двух независимых частей. В эксперименте удалось оценить, на какой глубине они достигают максимального простираения.

Мы упоминали, что в таких крупномасштабных экспериментах ионосфера оказывает существенное влияние на характер распределения поля в пространстве. В свою очередь, и излучаемое поле может действовать на процессы, протекающие в ионосфере, что дает возможность ставить активные эксперименты по ее изучению. В 1977 г. по инициативе О. М. Распопова и др. (Полярный геофизический институт Кольского филиала АН СССР, Институт земного магнетизма и распространения радиоволн АН СССР) был осуществлен комплекс наблюдений за полярной ионосферой при пусках МГД-генератора. Помимо оптических наблюдений с самолета, он включал также измерения магнитных вариаций, вертикальное зондирование ионосферы, изучение рассеяния коротких электромагнитных волн на неоднородностях ионосферы и т. п. Был обнаружен четкий эффект возникновения в ионосфере спорадического E-слоя (второго по высоте ионизованного слоя). Через 8 секунд после импульса МГД-генератора E-слой расслаивался, причем верхняя его часть поднималась вертикально на 30—40 км. Дополнительный слой существовал около 2 минут, затем снова опускался и исчезал. Это явление было четко локализовано над п-овом Рыбачий и наблюдалось вплоть до Мурманска.

Таким образом, МГД-установка на п-ове Рыбачий, создающая мощную токовую струю в море, представляет собою уникальный физический прибор, позволяющий исследовать не только глубинные слои земной коры, но и проводить активные ионосферные исследования.

## ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ С МГД-ГЕНЕРАТОРАМИ

Разведка полезных ископаемых с помощью электромагнитного зондирования (электроразведка) в настоящее время наиболее широко используется геологами при поиске рудных тел, залегающих на небольших глубинах. Что касается поисков нефти и газа, то здесь электроразведка только начинает применяться. Это связано с тем, что нефтегазовые залежи располагаются, как правило, под мощными слоями хорошо проводящих осадочных пород, трудно «пробиваемых» с помощью обычных (маломощных) источников тока. Следовательно, для электроразведки нефти и газа необходимы большие затраты энергии, и использо-

вание мощных МГД-генераторов в этом случае особенно перспективно.

Мы расскажем о двух работах по разработке геологоразведочных методов поиска полезных ископаемых, проводимых с помощью МГД-генераторов.

Первая работа была выполнена на Урале в 1975 г. по инициативе Н. А. Иванова и его сотрудников (Институт геофизики Уральского научного центра АН СССР). Ее задачей было определение магнитной восприимчивости горных пород в естественном залегании. Полученные данные использовались для выявления перспективности промышленной разработки залежей магнетитов, вызывающих известные магнитные аномалии, и определения, рудные эти залежи или нет.

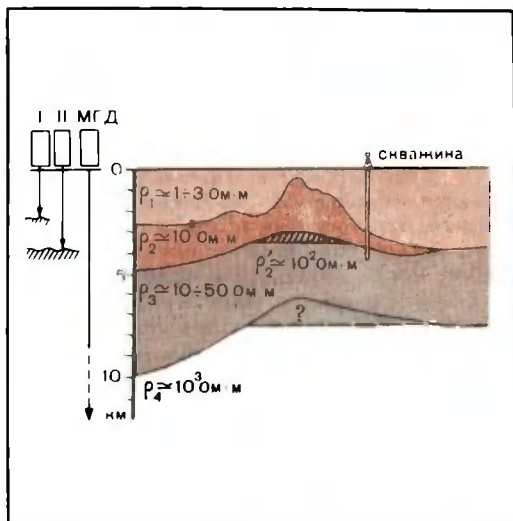
В этих исследованиях, которые проводились по методу искусственного подмагничивания пород полем МГД-источника, применялась МГД-установка «Урал». Осуществлялось подмагничивание пород известной магнитной аномалии, расположенной на расстоянии 4260 м от центра диполя, где возбуждаемое магнитное поле составляло около 50 нТ. Три измерителя были расположены на изодинаме поля таким образом, чтобы один из них оказался в эпицентре аномалии, а два других — вдали от него. В первом пуске МГД-генератора крайние измерители включались дифференциально, так чтобы компенсировать поле источника и вихревых токов в наносах над залежью магнетитов. При втором пуске использовались датчик в эпицентре, и один из боковых датчиков. Таким образом, было измерено поле подмагничивания интенсивностью в 1,3 нТ. Размеры аномалии известны, а наведенное поле пропорционально возбуждаемому полю и магнитной восприимчивости пород залежи. Точность определения величины магнитной восприимчивости определялась степенью компенсации первичного поля и составляла около 3%. Полученные данные хорошо согласуются со значениями магнитной восприимчивости, определенными методом магнитного зондирования и с помощью измерений на извлеченных породах.

Важно подчеркнуть, что в описанном эксперименте поле, достаточное для подмагничивания, охватывало площадь до 200 м<sup>2</sup>. Это позволяло проводить исследования аномалий в самых труднодоступных местах (болота и т. п.) без перемещения источника. Кроме того, такие условия дают возможность значительно увеличить глубину поиска — до 1,5—2 км, еще доступ-

ных для современной горнодобывающей промышленности. Применение МГД-источника «Хибины» даст возможность увеличить площадь зондирования до 10 000 км<sup>2</sup>.

В 1978 г. на Астраханском своде Прикаспийской впадины начались опытно-методические работы по изучению перспективности применения мощных МГД-генераторов для поисков нефти и газа (эксперимент «Прикаспий»).

Основные задачи состояли в детальном изучении структуры подсоловых отло-



Обобщенный геоэлектрический разрез района газоконденсатной залежи в Прикаспии. Слева указаны глубины, доступные исследованиям маломощными источниками тока (I — ток 30—40 А, II — 80—100 А) и МГД-генераторами (1000—5000 А).

- Глины, песок
- Соль
- Газоконденсатная залежь
- Подсоловые породы
- Фундамент

жений, где бурением была обнаружена мощная газоконденсатная залежь, а также в оценке возможностей определения коллекторских свойств вмещающих пород и оконтуривания перспективных на нефть и газ площадей. Проблема усложнялась тем, что известный из данных по бурению геоэлектрический разрез оказался чрезвы-

чайно сложным для электроразведочных работ, поскольку удельное сопротивление подсолевого комплекса, сложенного терригенными толщами, очень мало — около 2—10 Ом·м, а мощность его достигает 4 км. Солевой же комплекс (купол), состоящий из сульфидных и карбонатных пород, наоборот, имеет достаточно высокое сопротивление (более 100 Ом·м). Под ним располагается тонкий (около 100 м) слой известняков, где и находится изучаемая залежь. В этом случае для получения требуемой точности измерений необходимо затратить не менее 30—100 МДж энергии. Даже используя метод накопления сигналов, мы не смогли бы с помощью обычных генераторных установок мощностью в 80 кВт получить информацию о породах, лежащих ниже соляного купола — на глубине около 3—4 км.

В эксперименте «Прикаспий» использовался подвижный МГД-комплекс «Памир-2», дополненный устройством для резкого обрыва тока. Оно необходимо для тех работ, когда наблюдение ведется лишь за индуцированными в земных породах полями, существующими после выключения тока в генераторе (причем, тем больше, чем выше проводимость пород).

Для хорошего согласования генератора и нагрузки был сооружен электрический диполь длиной 15 км из алюминиевого кабеля общей массой 150 т. Концы диполя подключались к артезианским скважинам, что позволило получить малое полное сопротивление диполя — около 0,13 Ом. При токе 8000 А электрический дипольный момент составлял  $1,2 \cdot 10^8$  А·м — это примерно в 100 раз больше значения, полученного с такой же установкой на Памире, и в 10 000 раз больше, чем получается при использовании стандартных геофизических генераторов.

В эксперименте впервые оценены суммарная мощность и проводимость всей осадочной толщи Астраханского свода, получены новые подробные данные об особенностях геоэлектрического строения подсолевых горизонтов, выявлены неизвестные ранее глубинные проводящие слои и т. д.

Приведенные примеры при всем своем разнообразии далеко не исчерпывают возможностей применения МГД-генераторов в геофизике. Так, МГД-генераторы пока еще не опробованы в методе вызванной поляризации, широко используемом в рудной разведке, недостаточно проработан во-

прос о создании мощных виброрейсмических источников на базе МГД-генераторов, не проведены работы по поиску высоко-термальных областей в земной коре и т. п.

Перспективность использования МГД-генераторов для геофизических исследований выдвигает, помимо всего, задачи по совершенствованию этих установок. В частности, на повестке дня стоит создание МГД-установок II поколения с облегченными кабельными системами, более простыми и экономичными в эксплуатации, специализированных измерительных станций и полевых центров обработки данных. С такими комплексами реально детальное исследование больших площадей, перспективных в смысле полезных ископаемых, вплоть до картирования глубинных разломов земной коры на всей территории Советского Союза, постановка крупных активных ионосферных экспериментов и т. п.

В заключение коротко остановимся на возможностях проведения крупного геофизического эксперимента на о-ве Сахалин, который позволил бы исследовать геоэлектрическое строение практически всей доступной для бурения шельфовой зоны Охотского моря, а также провести разведку рудных ископаемых на восточном побережье материка. Если расположить мощный МГД-генератор на узком перешейке п-ова Шмидта и пустить ток в море, как это делается в эксперименте «Хибины», то возбудится электромагнитное поле довольно сложной структуры, поскольку ток будет обтекать не только п-ов Шмидта, но и о-в Сахалин с юга. С помощью физического моделирования удалось показать, что при этом образуются 4 «лепестка» изодинам электромагнитного поля, два из которых будут повторять форму береговой линии о-ва Сахалин. Согласно оценкам для проведения такого эксперимента понадобится МГД-генератор мощностью в 250 МВт. Тогда при импульсе длительностью в 10 секунд практически во всей интересной шельфовой зоне будет магнитное поле напряженностью  $10^3$  нТл при токе в море 50—60 кА.

## Зачем лишать клетку ядра

А. В. Зеленин, И. А. Прудовский



Александр Владимирович Зеленин, доктор биологических наук, заведующий лабораторией функциональной морфологии хромосом Института молекулярной биологии АН СССР. Специалист в области цитологии и цитохимии, прежде всего флуоресцентной. В последние годы активно работает в области гибридизации клеток. Автор монографий: Люминесцентная цитохимия нуклеиновых кислот. М., 1967; Взаимодействие аминопроизводных акридина с клеткой. М., 1971; Реконструированная клетка. М., 1982 (в соавторстве с А. А. Куц и И. А. Прудовским).



Игорь Александрович Прудовский, кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Специалист в области цитологии. Основные работы связаны с гибридизацией и реконструкцией клеток и изучением ядерно-цитоплазматических отношений. Соавтор монографии: Реконструированная клетка. М., 1982.

На общедоступном языке мы можем назвать ядро администратором клетки. Две главные черты роднят его с наиболее известными администраторами: оно стремится плодить себе подобных и успешно отражает все наши попытки узнать, чем же именно оно занимается. Только попытавшись обойтись без него, мы обнаруживаем, что оно действительно работает. Д. Мэзия

Строчки, взятые в качестве эпиграфа к этой статье и принадлежащие известному американскому биологу Дэниэлу Мэзии, достаточно известны. В сборнике «Физики продолжают шутить» они были приведены как пример иронической оценки роли бюрократического аппарата, управляющего наукой. Однако, строго говоря, высказыва-

ние имеет иной смысл. В 1956 г., когда была опубликована книга, из которой взята цитата, роль ядра в жизнедеятельности клетки была понятна лишь в самых общих

<sup>1</sup> M a z i a D. Biological structure and function. L.— N. Y., 1956.

чертах: ядро определялось как «вместилище генетической информации клетки».

За прошедшие четверть века наши сведения о функции ядра сильно расширились. Сейчас известно, как считывается ядерная генетическая информация, в какой форме она поступает в цитоплазму и как там реализуется в структуре белков. В последнее время становится ясно, как факторы внешней среды влияют на функцию ядерного генетического аппарата клетки. Например, частично расшифрованы молекулярные механизмы действия некоторых естественных регуляторов (в первую очередь — стероидных гормонов), с помощью которых эти вещества, действующие на клетку из окружающей ее среды, изменяют активность соответствующих ядерных генов.

Однако многие вопросы, касающиеся функций ядра, и в особенности «разделения обязанностей» между ядром и цитоплазмой, остаются еще неясными или, по крайней мере, оставались таковыми до самого последнего времени. Блестящие успехи в изучении реализации наследственной информации, к сожалению, дали один нежелательный побочный эффект: они создали ходячее представление о том, что цитоплазма — лишь пассивный исполнитель идущих от ядра приказов, закодированных в форме матричных РНК (мРНК). Многие факты, однако, противоречат такому упрощенному представлению. Так, еще в 30-х годах Г. Хеммерлинг продемонстрировал высокую автономию цитоплазмы гигантской одноклеточной водоросли ацетабулярии: после удаления ядра цитоплазма сохраняла способность к образованию типичного для данной водоросли «зонтика»<sup>2</sup>. Долго оставалось совершенно неясным, какова степень автономии цитоплазмы клеток многоклеточных организмов. Правда, некоторые косвенные данные позволяли в какой-то мере оценить и ее. Например, известно, что соматические (неполовые) клетки многоклеточных на многие внешние воздействия реагируют в считанные минуты. Трудно представить себе, чтобы этого времени хватило для поступления сигнала в ядро, синтеза нужных мРНК, их перехода в цитоплазму и образования закодированных в них белков. Вероятнее всего, эти данные говорят о значительной самостоятельности цитоплазмы соматических клеток во «внешних

делах». В пользу автономии цитоплазмы свидетельствуют также некоторые биохимические факты, доказывающие возможность регуляции синтеза белков не только при синтезе мРНК на ДНК (т. е. на уровне транскрипции), но и при считывании белков с мРНК (т. е. на уровне трансляции).

В цитоплазме существуют органеллы, обладающие собственным геномом, например митохондрии, а в растительных клетках еще и хлоропласты. По-видимому, работа этих органелл регулируется не только ядерными, но и собственными генами.

Скорее всего, автономия цитоплазмы не ограничивается лишь осуществлением ряда клеточных функций без непосредственного участия ядра. Чтобы клетка работала эффективно, необходима двусторонняя связь между ядром и цитоплазмой. По-видимому, цитоплазма содержит многочисленные факторы, способные проникать в ядро и изменять активность ядерных генов.

Какие же вопросы стоят перед исследователями, занимающимися сегодня проблемами автономии цитоплазмы? Вот некоторые из них.

Насколько необходима постоянная работа ядра для поддержания в норме функций и структуры отдельных цитоплазматических органелл и цитоплазмы в целом?

В каких случаях цитоплазма может обходиться без «указки сверху» и, не прибегая к помощи ядра, самостоятельно отвечать на внешние воздействия?

Существуют ли цитоплазматические регуляторы, способные задать ядру другую программу, приводящую к стабильному, наследуемому изменению свойств клеток?

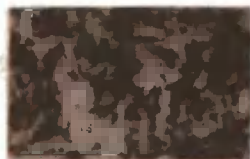
Существуют ли цитоплазматические факторы, способные реактивировать покоящийся хроматин и восстанавливать синтез ДНК в ядрах неделящихся клеток?

## УДАЛЕНИЕ КЛЕТОЧНОГО ЯДРА

Перечисленные проблемы возникли не сегодня и даже не вчера. Они были поставлены развитием цитологии, генетики и эмбриологии еще в первой четверти нашего века. Наиболее прямым и перспективным подходом к их решению, как стало ясно уже в те годы, могли быть опыты по удалению ядер (энуклеации) и по их пересадке. В течение по крайней мере 50 лет клеточными ядрами манипулировали только с помощью микрохирургических

<sup>2</sup> Hämmerling G.— Biol. Zbl., 1934, В. 54, S. 650.

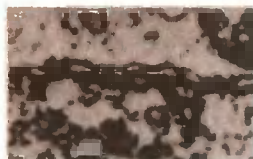




1 Хроматин



2 Ядрышко



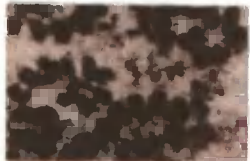
3 Ядерная оболочка



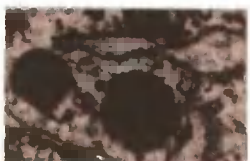
4. Ядерная пора



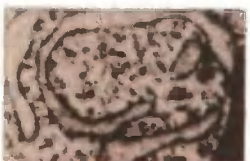
5. Плазматическая мембрана



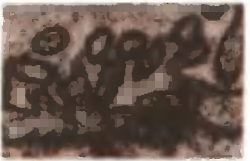
7 Полирибосома



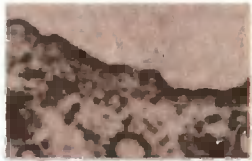
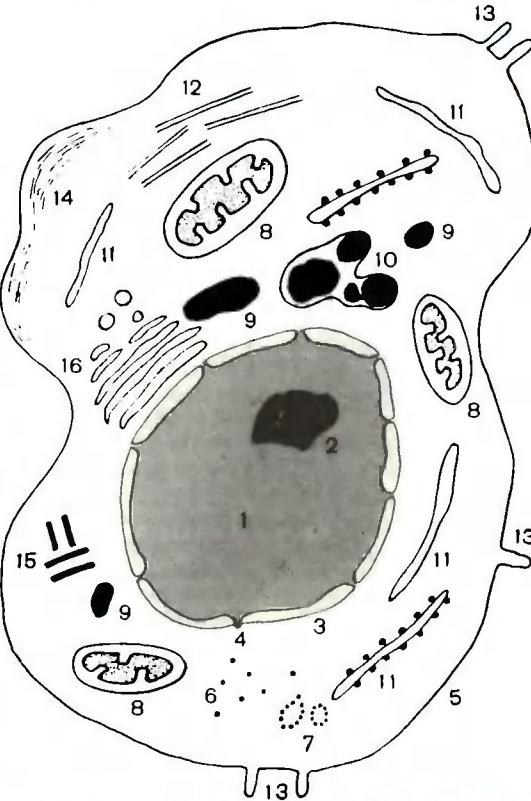
9 Лизосома



11 Канальцы эндоплазматической сети



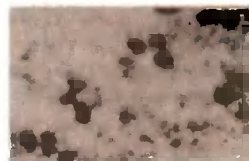
13 Микроворсинки



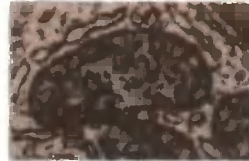
14 Субплазмалемное сплетение микрофиламентов



15 Центриоли



6. Рибосома



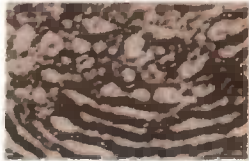
8. Митохондрия



10 Аутофагосома



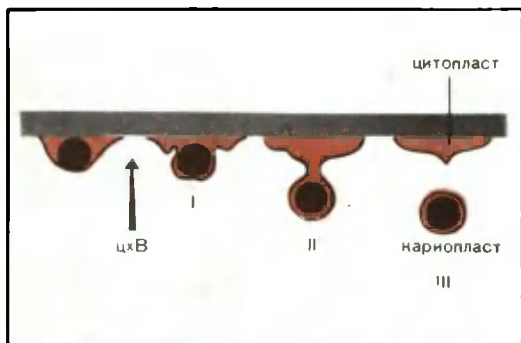
12 Микротрубочки



16 Аппарат Гольджи

Схема общего строения клетки [в центре] и электронные микрофотографии клеточных органелл. 1 — хроматин, 2 — ядрышко, 3 — ядерная оболочка, 4 — ядерная пора, 5 — плазматическая мембрана, [плазмалемма], 6 — рибосомы, 7 — полирибосомы, 8 — митохондрия, 9 — лизосома, 10 — аутофагосома, 11 — канальцы эндоплазматической сети, 12 — микротрубочки, 13 — микроворсинки, 14 — субплазмалемное сплетение микрофиламентов, 15 — центриоли, 16 — аппарат Гольджи.

методов, которые широко используются и в наше время. Но микрохирургия — чрезвычайно кропотливое и трудоемкое занятие. Особенно трудно механически удалить ядра из мелких соматических клеток. Поэтому излюбленные объекты «микрохирургов» — гигантские клетки: амеба, одноклеточная водоросль ацетабулярия, яйцеклетки амфибий. Однако результаты, получаемые на этих специфических объектах, можно лишь с большой осторожностью переносить на соматичес-



Энуклеация клеток, вызванная цитохалазином В (цхВ): сначала ядро выпячивается (I), затем оно подвигается на цитоплазматической перетяжке (II), потом перетяжка разрывается, и в результате клетки делятся на цитопласт и нариопласт (III).

кие клетки многоклеточных организмов. Ацетабулярия, например, содержит необычайно высокостабильные мРНК, а генетическая емкость ДНК ее хлоропластов гораздо больше, чем хлоропластной ДНК высших растений. Кроме того, микрохирургические методы имеют низкий количественный выход: в лучшем случае несколько сотен безъядерных клеток. Наконец, довольно грубые механические воздействия вызывают необратимое повреждение значительной части клеток.

Чтобы «оперировать» соматические клетки, нужны были специальные методы. Они появились, как это обычно и бывает, неожиданно, в результате случайного наблюдения. В 1966 г. английский исследователь С. Картер испытывал на культуре мышинных клеток биологическое действие нового гетероциклического соединения цитохалазина В, продукта жизнедеятельности

грибка *Helminthosporium dematioides*<sup>3</sup>. Он обнаружил, что при длительном действии цитохалазина ядра выбрасывались из части клеток культуры и получались безъядерные клетки (цитопласты), а также ядра, окруженные тонким ободком цитоплазмы и плазматической мембраной (кариопласты). Картер сумел оценить методическое значение своего наблюдения и предположил, что цитохалазин В можно будет применять для удаления ядер. И действительно, в 1972 г. Д. Прескотт (США), используя

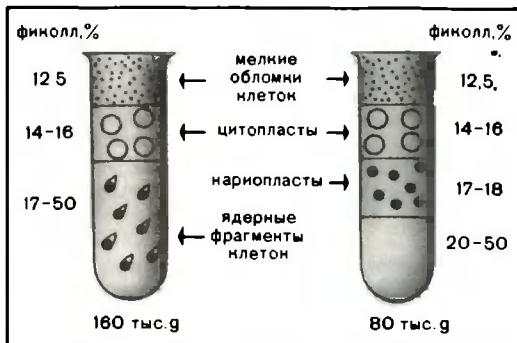


Схема энуклеации клеток при центрифугировании с разным ускорением [g] в градиенте плотности полисахарида фикола, содержащем (справа) и не содержащем (слева) цитохалазин В.

свойства цитохалазина В; предложил метод массового удаления ядер<sup>4</sup>. Клетки культуры, растущие на твердой подложке, центрифугируют в среде, содержащей цитохалазин. При этом центробежная сила «помогает» цитохалазину, и 99% клеток лишается ядер. Цитопласты остаются на подложке, а кариопласты оседают на дно центрифужной пробирки. Немного позже стало ясно, что цитопласты можно получать также путем центрифугирования клеток в градиентах плотности, содержащих цитохалазин. В этом случае ядро и цитоплазма стремятся перейти в зоны своей плотности,

<sup>3</sup> Carter S. B.— Nature, 1967, v. 213, p. 169.

<sup>4</sup> Prescott D. M., Myerson D., Wallace G.— Exp. Cell Res., 1972, v. 71, p. 480.

и в результате клетка разделяется на цитопласт и карнопласт.

Механизм биологического действия цитохалазина В стал понятен лишь 3—4 года назад. В клетках под плазматической мембраной находится сплетение микрофиламентов, состоящих из белка актина. Эти образования обеспечивают активное движение клеток и позволяют сохранять нормальную форму клетки. В клетках, обработанных цитохалазином, резко изменяется структура сплетения микрофиламентов, в ней появляются бреши. Оказалось, что цитохалазин В, присоединяясь к растущему концу актинового микрофиламента, блокирует полимеризацию актина. Из плазматических мембран выделили особый белковый комплекс, содержащий актин. Добавление этого комплекса в раствор мономерного актина стимулирует образование микрофиламентов. Комплекс, связанный с цитохалазином, неспособен вызвать полимеризацию актина. Вероятно, цитохалазин инактивирует находящиеся в плазмалемме участки, ответственные за образование актиновых микрофиламентов, поэтому и появляются бреши в субплазмалемном сплетении. Повреждая сплетение микрофиламентов, цитохалазин подавляет движение клеток, фагоцитоз и разделение цитоплазмы при митозе, а также особым образом изменяет форму клеток. Клетка при этом как бы «расслабляется» (отсюда происхождение слова «цитохалазин»: «цитос» — по-гречески клетка, «халазис» — расслабление), утрачивает жесткость и становится более «текучей». Ее ядро легко выбрасывается под действием внутриклеточного гидростатического давления. Если дополнить действие цитохалазина центрифугированием, то энуклеация станет практически неизбежной. Эффекты цитохалазина В обратимы: обработанные им клетки в чистой среде быстро восстанавливают нормальную форму, вновь способны к движению, фагоцитозу и т. д.

Недавно стало ясно, что удалять ядра из протопластов (растительных клеток, лишенных целлюлозной оболочки) можно и без помощи цитохалазина В, только за счет действия центробежной силы<sup>5</sup>. Сначала

казалось, что столь простой метод годится лишь для клеток растений. Действительно, разница в плотности между ядром и цитоплазмой растительного протопласта весьма велика, потому что большую часть цитоплазмы занимает огромная вакуоль. Вскоре, однако, мы обнаружили, что таким способом можно удалять ядра и из клеток животных<sup>6</sup>. Обычно для 100%-ного получения безъядерных клеток животных в градиенте плотности фиколла, содержащем цитохалазин В, достаточно ускорения около 70 тыс. g. Уже при этом ускорении небольшая часть клеток отдает свои ядра и без цитохалазина. Когда мы увеличили ускорение до 160 тыс. g, большинство клеток лишилось ядер без помощи цитохалазина.

«Безцитохалазиновые» цитопласты в среднем несколько меньше обычных, поскольку в ядерном фрагменте остается больше цитоплазмы, чем в случае использования цитохалазина. В то же время их жизнеспособность не ниже, чем у обычных цитопластов. Очевидно, что основной фактор, приводящий к разделению цитоплазмы и ядра соматических клеток, — центробежная сила, а цитохалазин лишь способствует этому процессу. Будущее покажет, смогут ли «безцитохалазиновые» цитопласты полностью или хотя бы в какой-то степени заменить цитопласты, полученные с помощью цитохалазина В.

Появление новых несложных методов удаления ядер во многом облегчило задачу исследователей и позволило ответить на многие интересующие их вопросы.

## ЖИЗНЬ ЦИТОПЛАЗМЫ БЕЗ ЯДРА

Безъядерные соматические клетки животных в первые часы после удаления ядра «чувствуют себя» вполне хорошо. Сама по себе процедура разделения не отражается на них сколько-нибудь заметно. В электронном микроскопе видно, что ультраструктура свежих цитопластов не отличается от тонкого строения цитоплазмы исходных ядерных клеток: все клеточные органеллы — митохондрии, лизосомы, канальцы эндоплазматической сети, центриолы выглядят совершенно нормально<sup>7</sup>. Ри-

<sup>5</sup> Разработка методов массовой энуклеации растительных клеток открывает возможности для расширения работ по клеточной инженерии растений. Как известно читателям «Природы», такие работы в широком масштабе ведутся в лаборатории Р. Г. Бутенко (Бутенко Р. Г., Шамина З. Б. — Природа, 1970, № 12, с. 18).

<sup>6</sup> Егоров Е. Е., Прудовский И. А., Зеленин А. В. — Доклады АН СССР, 1982, т. 264, с. 969.

<sup>7</sup> Прудовский И. А., Зеленин А. В. — Цитология, 1978, т. 20, с. 952.

босомы в цитопластах собраны в полирибосомы, что говорит об интенсивном синтезе белка.

Однако через 4—8 часов после энуклеации в цитопластах происходит первое заметное изменение: часть полирибосом распадается на отдельные рибосомы. В это же время примерно на 50% снижается включение в цитопласты меченых аминокислот. Угасание синтеза продолжается и далее: уже через 24 часа включение аминокислот в белки составляет всего около 10% от исходного уровня. Снижение синтеза белка вызвано, по всей видимости, распадом имеющихся в цитопластах молекул РНК, в первую очередь матричных. В поздние сроки после энуклеации трансляция идет, очевидно, на наиболее долгоживущих матрицах.

Время жизни цитопластов хорошо определяется с помощью окрашивания основными красителями, например акридиновым оранжевым. Известно, что живые клетки накапливают этот краситель в лизосомах, а мертвые окрашиваются диффузно. Оказывается, большинство цитопластов погибает на вторые сутки после удаления ядра. Примерно треть безъядерных клеток все еще остается живыми через 48 часов. Однако белки в них уже не синтезируются. По-видимому, они сохраняют жизнеспособность за счет ранее синтезированных белков.

В стареющих цитопластах через 24 часа после удаления ядра заметны серьезные изменения ультраструктуры: резко увеличивается число аутофагосом — оргanelл, отвечающих за самопереваривание клетки; раздуваются цистерны аппарата Гольджи и каналы эндоплазматической сети; в то же время митохондрии и центриоли изменяются сравнительно мало (вероятно, они в наименьшей степени зависят от работы клеточного ядра). Остается неясным, наличием ли собственного генома определяется малая изменчивость митохондрий. Первичная причина гибели цитопластов — это, скорее всего, деградация цитоплазматических РНК, вызывающая, в свою очередь, угасание белкового синтеза. Увеличение числа аутофагосом, которое мы наблюдали через 24 часа после удаления ядра — неспецифическое изменение, происходящее при самых разных внутриклеточных патологических процессах. Некоторые косвенные данные позволяют думать, что цитопласты окончательно гибнут в результате разрыва мембран аутофагосом и выхода из них литических ферментов, разрушающих клетку. К этому вопросу мы еще вернемся. Сейчас же уместно отметить следующее. Микрохи-

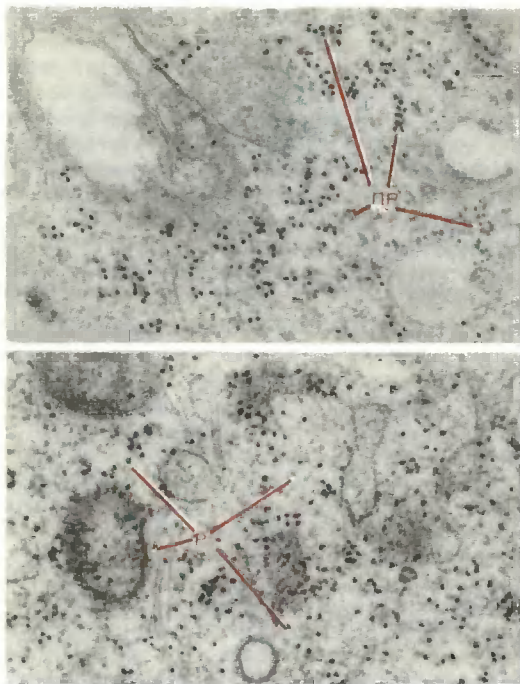
рургические эксперименты на ацетабуляриях показали, что цитоплазма этих клеток обладает высокой автономией. Безъядерные ацетабулярии живут целых три месяца! Это связано с существованием в ацетабулярии особых долгоживущих мРНК. В цитоплазме безъядерных соматических клеток млекопитающих либо вовсе нет подобных молекул мРНК, либо их очень мало.

## НА ЧТО СПОСОБНА КЛЕТКА, ЛИШЕННАЯ ЯДРА

Несмотря на свою недолговечность, цитопласты отличаются достаточно независимым поведением. Они могут двигаться и, подобно ядерным клеткам, перемещаться по твердой подложке. Если перевести их в суспензию, отделив от подложки с помощью трипсина, они вновь прикрепятся к твердому субстрату и распластаются на нем. Интересно, что цитопласты, полученные из злокачественных клеток, располагаются на подложке в несколько слоев, как и исходные ядерные клетки. В то же время нормальные безъядерные клетки распределяются строго однослойно.

Итак, ясно, что для движения клеток, прикрепления их к твердой поверхности и для контактного торможения, свойственного нормальным клеткам, не требуется непосредственного участия ядра. Цитоплазматические системы, обеспечивающие эти процессы, могут самостоятельно воспринимать соответствующие внешние сигналы (контакты с подложкой, с другими клетками) и давать на них соответствующие ответы, не обращаясь за инструкциями к ядру. В состав этих систем, очевидно, входят поверхностные рецепторы. В качестве эффекторов во всех рассмотренных случаях выступают прежде всего элементы цитоскелета и клеточного сократительного аппарата: микротрубочки, микрофиламенты и, возможно, так называемые промежуточные филаменты. Пока, правда, неясно, как осуществляется связь между рецепторами и эффекторами.

Есть и другие данные о высокой степени автономии цитоскелета и сократительного аппарата. Безъядерные клетки некоторых культур, подобно целым клеткам, реагируют на обработку циклическим аденозинмонофосфатом (цАМФ) изменением формы. Так, безъядерные клетки нейробластомы (опухоль нервной системы) под действием цАМФ образуют многочисленные выросты, напоминающие нейриты. Известно, что для формирования таких выростов нужна перестройка цитоскелета.



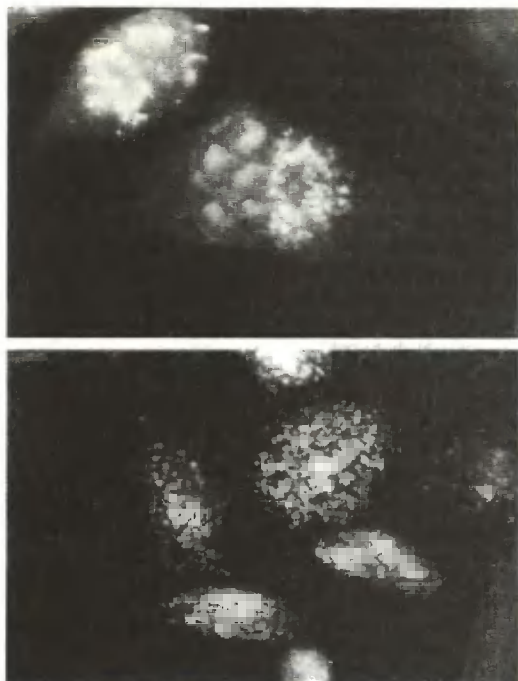
Электронная микрофотография полирибосом в цитопластах. Вверху — 1 час после энуклеации, большинство рибосом собраны в полирибосомы (ПР); внизу — 4 часа после энуклеации, полирибосомы начинают распадаться на отдельные рибосомы (Р).

Цитопласты, полученные из куриных фибробластов, трансформированных вирусом саркомы Рауса термочувствительного штамма, подобно целым клеткам, отвечают на изменения температуры. При понижении температуры до  $34^{\circ}$  они проявляют типичные свойства трансформированных клеток: на поверхности образуются многочисленные выпячивания, а актиновые микрофиламенты располагаются хаотически.

Если цитопласты обрабатывать колцемидом (веществом, разрушающим микротрубочки), то в них, как и в целых клетках, «исчезает» цитоскелет. Когда колцемид удаляют из среды, в цитопластах довольно быстро восстанавливается трехмерная сеть микротрубочек. Эти данные говорят о способности цитоскелета к быстрой самоорганизации, идущей без участия клеточного ядра.

### ЦИТОПЛАСТЫ И ГОРМОНЫ

Сейчас общепризнанно, что действие как пептидных, так и стероидных гормо-



Люминесцентная микрофотография нефиксированных цитопластов, окрашенных акридиновым оранжевым. Цитопласты (внизу), как и целые живые клетки (вверху), накапливают краситель в лизосомах (яркие гранулы).

нов состоит в изменении активности специфических ядерных генов. Опыты на цитопластах наглядно подтверждают это. Например, стероидный гормон дексаметазон неспособен индуцировать синтез фермента тирозинаминотрансферазы в безъядерных клетках печени.

В то же время известно, что некоторые гормоны, кроме основных специфических изменений, вызывают в клетках дополнительные неспецифические изменения. С помощью цитопластов продемонстрировано, что клетка может неспецифически реагировать на гормоны на уровне цитоплазмы без участия ядра. Так, инсулин и дексаметазон резко усиливают включение меченых аминокислот в белки цитопластов. Возможно, эти гормоны участвуют в регуляции синтеза белка. Некоторые неспецифические эффекты гормонов, для проявления которых не нужно ядро, судя по всему, осуществляются элементами цитоскелета.



## ЦИТОПЛАСТЫ И АНТИБИОТИКИ

При использовании антибиотиков, действующих на ядра эукариотических клеток, часто возникает вопрос о специфичности их действия, т. е. ингибирует ли антибиотик только определенный внутриядерный процесс (синтез ДНК, синтез РНК), или же он может также непосредственно действовать на цитоплазматические процессы.

Один из примеров успешного использования цитопластов для решения задач подобного типа — уточнение механизма действия антибиотика актиномицина D. Это вещество — один из наиболее распространенных агентов для вмешательства в процессы биосинтеза. Установлено, что в клетке актиномицин D связывается с ДНК и прекращает или резко замедляет синтез РНК, что в конечном итоге тормозит синтез белка. В литературе, однако, неоднократно высказывалось мнение, что актиномицин D может иметь несколько точек приложения в клетке; в частности, что он прямо подавляет синтез белка. В связи с этим возникли сомнения в возможности однозначной интерпретации результатов, полученных с помощью этого вещества. Опыты с цитопластами дали ответ на этот вопрос<sup>8</sup>. Были получены цитопласты из лимфоцитов и испытано действие на них актиномицина D. Выяснилось, что в безъядерных клетках это вещество не оказывает никакого эффекта на синтез белка. Таким образом, сомнения в специфичности актиномицина как ингибитора синтеза РНК в клетке были, в основном, отброшены.

## ИММУНИЗАЦИЯ ЦИТОПЛАСТАМИ

Особый интерес представляет использование цитопластов для противоопухолевой иммунизации. К. Сети и Х. Брандис иммунизировали мышей безъядерными опухолевыми клетками и в 95% случаев получали у них стойкий иммунитет к соответствующей опухоли: при последующем введении ядерных опухолевых клеток опухоли не образовывались<sup>9</sup>. Такой иммунитет специфичен: мыши, им обладающие, были восприимчивы к опухолям других типов. Инъекция опухолевых клеток, убитых

ультрафиолетовым облучением или нагреванием, к появлению противоопухолевого иммунитета не приводила. Судя по всему, при этих обработках повреждаются (или маскируются) поверхностные антигены, специфические для опухолевых клеток. Удаление ядра, напротив, не только не влияет на эти антигены, но и делает иммунизацию безопасной, так как безъядерные клетки, естественно, неспособны размножаться и, тем более, образовывать опухоли.

## ЦИТОПЛАСТЫ В ВИРУСОЛОГИИ

Вирусы, поражающие клетки животных, по-разному размножаются внутри клетки: иногда для их размножения необходима работа ядра клетки-хозяина, иногда — нет. Опыты с цитопластами позволили четко разделить вирусы по этому признаку на две группы: вирусы, полноценно размножающиеся в цитопластах, с образованием инфекционных вирионов, и не способные к этому. Всего было изучено около 30 вирусов. В обеих группах имеются как ДНК-, так и РНК-содержащие вирусы. Мы думаем, что тест «размножение в цитопластах» станет одним из обычных методов вирусологии.

## РЕКОНСТРУИРОВАННЫЕ КЛЕТКИ

Массовые методы используют сейчас не только для удаления клеточных ядер, но и для их пересадки в опытах по реконструкции клеток (в результате слияния кариопласта и цитопласта с помощью вируса Сендай или полиэтиленгликоля можно получить реконструированную, или воссозданную клетку).

Реконструированные клетки, удобная модель для изучения цитоплазматической наследственности в соматических клетках. Раньше о цитоплазматическом характере наследования судили в основном по косвенным показателям, например по неменделевскому расщеплению при половой гибридизации. Реконструкция клеток — прямой подход к определению характера наследования признаков, однако признаков не целого организма, а клетки.

В первых же опытах по реконструкции было продемонстрировано, что ядро и цитоплазма, принадлежащие к клеткам разных культур, можно объединить во вполне жизнеспособную клетку.

Если ввести покоящееся ядро высококодифференцированной неделящейся клетки в цитоплазму активно делящейся клетки культуры, то произойдет реактивация ядра:

<sup>8</sup> Cooper H. L., Brawerman R.— Nature, 1977, v. 269, p. 527.

<sup>9</sup> Sethi K. K., Brandis H.— J. Nat. Canc. Inst., 1974, v. 53, p. 1175.

синтез РНК возобновится или усилится, хроматин деконденсируется. Это значит, что в цитоплазме активно делящихся клеток присутствуют регуляторы активности ядра. Работы такого рода были проделаны на куриных эритроцитах Н. Рингерцом и соавторами<sup>10</sup> и на лейкоцитах брюшной полости в нашей лаборатории<sup>11</sup>.

Митохондрии — единственные цитоплазматические органеллы животных клеток, о которых достоверно известно, что они содержат собственный геном. Правда, в

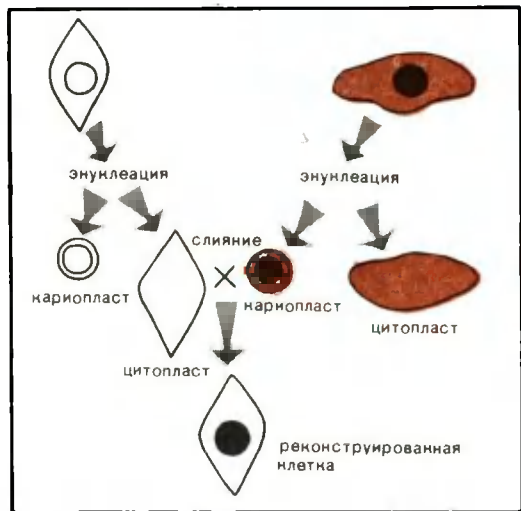


Схема получения реконструированных клеток.

этом геноме закодировано всего 10% митохондриальных белков, информация о прочих белках записана в ядре. Тем не менее на реконструированных клетках показано, что по крайней мере десять признаков соматических клеток млекопитающих определяются митохондриальными генами. В основном — это устойчивость к разным антибиотикам.

В старой и современной литературе есть косвенные данные о том, что цито-

плазма соматических клеток содержит факторы, способные перестроить программу ядра так, что изменятся дифференцировка клетки, ее способность к размножению и образованию опухолей. Опыты на реконструированных клетках дают новые возможности для исследования этого вопроса.

Начнем с клеточного старения. Известно, что соединительнотканые клетки (фибробласты) можно пересаживать в культуре лишь 50—60 раз, после чего они прекращают делиться и погибают. Этот феномен называют программированной смертью клеток. В опытах Л. Хейфлика и соавторов было обнаружено, что ядро старого фибробласта не восстанавливает свою способность к размножению, если поместить его в цитоплазму молодой клетки<sup>12</sup>. Это, казалось бы, говорит о том, что клеточное старение определяется ядерными факторами. В то же время реконструированная клетка, полученная в результате слияния «молодого» ядра и «старого» цитопласта, делает гораздо меньше делений, чем молодая родительская клетка. Значит, цитоплазма старого фибробласта содержит некие факторы (этот расплывчатый термин нам и далее придется употреблять), снижающие способность молодого ядра к размножению.

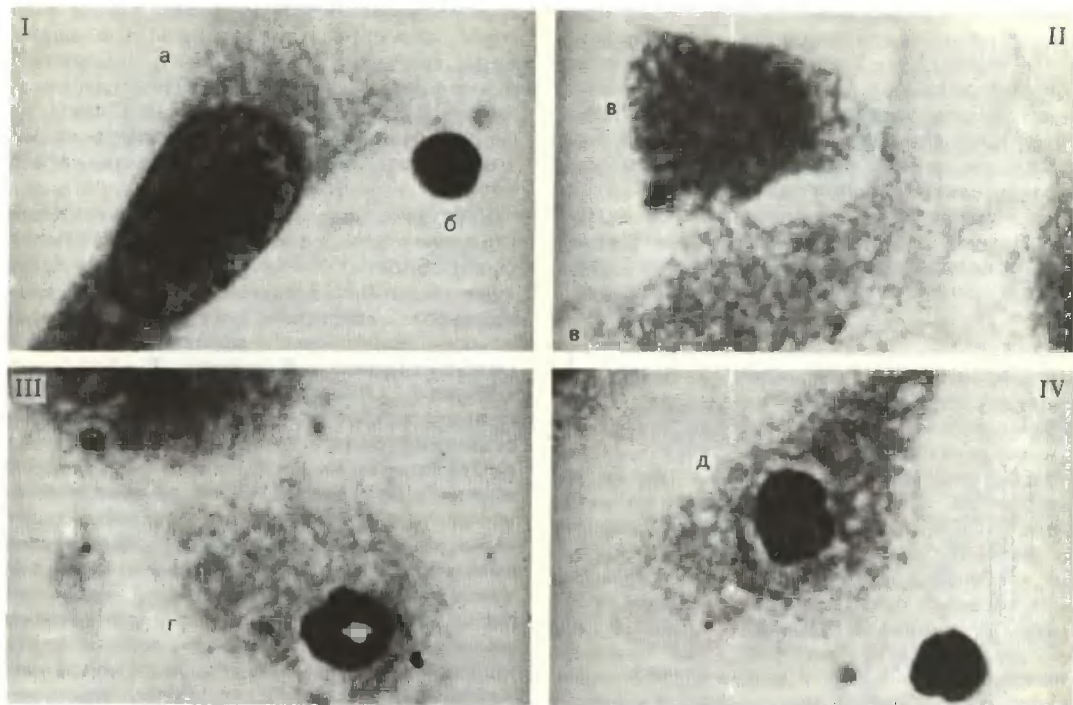
Исследования дифференцировки с помощью клеточной реконструкции дали разноречивые результаты. В этих работах комбинировали цитопласты дифференцированных клеток с кариопластами недифференцированных клеток и наоборот. Оказалось, что цитоплазма не может ни подавить, ни навязать такие признаки дифференцировки, как синтез пигмента меланина или усиленная продукция мышечных белков. Вместе с тем через цитоплазму дифференцированных клеток можно передать способность к резкому усилению синтеза ферментов тирозинаминотрансферазы и фенилаланингидроксилазы. Цитоплазма недифференцированных клеток подавляет синтез гемоглобина, а также образование некоторых стероидных гормонов. Эти изменения клеточных свойств были прослежены на протяжении по крайней мере 50 клеточных поколений<sup>13</sup>.

<sup>10</sup> Рингерц Н., Сэвидж Р. Гибридные клетки. М., 1979; Ege T., Zeuthen G., Ringertz N. R. — *Somat. Cell Genet.*, 1975, v. 1, p. 65.

<sup>11</sup> Kushch A. A., Prudovski I. A., Zelenin A. V. — *Cytobiologie*, 1978, v. 18, p. 59.

<sup>12</sup> Wright W., Hayflick L. — *Exp. Cell Res.*, 1975, v. 96, p. 113; Muggleton-Harris A., Hayflick L. — *Exp. Cell Res.*, 1976, v. 103, p. 321.

<sup>13</sup> Lipsich L. A., Kates J. R., Lucas J. J. — *Nature*, 1979, v. 281, p. 74.



Реконструкция клетки. I — партнеры по реконструкции: мышечная клетка культуры (а) и лейкоцит из брюшной полости мыши (б). II — цитопласты, полученные из клеток культуры (в). III и IV — реконструированные клетки, состоящие из цитоплазмы клеток культуры и ядер сегмента ядерного (г) и мононуклеарного (д) лейкоцитов.

Интересны исследования злокачественности, выполненные на реконструированных клетках. Ни в одном случае, даже если в опыт брали клетки опухолей заведомо вирусного происхождения, не было обнаружено цитоплазматической передачи злокачественности. Зато цитоплазма нормальных клеток часто снижала злокачественность опухолевых ядер, причем в разной степени — от увеличения латентного периода (с момента введения животным той же линии до образования опухоли) вплоть до полной потери опухолевых свойств.

Естественно возникает вопрос: что это за цитоплазматические факторы, которые стабильно изменяют важные клеточные свойства. Ответа на него пока нет. Ясно, во всяком случае, что это не долгоживущие матричные РНК, подобные тем, которые имеются в цитоплазме аце-

табулярии. Внутриклеточная концентрация мРНК, даже если допустить их невероятную стабильность и высокое исходное содержание, уже в клетках десятого поколения была бы совершенно ничтожной.

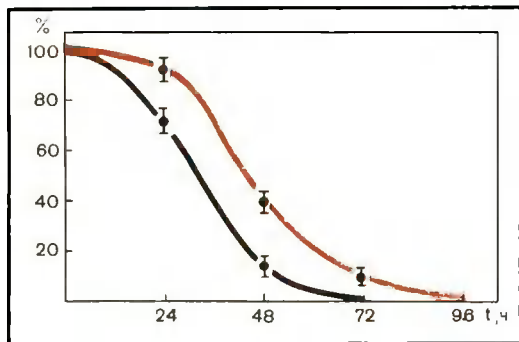
Если эти загадочные факторы являются нуклеиновыми кислотами (РНК или ДНК), то можно предположить, что они способны воспроизводиться в цитоплазме на собственных матрицах. Соответствующий этому случаю тип регуляции ядерной активности можно было бы назвать «плазмидным». Возможен, однако, и еще один тип регуляции, «эпигенетический». В этом случае цитоплазматические факторы (будь то нуклеиновые кислоты или белки) действуют на ядро двояким образом. Прежде всего они прямо или косвенно изменяют активность определенных ядерных генов, что вызывает появление новых клеточных свойств. Однако кроме этого они (опять-таки прямо или косвенно) активизируют и ядерные гены, ответственные за синтез самих факторов, т. е. способны к автоиндукции. Благодаря автоиндукции регуляторных факторов, новоприобретенное состояние может стабильно наследоваться. Можно надеяться, что в ближайшее время будут предприняты попытки выделить и описать регуляторные цитоплазматические факторы.

Существуют и другие проблемы, ре-

шению которых могут способствовать опыты на реконструированных клетках. Читателя, интересующегося такими проблемами, мы отсылаем к нашей книге<sup>14</sup>.

### КАК ПРОДЛИТЬ ЖИЗНЬ ЦИТОПЛАСТОВ?

Напомним, что время жизни цитопластов, полученных из соматических клеток, равно 1—2 суткам и лишь в первые часы они живут полноценной жизнью. Хотя этот



Увеличение продолжительности жизни цитопластов в среде, обогащенной неделящимися клетками. Черная кривая — контроль (свежая среда), красная — обогащенная среда. По оси абсцисс — время в часах, по оси ординат — количество живых цитопластов в %.

срок и достаточен для решения многочисленных задач, описанных выше, крайне важно найти способ продлить жизнь цитопластов.

Долгоживущие цитопласты были бы очень полезны в опытах по реконструкции клеток из покоящихся ядер и цитоплазмы активно делящихся клеток (к сожалению, пока жизнь такого рода реконструированных клеток коротка). Продление жизни цитопластов, а следовательно, и реконструированных клеток помогло бы лучше понять роль цитоплазматических факторов в регуляции активности ядра. Долгоживущие цитопласты дадут дополнительные сведения о степени зависимости от ядра

различных цитоплазматических структур, например митохондрий. Наконец, получение долгоживущих цитопластов прольет свет на причины гибели безъядерных клеток.

По-видимому, гибель цитопластов обусловлена прекращением синтеза белка. Не исключено, что непосредственная причина гибели цитопластов заключается в резкой гипертрофии аутофагосом и в их разрыве. Исходя из этих предположений, мы попытались продлить жизнь цитопластов. Сначала использовали вещества, стабилизирующие лизосомные мембраны. Однако такие опыты не увенчались успехом. В то же время, если инкубировать цитопласты в одной культуральной среде с неделящимися ядерными клетками, время их жизни увеличивается примерно на одни сутки. Причина этого явления до конца не выяснена, но у нас есть основания думать, что факторы, выделяемые ядерными клетками в среду, поддерживают белковый синтез в цитопластах. Обнаруженный факт обнадеживает нас в дальнейших поисках путей продления жизни цитопластов.

Использование цитопластов значительно расширило возможности биологических исследований и позволило получить ответы на ряд вопросов, касающихся работы клетки. Можно полагать, что применение цитопластов в различных областях биологии будет расширяться в ближайшие годы. Цитопласты могут оказаться полезными для решения следующих вопросов:

какова роль ядра и цитоплазмы в межклеточных взаимодействиях, а именно: как клетки «узнают» друг друга в процессе эмбриогенеза и дифференцировки тканей; как образуются межклеточные контакты (зоны слипания, щелевидные контакты и др.), как осуществляется метаболическая кооперация (т. е. обмен метаболитов между клетками);

каковы механизмы регуляции синтеза белка на уровне трансляции;

как ядро регулирует работу отдельных цитоплазматических органелл: митохондрий, центриолей, аппарата Гольджи, лизосом, пероксисом, и какова степень автономности этих органелл.

Очевидно, к этим вопросам можно добавить и другие.

<sup>14</sup> Зеленин А. В., Куц А. А., Прудовский И. А. Реконструированная клетка. М., 1982.

## Исчезнувшие народы. Печенеги

С. А. Плетнева



Светлана Александровна Плетнева, доктор исторических наук, заведует сектором славяно-русской археологии Института археологии АН СССР. Основные интересы сосредоточены в области средневековой истории южных соседей Руси — степных кочевников. Монографии: От кочевий к городам. М., 1967; Древности Черных Клобуков. М., 1972; Половецкие каменные изваяния. М., 1974; Хазары. М., 1976 и др. В «Природе» опубликовала статью: Исчезнувшие народы. Половцы (1977, № 2).

### ОТКУДА ПОШЛИ ПЕЧЕНЕГИ

Печенеги — так называли их русские летописцы, пагинаки — западноевропейские и византийские хроники, баджак — арабоязычные авторы. По-тюркски их звали беченегами.

Это этническое имя появилось на страницах исторических, географических и политических сочинений только в IX в.

По-видимому, тогда же в европейском степях образовался новый кочевнический союз печенегов, возглавленный выходцами из давно распавшегося политического объединения Кангюй, или Кангар, как их называли в позднейших источниках, считая наиболее благородными в союзе. Новое объединение получило и новое имя.

Происхождение имен народов — вопрос сложный, подчиненный своим закономерностям. Его вряд ли можно решить на одном примере. Скорее всего, беченеги-печенеги пошли от Бече — вождя печенежского союза: в степях иногда род назывался именем его первого главы.

Как и все кочевнические союзы, печенеги были, вероятно, разнолики и разноязыки: в него помимо тюркоязычных племен могли входить и какие-то угорские группировки.

В первые десятилетия своего существования орды печенежского союза кочева-

ли в заволжских степях. Очевидно, именно там началось не только формирование политического объединения, но и печенежского этноса и в какой-то мере общей для него материальной культуры.

О характерных признаках этой культуры свидетельствуют раскопки печенежских подкурганых погребений, в которых археологи находили наборные серебряные пояса, серединные тяжелые костяные накладки на тяжелые луки, прямолезвийные сабли, интересные «пышные» и причудливые формы массивных копоушек и поясных подвесок (амулетов), глиняные сосуды, украшенные «роскошным» орнаментом.

В могилах рядом с покойником лежали его вещи. Вместе с ним хоронили и чучело его коня, положенного на брюхо, взнузданного и оседланного. Его шкура, как правило, отпечатана на глинистом дне могилы, сохранены череп, отчлененные конечности, хвостовые позвонки. От сбруи, как правило, сохраняются вставленные в рот жесткие удила с трензельным железом «без перегиба», стремяна и подпружные пряжки седел. Если воин погибал в походе, вдали от родового кладбища, то печенеги — по возвращении домой — сооружали поминальное погребение — кенотаф, в который укладывали чучело коня и вещи покойника: лук, колчан со стрелами, саблю и пр.



Такой обряд захоронения в X—XI вв. распространился по всей европейской степи.

В конце IX в. Хазарский каганат, раздираемый внутренними противоречиями и религиозными смутами, потерял свое могущество и славу непобедимой державы, и из хазарской конфедерации один за другим стали выходить многие племена и племенные союзы, платившие ранее дань кагану.

Одним из таких народов были печенеги, которые двинулись к западным рубежам своих кочевий. Каганат попытался остановить движение печенежских орд, заключив союз с племенем узов, надеясь разгромить печенегов совместными силами. Но результат этого соглашения оказался совершенно иным. Не хазары, а узы, по словам византийского историка, императора Константина Багрянородного, «вступив в войну с печенегами, одержали верх, изгнали их из собственной страны и заняли ее...» «Печенеги же,— пишет он,— бежав оттуда, стали бродить по разным странам, нащупывая себе место для поселения».

### ПЕЧЕНЕЖСКИЕ КОЧЕВЬЯ

Путь печенегов по «разным странам» в конце IX — первом десятилетии X в. был отмечен пожарищами, гибелью подавляющего большинства степных и лесостепных поселений, замков и даже городов (на Таманском п-ове). Кроме того, из южнорусских степей в то же время были изгнаны венгры, обитавшие в стране, названной Константином Багрянородным Ателькузой и расположенной, очевидно, где-то в междуречье Днестра и Днепра.

Об этой победе печенегов над венграми и о переселении венгров на земли Великой Моравии Константин пишет особенно подробно потому, что в последующие годы венгерское государство расцвело и набрало силы в непосредственной близости от границ Византии, а стремительно теряющий силы каганат уже не представлял для империи интереса как союзник и опасности как враг.

О продвижении печенегов на запад говорится и в персидском географическом труде «Границы мира», который был составлен неизвестным автором X в. Там говорится о двух ветвях печенегов: тюркской и хазарской. Географическое положение тюркских печенегов описывается следующим образом: «Восток их страны граничит с гузами, на юг от них буртасы и барадасы, на запад от них мадьяры и рус,

на север от них река Рута». Описание это крайне неясно. Тем не менее, если признать вслед за Б. А. Рыбаковым, что р. Рута — это Дон в среднем течении, то местонахождение кочевий тюркских печенегов можно с большей или меньшей долей вероятности определить в Днепровско-Донском междуречье.

Название «тюркские» печенеги получили от наиболее страшного и опасного для них в те десятилетия соседа — гузов, тюрков (недаром позднее на Руси стали называть гузов торками). На запад от них лежали владения мадьяр — венгров — и Руси. Последняя находилась севернее основного направления печенежского удара, направленного на захват степных пастбищ. Поэтому печенеги столкнулись с нею позднее. Вначале же они сражались с венграми, жившими тогда в Ателькузе. Чтобы обеспечить себе победу, они заключили военный союз с болгарским царем Симеоном, который тоже желал уничтожить опасных соседей. Воспользовавшись тем, что основные силы венгров отправились в поход, печенеги с войсками Симеона ворвались в их страну, «истребили, — как пишет Константин Багрянородный, — их семьи и прогнали всех, оставленных для охраны кочевий».

Вернувшиеся из похода венгры нашли свою землю «пустою и разграбленную», занятою к тому же врагами. Убедившись, что им здесь не удержаться, они вернулись на запад, пытаются захватить ближайшие к Ателькузе территории — южные степные и лесостепные земли на русском пограничье. Случилось это в 898 г., о чем сохранилась краткая запись в русской летописи: «Идоша Угре мимо Киев гороу... и пришедше к Днепру, сташа Вежами». Очевидно, они были встречены крайне неприветливо и потому, не задерживаясь более и не вступая в битвы, двинулись через Карпаты в Подунавье. Там, по свидетельству летописца, они «почаша воевати» и, добившись победы, поселились на богатых землях Паннонии.

Печенеги же перекочевали, по-видимому, из Подонья в Ателькузу, т. е. в Днестро-Днепровское междуречье.

Вторая ветвь печенегов, названная персидским Анонимом «хазарской», кочевала на землях, которые с востока ойкамлили «Хазарские горы, с юга — аланы, с запада — море Gurz, а с севера — мирваты». Как видим, это слишком неопределенные данные. Единственно ясный ориентир — это аланы, обитавшие в предгорьях Кавказа. Море, — видимо, Азовское (и часть Черного), а горы — холмы, тянущиеся



Глиняные кувшины, украшенные «роскошным» орнаментом.

вдоль Кума-Манычской впадины. Кого называл Аноним мирватами, остается невыясненным. Тем не менее примерное местоположение хазарских печенегов — это степное междуречье нижнего Дона и Кубани. Археологические исследования ряда приморских поселений свидетельствуют о гибели многих из них, в частности такого большого города, как Фанагория, в конце IX — начале X в.

Путешествовавший в начале X в. по Заволжью Ахмед ибн-Фадлан встретил там группу печенегов, кочующих у воды, «похожей на настоящее море». Видимо, он имел в виду соленое озеро Челкар, расположенное в центре заволжских степей.

Рассказывая о печенегах, ибн-Фадлан пишет: «Они — темные брюнеты с совершенно бритыми бородами, бедны в противоположность гузам...» По-видимому, это те печенеги, которые не последовали на запад с основным ядром союза, а остались на прежних кочевьях, подчинившись гузам. О них Константин Багрянородный пишет подробно: «Должно знать, что в то время, когда печенеги были изгнаны из своей земли, некоторые из них по собственному желанию и решению остались там, поселились вместе с так называемыми узами и доселе остаются среди них, имея

следующие признаки для того, чтобы отличаться от них и показывать, кто они такие и как им довелось оторваться от своих: верхние одежды укорочены до колен и рукава обрезаны, начиная от предплечий; этим они показывают, что отрезаны от своих родичей и соплеменников». Это была малоактивная и бедная часть печенегов. Оставшись, они, естественно, подчинились узам, вошли в их союз и более уже самостоятельного значения не имели и в источниках не упоминались.

## ПЕЧЕНЕЖСКАЯ ЗЕМЛЯ

К середине X в. печенеги занимали огромные степные территории. О политической географии Печенежской земли, о размещении на ней отдельных печенежских племен, или «колен», «округов», обстоятельно повествует все тот же Константин Багрянородный. Печенеги, игравшие в истории восточно- и центральноевропейских народов видную роль, привлекали византийских политиков, строивших в расчете на них свои планы против болгар, венгров, хазар и русов. Константин пишет о том, какие отношения складывались у этих народов с печенегами, как они попадали от них в зависимость, как печенеги грабили мирные поселения, мешая торговле, постоянно вымогая выкупы и откупы.

Охарактеризовав международную обстановку того времени, связанную с печенегами, Константин переходит к описанию Печенежской земли периода их наибольшего могущества. «Должно знать,— писал он,— что четыре колена печенегов, именно округа Кварципур, Сирукалпей, Вороталмат и Вулацоспон, лежат за рекою Днепром, будучи обращены к восточной и северной сторонам — к Узии, Хазарии, Алании, Херсону и прочим климатам, а другие четыре рода расположены по сую сторону Днепра, к западной и северной сторонам: именно округ Гиазихопон соседит с Булгарией, округ нижней Гилы соседит с Туркией, округ Харовой соседит с Русью, а округ Явдиертим соседит с подвластными Русской земле областями, именно Ултинами, Дервленинами, Лензенинами и прочими славянами, Печенегия отстоит от Узии и Хазарии на пять дней пути, от Алании на шесть дней, от Мордии на десять дней пути, от Руси на один день, от Турции на четыре дня и от Булгарии на полдня пути. Она очень близка к Херсону, но еще ближе к Воспору.»

В то же время хазарский каган Иосиф в письме Хасдаю ибн-Шафруте упоминал

о печенегах весьма бегло, хотя они уже расселились почти по всей территории каганата, плотно окружив враждебным полукольцом домен самого кагана, и фактически уничтожили каганат. Прежде всего они разорили его экономику: богатые земледельческие поселки степной и лесостепной зон Подонья были сметены с лица земли. Население было частично уничтожено, частично вошло в кочевые подразделения печенегов. Только небольшая его часть бежала на север — в Волжскую Болгарию и в глухие уголки верховий Оскола и Дона, надежно защищенные от кочевых набегов лесными массивами. Некоторая часть болгаро-аланского населения Подонья отошла и в южные районы каганата — в домен самого кагана. Заметно вырос пограничный донской городок Саркел, что прекрасно прослеживается археологически: слои начала X в. на городище отличались богатством и разнообразием находок. Тогда же появились в городе первые славянские переселенцы — жители пограничных с каганатом поселков днепровского левобережья, бежавшие вместе с населением каганата от печенежских полчищ.

Все жизненно важные артерии каганата, связывающие его с союзниками, торговыми партнерами и данниками, были перерезаны. Государство шло к гибели, к середине X в. оно сократилось практически до размеров личного домена кагана.

Печенегам хазары уже не казались сколько-нибудь опасными врагами. Очевидно, каганат даже не пытался изгнать их со своих бывших земель. Да в том уже не было необходимости — земли все равно оставались бы пустыми — их нечем было заселить.

Таким образом, единственной реальной силой, способной противостоять кочевникам, была Русь.

Впервые русские воины столкнулись с печенегами в 915 г., когда «придоша печенежи первое на Русскую землю и створивше мир с Игорем, идоша к Дунаю»: рассялясь по степи, захватывая степные просторы, печенеги попытались освоить и лесостепные области. Натолкнувшись на сопротивление, они — для обеспечения себе спокойного тыла — заключили мир с Русью и откочевали к границам Болгарии и Венгрии.

С Русью печенеги продолжали поддерживать самые разнообразные и оживленные сношения. Византия, обеспокоенная возвышением Руси, постоянно стравливала обоих союзников, поскольку «русы не могут даже выступать на заграничные войны, ес-



Типичное печенежское погребение с остатками коня [черепом и пластными костями ног].

ли не живут в мире с печенегами...» Русские же, наоборот, старались «быть в союзе с ними и получать от них помощь». Заключивший с печенегами в 915 г. мирный договор князь Игорь в 944 г., почти через 30 лет, привлекает их к совместному походу на Византию: «Совокупи воя многи варяги, и русь, и поляны, и словены, и кривичи, и печенеги ная... поиде на греки в лодьях и на конех», — писал русский летописец. Мирными договорами отнюдь не ограничивалась деятельность русского князя в отношении печенегов. В 920 г. князь Игорь ходил на них походом — летописец коротко отметил: «воеваша на печенегы». О том, кто победил в этом походе и куда был направлен удар русских войск, неизвестно.

Других сообщений о походах русских на степняков не сохранилось. Да вряд ли

организация их была бы оправданна. Печенеги, расселившись на огромных пространствах южнорусских степей, практически были неуловимы в них, поскольку кочевали круглый год и были необычайно подвижны, проводя все свое время в повозках и на конях.

## ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Печенеги находились на той, так называемой таборной, стадии кочевания, которая характеризуется, как правило, достаточно развитыми общественными отношениями — военной демократией.

Со слов Константина Багрянородного мы знаем, что печенеги делились на восемь округов, которые, очевидно, можно считать ордами. Во главе орд стояли «великие» князья. Во всех ордах было 40 частей, видимо, родов, т. е. в каждую орду входило 5 родов. Роды возглавлялись «меньшими» князьями — родовой аристократией. Русский летописец называет их «лучшие мужи в родах». Роль племенных и родовых князей сводилась в тех условиях к роли военачальников. Константин Багрянородный записал имена первых великих князей, под главенством которых печенеги захватили восточноевропейские степи.

### Днестровско-Днепровские орды:

Гиаципон (Хопон) — хан Гиаци;  
 Гилы (Хавуксингила) — хан Куркут;  
 Харовон — хан Кандум;  
 Явидиртим (Иртим) — хан Маина.

### Днепровско-Волжские орды:

Кварципур (Цур) — хан Куель;  
 Сирукалпей (Кулпей) — хан Ипай;  
 Вороталмат (Талмат) — хан Коста;  
 Вулацаспон (Цопон) — хан Ватан.

Каждая орда действовала, вероятно, в значительной степени самостоятельно. Во время грабительских и завоевательных походов и войн некоторые из них особенно разбогатели и выделились. Об этом нам опять-таки повествует византийский император в своем трактате: «Должно знать, что печенеги именуются Кангар, не все, а только народ трех округов: Явидиртим, Кварципура и Хавуксингила, как храбрейшие и благороднейшие из других, ибо это обозначает прозвище «Кангар».

Очевидно, ханы Маина, Куркут и Куель — главы трех избранных орд — и были самыми прославленными ханами печенежской степи. Тем не менее свою власть даже они не могли передать по наслед-

ству своим сыновьям. Власть наследовалась двоюродными братьями или детьми двоюродных братьев, «чтобы власть наследовалась и воспринималась и в боковых ветвях. Из чужого же рода никто не входит и не делается князем», — пишет Константин.

Описанный им странный порядок наследования предполагает, как нам представляется, матрилинейность родства или, во всяком случае, пережиточность этого матриархального закона.

Князья (ханы) действовали самостоятельно лишь в экстраординарных случаях — во время набегов. В обычное время печенеги собирали сходку (о ней подробно пишет византийская царица Анна Комнина), являющуюся, по существу, народным собранием — характернейшим органом военной демократии.

Постоянные войны, участие в грабительских походах — наиболее типичная черта этого общественного строя. Именно поэтому печенегов так легко можно было поднять в любой поход против любой страны, грабеж которой принес бы им выгоду. Чаще всего их использовали византийцы.

## ОТНОШЕНИЯ С КИЕВСКОЙ РУСЬЮ

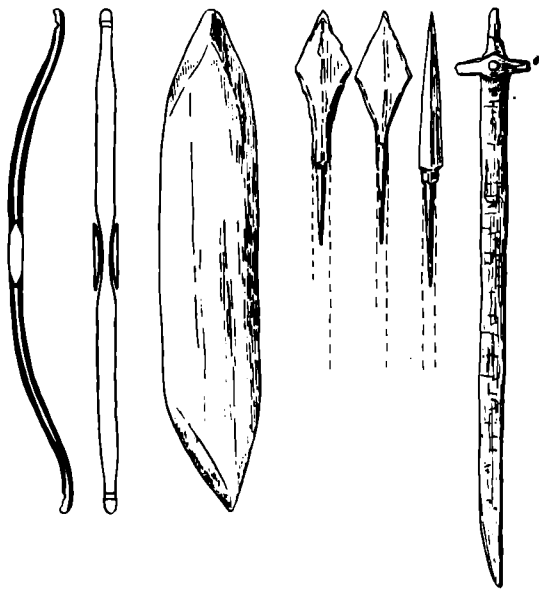
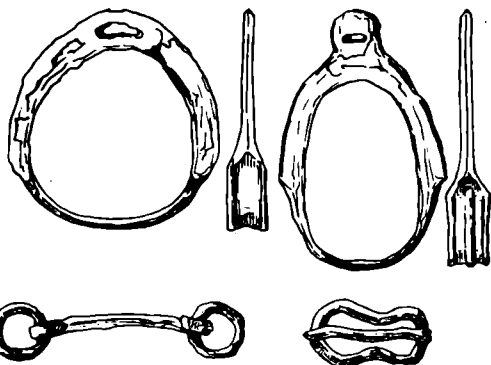
Однако Византия постоянно опасалась за свои крымские владения, в частности Херсон, к стенам которого печенеги подкочевывали, видимо, вплотную. Несмотря на подкупы и откупы, печенеги согласились в 944 г. примкнуть к походу Игоря в Византию. В 965 г., уже при Святославе, они, по-видимому, участвовали в походе Святослава на Хазарию. Прямых сведений об этом нет, но недаром византийский император подчеркивал невозможность для русов вести международные войны без предварительно заключенного с печенегами соглашения. В этом же походе Святослав неизбежно должен был пройти через печенежские степи, чтобы достигнуть хазарских городов: Саркела, который был первым взят и разгромлен его войском, а затем Итиля, расположенного где-то на нижней Волге.

Мир Святослава со степняками был недолговечен. Уже через три года после похода на хазар печенеги организовали большой и серьезный поход на Русское государство. Святослав в то время вел завоевательную войну в Болгарии на Дунае, и вполне вероятно, что византийцы, напуганные близким соседством русской дружины, спровоцировали этот поход на Русь, ослабленную отсутствием князя и луч-

шей части его дружины... Русский летописец так начинает рассказ об этом бедствии: «Придоша печенежи первое на Рускую землю... и затворися Ольга с внуки своими, Ярополком, Олгом, Володимером в городе Киеве. И отступиша печенежи город в силе тяжьце, бесчисленное множество около города и не бе лзе вылести из града и вести (Святославу) послати...»

Киев и княгиня с княжатами были спасены подошедшим к городу воеводой Претичем, которого уведомил о бедственном положении города юноша-киевлянин, пробравшийся через печенежское окружение и переплывший Днепр, чтобы попасть к русским полкам, стоявшим на левом берегу Днепра. Печенеги, увидев русские дружины Претича, приняли их за войско Святослава, подошедшего к ним с тылу. Слава же о непобедимости князя была настолько сильна, что степняки, не приняв боя, отступили, запросив у Претича мира и дружбы: «И вдаст печенежский князь Претичу конь, саблю, стрелы. Он же даст ему броне, щит, меч...» Пока шел этот обмен любезностями, Святослав действительно вернулся вместе с дружиной на Русь, собрал воинов и прогнал печенегов «в поле», т. е. далеко в степи, и вновь подтвердил мир с ними. Но не надолго.

В 969 г. умерла его мать, княгиня Ольга, и некому стало удерживать неумного князя дома. Разделив Русь между своими повзрослевшими сыновьями, Святослав двинулся в 971 г. на завоевание Подунавья. Вначале все складывалось для него благоприятно, потом начались неудачи, и тогда он вспомнил, что, уходя из Киева, не заключил нового союза с печенегами: «печенеги с нами ратни». Когда Святослав возвращался через враждебные степи по Днепру домой в Киев, то болгары и византийцы сообщили печенегам, что князь идет из Доростола с полоном «бесчислен» и с «малой дружиной». Печенеги засели на днепровских порогах, поджидая Святослава. Князь, узнав об этом, решил



Удила с трезельным железом «без перегиба», стремена и подпружная пряжка.

Характерное печенежское вооружение: лук с массивными срединными костяными накладками, стрелы, сабля.

Копушка с изображением стилизованной зооморфной фигуры на ручке и амулеты в виде птичьих крыльев.



перезимовать в Белобережье. Зимовка была голодной и холодной. Весной ослабевшие воины не смогли прорваться сквозь печенежское окружение и, когда Святослав подошел к порогам, «нападе на ня Куря, князь печенежский и убища Святослава». Куря приказал затем отрубить голову Святослава и из черепных костей сделать окованную золотом чашу.

Делать чаши из черепов убитых врагов — обычай широко распространенный в среде тюркоязычных народов. Кочевники верили, что таким образом переходит к ним сила и мужество поверженного врага. Интересно, что хан Куря и его жена пили из этой ритуальной чаши для того, чтобы у них родился сын, похожий на могучего и отважного Святослава, о котором слагались легенды и песни не только на Руси, но и в степях. Вполне возможно, что характеристика Святослава, данная в летописи, взята летописцем из песни о Святославе, сложеной в степи. В ней воспеваются прежде всего черты воина-кочевника, неприхотливого, выносливого и беспощадного к врагам:

Легко ходя, аки пардус,  
Войны многи творяше.  
Ходя воз по себе не возяше,  
Ни котла, ни мяс не варя,  
Но потонку наревав конину ли,  
Зверину ли или говядину,  
На углех испек ядыше,  
Ни шатра имяше,  
Но подклад послав и седло в головах.  
Также и прочии вои его вси бяху.

Мы привели эту характеристику русского князя потому, что она, по-видимому, соответствует представлению кочевника об идеальном воине. Кстати, хан Куря, или в другом чтении Куркут (и то и другое означает Волк), был военачальником орды Гилы, принадлежавший к наиболее высокопоставленным и «благородным» печенегам «кангар».

После смерти Святослава наступательная деятельность печенегов усилилась. В ответ на это новый князь — Владимир Святославич — занялся активным укреплением южных границ своего государства: «нача ставити городы по Десне и по Устри, по Трубешеве, и по Суле, и по Стугне». В построенные городки он селил воинов со всех концов Руси. Тогда же сооружена была часть знаменитых Змиевых валов, а имевшиеся ранее — обновлены и достроены. Об укреплениях — валах, расположенных южнее Стугны,—

упоминает в своем письме путешествовавший по Восточной Европе в начале XI в. епископ Бруно: «Русский государь два дня провозжал меня до последних пределов своего государства, которые у него для безопасности от неприятеля на очень большом пространстве со всех сторон обведены самыми завалами». Сообщение это интересно еще и потому, что, судя по нему, расстояние между Русью и печенежскими кочевьями увеличилось вдвое сравнительно с временем Константина Багрянородного, при котором оно равнялось одному дню пути.

Однако, несмотря на укрепление русских границ и постепенное расширение территории, печенеги тяжелой тучей нависали над Русью. В 993 г. они перешли Сулу и встали на левом берегу Трубежа. На другом берегу выстроил свою дружину Владимир. Поскольку начать битву обе стороны затруднялись, печенежский хан предложил Владимиру единоборство богатырей. В случае победы печенежина его единоплеменники по договору могли три лета подряд беспрепятственно грабить Русь, победа русского обуславливала три спокойных года — печенеги в течение этих лет обязывались не ходить на пограничные русские земли. Русский богатырь победил и спас Русь от разорения. Печенеги побежали, русские, преследуя их, многих посекали мечами и саблями. Владимир на месте победы поставил город и назвал его Переяславлем.

Три года печенеги действительно не приходили на Русь, а в 996 г. вновь началась изнурительная борьба русских со степью. Летописец об этих последних годах первого тысячелетия написал: «рать велика беспрестани». Судя по летописным сообщениям, печенеги подходили к какому-либо, видимо, заранее намеченному городку, брали его, грабили окрестности и отступали с полоном в степь. Никаких особых приспособлений для взятия стен у них не было, поэтому они, как правило, брали измором (как еще при Ольге и Святославе хотели захватить Киев). В летописи сохранился рассказ-легенда об осаде печенегами Белогграда. Когда начался «голод велик в граде», белогградцы придумали хитрость — из последних запасов, собранных со всего города, наварили бочку киселя и бочку сыты и вставили их в специально выкопанные колодцы, а затем пригласили 10 лучших мужей печенежских в город и угостили их едой из колодцев. Изумленные печенеги убедились, что горожане их не обманыва-







ют, утверждая, что имеют «кормлю в земле» и что осада им не страшна. «Стойте хоть 10 лет и губите себя», — говорили белоградцы. Печенежские ханы, испробовав киселя и сыты, приказали отойти от города — «восвоися идоша». Однако такие «хорошие концы» случались редко — обычно городки горели, люди угонялись в рабство, пашни вытаптывались. Поэтому князь Владимир всемерно стремился поддерживать мир.

В первые годы XI в. уже упоминаемый нами епископ Бруно, проследовав-

ший через Русь в землю печенегов, «от лица русского князя заключил с печенегами мир». Русский князь при этом обещал выполнить ряд требований степняков и «дал в заложники мира своего сына». В чем состояли требования — можно только догадываться. Видимо, печенеги, как обычно, требовали откупов, а вот заложником был, очевидно, нелюбимый сын Владимира — Святополк. Не случайно именно он воспользовался помощью печенегов в борьбе за отцовский престол после смерти князя Владимира. Четыре года печенеги, уча-



Расселение печенегов в X в. Пуиктиром обозначены северные границы степных территорий, где размещались печенежские племена, или «колана».

-  Место гибели Святослава Игоревича
-  Победы русских над печенегами
-  Оборонные линии Руси
-  Печенежские удары на Русь

ствуя в смуте, грабили и разоряли Русь. В 1019 г. Святополк последний раз пришел с печенегами «в силе тяжьце». Ярослав Мудрый, утвердившийся уже на киевском столе, собрал свои дружины и вышел навстречу. «К вечеру же одоле Ярослав, а Святополк бежа...» Поражение печенегов в этой битве было настолько серьезным, что в начале княжения Ярослава напор печенегов значительно ослабел. Русские не замедлили воспользоваться передышкой, и в 1032 г. «Ярослав поча ставити городы по Руси». Таким образом, Русь заняла территорию, долгое время остававшуюся нейтральной зоной, отделявшей ее границы от кочевой степи.

Пытаясь сохранить славу непобедимых и страшных врагов, печенеги пред-

приняли отчаянную попытку сокрушить или хотя бы временно ослабить Русь. Для этого и был организован ими поход на Киев в 1036 г. Ярослав, бывший тогда в Новгороде, поспешил вернуться в свой город с сильной варяго-словенской дружиной. Очевидно, понимая все значение предстоящей битвы, Ярослав тщательно подготовился к ней. Выйдя с тремя полками из города, русские войска «сшиблись» с печенегами на месте, где сейчас стоит Софийский собор, «бе бо тогда поле вне

## ЗАКАТ ПЕЧЕНЕЖСКОЙ СЛАВЫ

В середине XI в. четыре округа (орды) печенегов, кочевавшие между Днепром и Днестром, распались, и самой крупной административной единицей стала считаться «часть», или «коллено». По сообщению другого византийца — Кедрина, писавшего в XI в., 13 печенежских колен обитали на берегу Черного моря, между Днепром и Дунаем, т. е. примерно на землях, принадлежавших округам Гиацихопон и Ха-



Победа русского богатыря Кожемяки над печенежником. Миниатюра из Радзивилловской летописи.

града», — как о том пишет летописец. «И бе сеча зла и одва одолев к вечеру Ярослав. И побегоша печенеже роздно и не ведахуся камо бежаче и овии бегающе тоняху в Ситомли, инеи же во инех реках и тако погибаша и до сего дня». Блестящая и полная победа Ярослава фактически уничтожила печенежскую опасность.

вуксингил. Верховным военачальником у них был некий Тирах, слабый и безынициативный человек, не имевший популярности у своих единоплеменников. На борьбу с Русью у печенегов уже не было сил, отдельные приднепровские роды — айлы — отражали натиск напавших с востока новых кочевников — торков и половцев. В схватках с ними выделился новый вождь — Кеген. Он сделал попытку объединить все 13 колен под своей властью, но богачи и знать, видимо, воспротивились этому и поддержали Тираха. Кеген бежал от преследований в Византию, туда же направился вместе с несколькими родами

и Тирах. Печенеги были частично уничтожены византийскими войсками, оставшиеся же во главе с Тирахом были поселены Византией в пограничье — в степях между Балканами и Дунаем.

Так закончилась полувековая история печенежского племенного союза. Однако имя печенегов еще не исчезает со страниц различных средневековых рукописей.

В конце XI в. печенеги, немного окрепнув, вновь решили «попытать счастья» в Византии. Они широкой волной хлынули в империю, беря и разрушая небольшие городки, поселения и вытаптывая пашни. Об этом сохранился подробный рассказ Анны Комниной, дочери царствовавшего тогда Алексея Комнина.

С огромным трудом императору удалось справиться с печенегами. Для борьбы с ними он привлек половцев, которые помогли ему одержать решающую победу. В ночь после битвы окруженные со всех сторон печенеги были полностью вырезаны византийцами. Погибло их более 30 тысяч.

Однако и после этого побоища печенеги упоминаются в источниках вплоть до монголо-татарского нашествия, чаще всего в русских летописях. Их погребения и курганы, относящиеся к XI—XII вв., хорошо известны в южнорусских степях, на берегах р. Роси. Печенежский могильник конца X—XI вв. был обнаружен и полностью раскопан у Саркела — Белой Вежи, русской фактории в донских степях.

Там, где находились могильники, можно предположить какую-то стабилизацию печенежской жизни, вернее, упорядоченность их кочевания. Действительно, согласно свидетельству летописи, одна из орд обитала близ Белой Вежи и была разбита там половцами в 1116 г. По-видимому, остатки этой орды вместе с русским населением Белой Вежи ушли с Дона на русское пограничье в следующем, 1117 г. Переходили к полуседлому образу жизни и печенеги Поросья. Вместе с некоторыми другими этническими группами и ордами, из которых особенно крупными были торки (гузы) и берендеи (баяндур), они, получив во владение Поросье, стали вассалами Руси. Русские князья поселили эти остатки разбитых ими и половцами орд на выгодных для себя условиях: как и византийские императоры, они создали на границах войско, сочетающее в себе подвижность кочевников и устойчивость оседлых племен. Первой обязанностью кочевых вассалов была борьба с половцами. Вторая обязанность

заключалась в предоставлении киевским великим князьям вспомогательной силы для постоянной борьбы с центробежными стремлениями русских князей. Кочевники становились опорой центральной власти, участвуя во многих феодальных распрях между русскими княжествами.

История кочевников Поросья делится на два этапа. Первый длился около 100 лет (середина XI — середина XII вв.). В этот период и торки, и берендеи, и печенеги, находящиеся под властью Киева, действуют как самостоятельные племена. В 40-х годах XII в. начался второй период: три этих этноса объединились в союз, получивший в летописи имя Черных Клобуков.

В последний раз печенеги упомянуты в летописи в составе Черных Клобуков в 1168 г. В конце XII в. они, видимо, полностью растворились в этом племенном союзе.

Поражение русских на Калке в 1223 г., затем взятие и разорение монголо-татарскими войсками Киева, гибель киевского великого князя и все последующие бедствия, обрушившиеся на русские княжества с приходом в европейские степи монголо-татар, привели к тому, что вассальный Киеву кочевой союз Черных Клобуков перестал существовать. Вполне вероятно, что часть их орд была переселена новыми хозяевами степи с удобных и богатых приднепровских пастбищ в сухие среднеазиатские полупустыни, оставив о печенегах долгую память в народе.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Васильевский В. Г. ВИЗАНТИЯ И ПЕЧЕНЕГИ.— Труды, т. I. СПб, 1908.

Голубовский П. В. ПЕЧЕНЕГИ, ТОРКИ И ПОЛОВЦЫ ДО НАШЕСТВИЯ ТАТАР.— Университетские известия, год 23, № 1, Киев, 1883.

Плетнева С. А. ПЕЧЕНЕГИ, ТОРКИ И ПОЛОВЦЫ В ЮЖНОРУССКИХ СТЕПЯХ.— В сб.: Материалы и исследования по археологии СССР, № 62. М.— Л., 1958.

ДРЕВНОСТИ ЧЕРНЫХ КЛОБУКОВ.— Свод археологических источников. EI-19. М., 1973.

Рыбаков Б. А. УЛИЧИ.— Краткие сообщения Института истории материальной культуры, 1950, вып. XXXV.

Рыбаков Б. А. КИЕВСКАЯ РУСЬ И РУССКИЕ КНЯЖЕСТВА XII В. М.: Наука, 1982.

## В предгорьях и горах Бырранга

Ю. П. Кожевников,  
кандидат биологических наук

Ботанический институт им. В. Л. Комарова АН СССР  
Ленинград

Севернее Таймырского озера, вдоль 75—76° с. ш., тянутся цепи Бырранга — одних из самых северных гор мира. Горы эти сравнительно низкие, но на востоке, в осевой части они поднимаются до 1100 м над ур. м. Именно здесь есть ледники, об исследовании которых рассказано в книге Л. С. Говорухи «Путешествие в Бырранга» (Л.: Гидрометеиздат, 1973). Самый большой ледник — Неожиданный — лежит близ вершины 1143 м. До 1980 г. биологи не посещали этот уголок планеты, поскольку за путешествие вертолетом только в один конец нужно выложить стоимость «Москвича». Но в 1980 г. Полярная экспедиция Ботанического института АН СССР выделила необходимые средства. Моим спутником был сотрудник Института сельского хозяйства Крайнего Севера в г. Норильске В. В. Рапота, годом раньше побывавший в предгорьях гор Бырранга и привезший оттуда коллекцию растений. Имело смысл на вертолете добраться как можно ближе к леднику Неожиданному и спуститься оттуда на резиновой лодке до низовьев р. Бикада-Нгуомы, откуда в обратный путь нас мог взять АН-2.

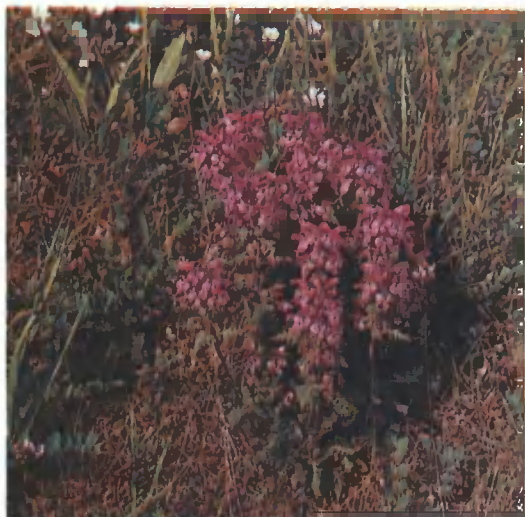
И вот, 9 июля мы смотрим из иллюминатора Ми-8 на зловещие клубы серых облаков и бесчисленные пятна снега, чередующиеся с почти черными и серыми участками каменных склонов, скалами и осыпями. Ближе к леднику снега все больше и больше. Речка одета в ледяные берега. Ландшафт кажется совершенно безжизненным. Мы смогли высадиться лишь на берег р. Ледниковой в 8 км от ледника.

Отрадно было обнаружить, что и в этом суровом краю жизнь бьет ключом:

цветут многочисленные растения, сидят на яйцах птицы, бродят олени со своим потомством, а если днем пригреет — гудят мухи, порхают бабочки. По следам на снегу узнаем, что за оленихой с олененком иногда идет россомаха, очевидно, поджидая случая поживиться. Лемминги, типичные жители высоких широт, живут даже на высокогорных плато. По всей вероятности, это — копытные лемминги (*Dicrostonyx torquatus*), которые обычно встречаются на склонах гор. Иногда попадают на глаза зайцы (*Lepus timidus*) и песцы (*Alopex lagopus*). Волки, по-видимому, здесь редки, мы ни разу не встречали их, лишь по старым погадкам и экскрементам можно было догадаться, что они бродят в этих местах, но постоянно, очевидно, не живут, а появляются откуда-то снизу, обходя свои охотничьи угодья.

За три дня теплой солнечной погоды, когда температура воздуха днем поднималась до 17°, снега успели сильно подтаять. По разлившейся речке несется шуга, но на плато над долиной еще остались снежные поля. Чем ближе к леднику, тем они становятся обширнее, сам же ледник скрыт под снегом, мощные козырьки которого свисают над долиной. Однако среди снегов на обнажившихся щебнистых возвышениях по соседству с ледником начинают цвести крупка (*Draba fladnizensis*), осока (*Carex rupestris*), камнеломки (*Saxifraga glutinosa*, *S. funstonii*) и другие растения. Все это типичные высокоарктические виды, другие растения в этом суровом климате не выживают.

Наклонное плато оконтурено мрачными конусами горных вершин, торчащими из снега. В нижней части плато



**Мытник мутовчатый.**



**Полярные маки.**



**Лютик Турнера в верховье р. Ниркайкатари.**



**Остролодочник чернеющий.**

на высоте более 500 м над ур. м. снежные поля не столь обширны и растений становится значительно больше. И все же, по сравнению с долиной р. Ледниковой, на плато растительность очень бедна. Хотя днище долины находится на высоте 300 м над ур. м., температура здесь значительно выше, чем на той же самой высоте на равнине. Склоны гор, окаймляющих долину, днем хорошо прогреваются и излучают

тепло. Поэтому в долине р. Ледниковой растительность оказалась неожиданно богатой. Если бы меня привезли в эти места с завязанными глазами, то, судя по обилию растений, я, пожалуй, сказал бы, что нахожусь на Чукотке, где работал несколько лет. Но ведь Чукотка расположена на 10° южнее!

Пойменные болотца в долине чередуются с сухими галечниками, где в изо-



били цветущие растения: камнеломка (*Saxifraga oppositifolia*), мак (*Papaver lapponicum*), остролодочки (*Oxytropis nigrescens*, *O. middendorffii*), новосиверсия (*Novosiviersia glacialis*). В нижней части склона, обращенного к югу, растительность во многих местах сплошь покрывает почву. Над таким зеленым ковром поднимаются белые головки еще одной камнеломки (*S. nelsoniana*), желтые султаны мытника Эдера (*Pedicularis oederi*) и красные завитки мытника прелестного (*P. amoena*). Радуют глаз белые звездочки дриады (*Dryas punctata*) и желтые щитки золотого корня — родиолы (*Rhodiola rosea*). Здесь же попадаются брусничка и багульник, источающий терпкий запах. В более южных районах Арктики это самые обычные растения, но на плато мы нашли лишь небольшое число мелких экземпляров в единственном месте. Это самые северные местонахождения багульника и бруснички.

С одной стороны долины живописно выделяются скалы. Уже издали видно, что там много зелени, сплошные заросли образуют дриада и ива (*Salix arctica*). Но, кроме того, здесь много астрагалов (*Astragalus umbellatus*, *A. richardsonii*), камнеломок, разных крупок; растет и миниатюрный папоротничек вудсия (*Woodsia glabella*).

На скалах гнездятся чайки (*Larus argentatus*), а под одним выступом мы обнаружили гнездо куропатки (*Lagopus mutus*): курочка возмущена присутствием человека у ее гнезда и, подняв перья на шею, беспокойно ходит рядом. Через некоторое время в камнях мелькает горностай. Увидеть его на такой широте можно не часто, но поскольку пищи (леммингов) достаточно, этот хищник проникает и сюда. Обилие леммингов привлекает и пернатого хищника — зимняка (*Buteo lagopus*), который даже гнездится здесь.

Небольшой склон выступающего в долину отрога кажется издали почти голым, но, приблизившись к нему, мы обнаруживаем много растений. Тут и сиреневые розетки желтушника (*Erysimum pallasi*), и синие цветки незабудки (*Myosotis asiatica*), и скромно цветущий проломник (*Androsace triflora*), и желтые корзинки крестовника (*Senecio resedifolius*). Местами заметны ажурные ваи еще одного папоротничка — пузырника (*Cystopteris fragilis*). Всего в долине р. Ледниковой мы обнаружили 125 видов сосудистых растений.

Несколько солнечных дней сменяются пасмурной погодой. Дует шквальный ветер, отдельные порывы его достигают

40 м/с и поднимают смерчеподобные столбы воды, несущееся над речкой. Палатку рушит: резиновую лодку вместе с камнями, к которым она привязана, поднимает и уносит ветром. Через 200 м она уже насажена на скалы и испускает воздух через дыру с кулак величиной. Температура воздуха днем всего 2—4°C, а ночью опускается ниже 0°. Резкая смена теплых дней ненастной холодной погодой, по-видимому, здесь не редкость, поэтому разнообразие видов птиц и растений сравнительно невелико: немногие из них способны выжить в таких суровых условиях. Из гнездящихся птиц кроме зимняка, куропатки и чайки мы встретили только галстучника (*Charadrius hiaticula*) и пуночку (*Plectrophenax nivalis*), широко распространенных в Арктике. Другие виды: трясогузка (*Motacilla alba*), поморник (*Stercorarius longicaudus*), каменка (*Oenanthe oenanthe*) и морянка (*Clangula hiemalis*) — тоже обитатели арктических широт, но в этот район только залетают.

Изучив район, прилегающий к леднику с юга, мы спустились по рекам Ледниковой, Малахайтари и Бикада-Нгуоме почти до Таймырского озера, останавливаясь на несколько дней лишь в самых интересных местах. Преодолев расстояние в 160 км, мы оказались почти на 400 м ниже того места, откуда начали свое путешествие. Климат на этой высоте стал мягче, если вообще можно так сказать о суровых условиях на 75-й параллели. Появились растения и птицы, которых не было в верховьях р. Ледниковой.

Уже близ ее устья, где долина стала шире, большие участки занимает низменный рельеф с типичными равнинными тундрами. Состав птиц пополнился гуменником (*Anser fabalis*), ржанкой (*Pluvialis apricarius*), рюмом (*Eremophila alpestris*), несколькими видами куликов. Насчитали мы и более 30 новых видов растений. Среди них столь замечательные находки, как ива аляскинская (*Salix alaxensis*), соснурия ложноузколистная (*Saussurea pseudoangustifolia*), остролодочник арктический (*Oxytropis arctica*), бурячок (*Alyssum obovatum*). Кустарники уже не стлались по земле, как в верховьях р. Ледниковой, а возвышались над почвой на 30 см. На шлейфах гор и на речных галечниках радовали глаз цветистые луговины, где было особенно много бобовых — астрагалов (*Astragalus richardsonii*, *A. umbellatus*, *A. arcticus*) и остролодочника Миддендорфа.

Ниже по р. Малахайтари нас ожидала настоящая сенсация — мы обнаружили





Выташающие линзы льдов на берегах р. Малахайтари.

ольху (*Alnus fruticosa*). Здешний ареал ее оторван от основного более чем на 500 км. Находка ольхи в горах Бырранга — яркое свидетельство того, что в голоцене субарктическая растительность распространялась далеко к северу. По соседству с ольхой росли и другие субарктические виды: березка (*Betula pana*), ортилия (*Orthilia obtusata*), крестовник (*Senecio congestus*) и другие растения, характерные для субарктики.

В кустах ив, достигающих здесь уже высоты 0,5 м, гнездились чечетки (*Ascanthis hornemannii*), краснозобые коньки (*Anthus cervina*) и овсянки-крошки (*Emberiza pusilla*). Сведения о гнездовании этих видов севернее 75° с. ш. до сих пор отсутствовали. На приречных равнинах и озерах стали довольно обычны чернозобые гагары (*Gavia arctica*), краснозобики (*Calidris ferruginea*), чернозобики (*C. alpina*), красношейки (*C. ruficollis*) и дутыши (*C. melanotos*).

По мере понижения ландшафт менялся непрерывно, а вместе с ним — растительный и животный мир: одни его виды сменялись другими. Сначала попадались

лишь одиночные экземпляры новых растений и птиц, а потом они становились обычными. Поскольку наш путь лежал в южном направлении, то растения и птицы, которых мы встречали впервые, на самом деле были последними из более южных, проникших на север. Те птицы, чьи предки жили когда-то в глубине гор, еще залетают туда, влекомые «зовом предков», но условий для гнездования не находят, поскольку горы постепенно растут и ухудшается климат из-за все большего влияния Северного Ледовитого океана.

Выход р. Малахайтари из гор обозначен высокими скалами по обе стороны реки. Со скал срываются десятки серебристых чаек. Далее река течет среди увалов, а сбоку в нескольких километрах тянется низкая гряда Дюдуйтинетти (предгорья Бырранга). Увалы покрыты кустарниково-моховой тундровой растительностью, но местами в нижней части склонов попадаются обширные ивняки из *Salix lanata*. В верховьях р. Ниркайкатари близ гряды такие же заросли из ивы аляскинской. Здесь эта ива достигает двух- и даже трехметровой высоты. Подобные им высококорослые заросли можно встретить лишь в 200—300 км южнее, а в этом более северном районе они, очевидно, акклиматизировались тоже с теплых времен голоцена, когда древесно-кустарниковая редко-



Мохноногий канюк. Родительская пара с птенцами.

лесная растительность распространялась на Таймыре почти до северного побережья.

В зарослях, очевидно, немало зайцев: повсюду видны обгрызанные ими нижние ветви ив. Здесь нам впервые встретился синегрудый самец варакушки (*Suaeposylvia svesica*). Растений, встречававшихся ранее в зарослях ивы, почему-то нет, но зато в других местах мы обнаружили около 30 новых видов трав. Некоторые из них, например лютик Турнера (*Ranunculus turneri*), овсяница красная (*Festuca rub-*

га) — обитатели более южных районов. Другие, наоборот, характерны для флоры Арктики: это остролодочник грязный (*Oxytropis sordida*) и осока морская (*Carex maritima*). Очевидно, выше по реке, где мы проплывали, даже для таких видов климат слишком суров. Весьма характерно, что многие аркто-альпийские виды растений отсутствуют на всей обследованной территории, а некоторые, например тофиельдию (*Tofieldia sossinea*), иву сетчатую (*Salix reticulata*), мы встречали лишь изредка. Вероятно, и для них климат оказывается мало подходящим.

Однажды утром нас посетила пара полярных волков. Линяющий, почти белый самец с расстояния 15 м внимательно сле-

дил за мои движениями. Моя фигура, очевидно, не произвела на него никакого впечатления, но, когда из палатки показался внушительных габаритов мой спутник, волк обратился в бегство. Откуда-то сбоку к нему присоединилась самка, и вскоре они исчезли за увалом.

В подмываемых рекой надпойменных террасах нередко видны глубокие ниши: это вытаивают погребенные льды. Процесс этот идет весьма интенсивно, и над некоторыми нишами словно ковер нависает тундровая дернина.

В низовьях р. Малахайтари горы далеко отступают, огромное пространство вдоль реки покрывают пески. Появляются растения, которые хорошо приживаются на таком песчаном субстрате: щавель (*Rumex graminifolius*), мытник (*Pedicularis villosa*), тонконог (*Koeleria asiatica*), гвоздика (*Dianthus repens*). В местах, где почва не песчаная, есть и другие виды: мелколепестник Комарова (*Erigeron komarovii*), астрагал норвежский (*Astragalus norvegicus*) и др.

Птичьё население обогатилось бургомистром (*Larus hyperboreus*), крачкой (*Sterna paradisea*), еще одним поморником (*Stercorarius parasiticus*) и тулесом (*Squatrola squatarola*). Оказалось, что тулес замещает в песчаных биотопах ржанку, птицу обычную для тех районов по рекам Малахайтари и Бикада-Нгуоме, где распространены суглинки. Песчаная толща продолжаетсь вдоль Бикада-Нгуоме еще около 20 км вниз от устья Малахайтари. На ее откосах, обращенных к югу и спускающихся к реке, местами видны пышные луговины с ромашкой (*Matricaria phaeocephala*), незабудкой, а на влажных участках растет валериана (*Valeriana capitata*).

И снова в большом обилии нам попадаются виды растений, характерные для более южных районов: остролодочник Адамса (*Oxytropis adamsiana*), кобрезия (*Kobresia sibirica*), ива копеечная (*Salix pumularia*), тимьян (*Thymus serpyllum*) и др.

Увалистый ландшафт, но уже с суглинком, а не с песком, продолжается до самого Таймырского озера, в 10 км от которого расположен стационар по акклиматизации овцебыков. Здесь и закончилась наша экспедиция.

Каковы же ее результаты? На маршруте от ледника Неожиданного до Таймырского озера мы насчитали около 250 видов сосудистых растений, т. е. вдвое больше, чем в районе самого ледника; более 40 видов птиц и 6 видов млекопитающих обитают постоянно или появляются только



Овцебык на Таймыре.

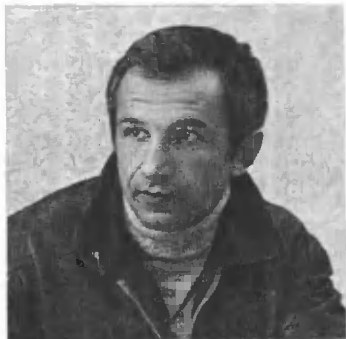
на некоторое время в этом суровом крае. На Таймыре подтвердилась закономерность, выявленная раньше на Чукотке: группа видов, достигающих в каком-либо районе предела своего географического распространения, рассредоточена по различным ландшафтам. Это в равной мере касается и растений, и птиц.

Действительно, изучая флору и фауну в горах и предгорьях восточного Бырранга, мы часто встречали одни и те же растения и птиц в самых разных сообществах. Появляющиеся на маршруте новые виды не были связаны с какими-то определенными природными комплексами, менялась только численность растений и птиц.

В этом первом путешествии в высокогорную часть Бырранга мы обнаружили, что растительный и животный мир Арктики полон своих неожиданностей. Наши представления об арктической природе и ее истории не всегда совпадают с тем, что обнаруживаешь при непосредственном знакомстве. Горы Бырранга изучены еще крайне недостаточно и ждут новых исследователей, жар энтузиазма которых способен противостоять холодному климату.

## Через Центральную Антарктиду

М. Б. Дюргеров



Марк Борисович Дюргеров, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела гляциологии Института географии АН СССР. Занимается изучением процессов массо- и энергообмена ледников. Участник антарктических экспедиций 1976—1977, 1980—1982 гг.

В путешествии по Центральной Антарктиде мало романтичного. Если нет профессионального интереса, научного или спортивного, то долгое пребывание в этой части ледяного континента крайне утомительно — пейзаж самый примитивный. Впереди нетронутый снег, сзади тысяча километров санного следа — до станции Мирный, где начался наш санно-гусеничный поход. Где-то там, далеко у берега, на шельфах морей Росса и Уэдделла, еще нетронутые запасы нефти и газа, в горах Принс-Чарльз — месторождения угля, золото и уран в Трансантарктических горах. Все эти и другие ресурсы в Антарктиде встречаются, наверное, не реже, чем в других районах Земли, и, как и повсюду, они не возобновляемы. А вот главному жизненному ресурсу — пресной воде — в какой-то мере повезло, и особенно той воде, которая движется сейчас под нашими ногами. Медленно течет огромная река с самой чистой на Земле водой — океан льда — Антарктида. Эта главная кладовая пресной воды далеко от центров цивилизации, и, может быть, в этом тоже великая целесообразность Природы?

Двигается наш санно-гусеничный поезд день, неделю, месяц — неизменная снежная пустыня, то солнечная, то метельная. И тут только во всей масштабно-

сти начинаешь осознавать и ощущать ставшие уже тривиальными факты и цифры.

### СТАТЬИ ЛЕДОВОГО БАЛАНСА

В ледниковом покрове Антарктиды сосредоточено свыше 60% запасов пресной воды нашей планеты. Объем льда около 30 млн км<sup>3</sup>. Обмен этой массы льда происходит в среднем за 10 тыс. лет. За это же время все реки Земли пропускают через свои русла такой объем воды 15 раз. Ежегодно ледник Антарктиды разгружает в Южный океан 2—3 тыс. км<sup>3</sup> льда в виде айсбергов (почти 5% годового стока всех рек), и это абсолютно преобладающая статья расхода ледникового покрова. Эта убыль не безвозвратна, она компенсируется за счет твердых атмосферных осадков, снега. Только в узкой прибрежной полосе происходит таяние, сопровождающееся стоком воды с поверхности; всего около 15 км<sup>3</sup> в год, т. е. меньше 1% от убыли льда в результате айсбергового стока. Снег, выпадающий и откладывающийся на всей остальной территории Антарктиды (150—160 мм в год, в водном эквиваленте) — единственный источник питания ледникового покрова

Как же соотносятся между собою статьи прихода и расхода льда в Антаркти-



де, наступает или отступает ледниковый покров? Вопрос, который, казалось бы, решается простым бухгалтерским подсчетом бюджета льда, или баланса массы, по гляциологической терминологии. А в немто и заключается основная проблема ледникового покрова, и в значительной степени корректная оценка водного баланса планеты. Подсчеты баланса массы Антарктического ледника делались много раз, но суммарная ошибка подсчета дает неопределенность знака баланса. До сих пор нельзя сказать с уверенностью, какова тенденция развития ледникового покрова.

Проблема оказалась действительно сложной; национальным экспедициям десятка стран пока не удается собрать необходимого количества данных и определить, например, скорость движения льда на контакте с подстилающей поверхностью, а также уточнить некоторые второстепенные статьи баланса массы, такие как снос снега ветром в океан, баланс таяние-намерзание на нижней поверхности шельфовых ледников и т. д. А может быть, они, эти статьи, и не какие уж второстепенные? Нет уверенности и в определении суммарной ошибки в подсчете баланса, поскольку не устранены существенные систематические погрешности.

По мере применения более совершенных методов и аппаратуры для определения толщины льда несколько раз уточнялись его запасы. Внедрение в практику гляциологических исследований радиолокационного метода<sup>1</sup> почти полностью вытеснило такие геофизические методы, как сейсмический и гравиметрический. Десятки тысяч точек воздушной радиолокационной съемки позволили построить новую карту толщины ледникового покрова<sup>2</sup>. Толщина льда оказалась на 600—700 м, а объем льда на 6 млн км<sup>3</sup> больше прежних оценок и составляет, по самым последним данным,  $30 \pm 2,5$  млн км<sup>3</sup>. Но и сейчас нет уверенности в точности полученных данных, пока они не будут подтверждены прямыми измерениями, хотя бы в нескольких буровых скважинах, пройденных до ложа ледника. Пока только одна глубокая скважина в Антарктиде на американской станции Берд достигла ложа, ее глубина — 2164 м.

Камнем преткновения в определении баланса массы Антарктического ледника до недавнего времени была также проблема измерения скорости его движения. А она очень изменчива по площади: от нескольких метров в год на ледораздельных куполах до сотен метров в год в крайних областях шельфовых и выводных ледников. Но вот, благодаря запуску спутников с полярными орбитами, доплеровским навигационным системам ориентирования и определения координат, появилась возможность измерить скорость смещения поверхности. В центральных частях Антарктиды, где отсутствуют неподвижные ориентиры относительно движущейся поверхности ледника, устанавливаются реперы, геодезические знаки. Их координаты и высота определяются доплеровским методом относительно фиксированных с большой точностью сигналов полярных спутников. Повторные измерения координат реперов с интервалом в год или более (в зависимости от абсолютной величины скорости движения ледника) дают смещение, скорость и вектор движения льда. Такая задача сейчас широко реализуется в наземных (вернее, наледных) санно-гусеничных походах.

Теперь задача измерения ледового баланса может быть сведена к аналогичной по определению водного баланса речного бассейна. Расход льда через избранное сечение (створ) между линиями тока льда вычисляется по известной поверхностной скорости и толщине льда, определенной радиолокационным способом. Приход — это количество атмосферных осадков, которое в среднем за многолетний период откладывается на площади ледосборного бассейна, расположенной выше створа. Если рассматривать Антарктический ледник как несколько крупных бассейнов или потоков льда атмосферного происхождения (это, пожалуй, наиболее удачное определение ледника, сделанное П. А. Шумским), то новое направление в изучении баланса массы как раз и призвано к организации измерений по таким частным бассейнам. Любой такой поток или бассейн в его естественных границах, проходящих по слабо возвышающимся в рельефе ледосборным гребням, имеет впечатляющие размеры в сотни тысяч квадратных километров. Сток льда бассейна при этом идет в океан через естественный замыкающий створ бассейна — ледяной барьер, обрывающийся в океан. А верховья удалены на многие сотни километров и упираются в гребни ледоразделов. Перепад высот

<sup>1</sup> Богородский В. В., Трепов Г. В. — Бюлл. Сов. ант. экспед., 197В, № 97, с. 104.

<sup>2</sup> Drewry D. J., Jordan S. R., Jankowski E. — Ann. Glaciol., 1982, v. 3, p. 83.

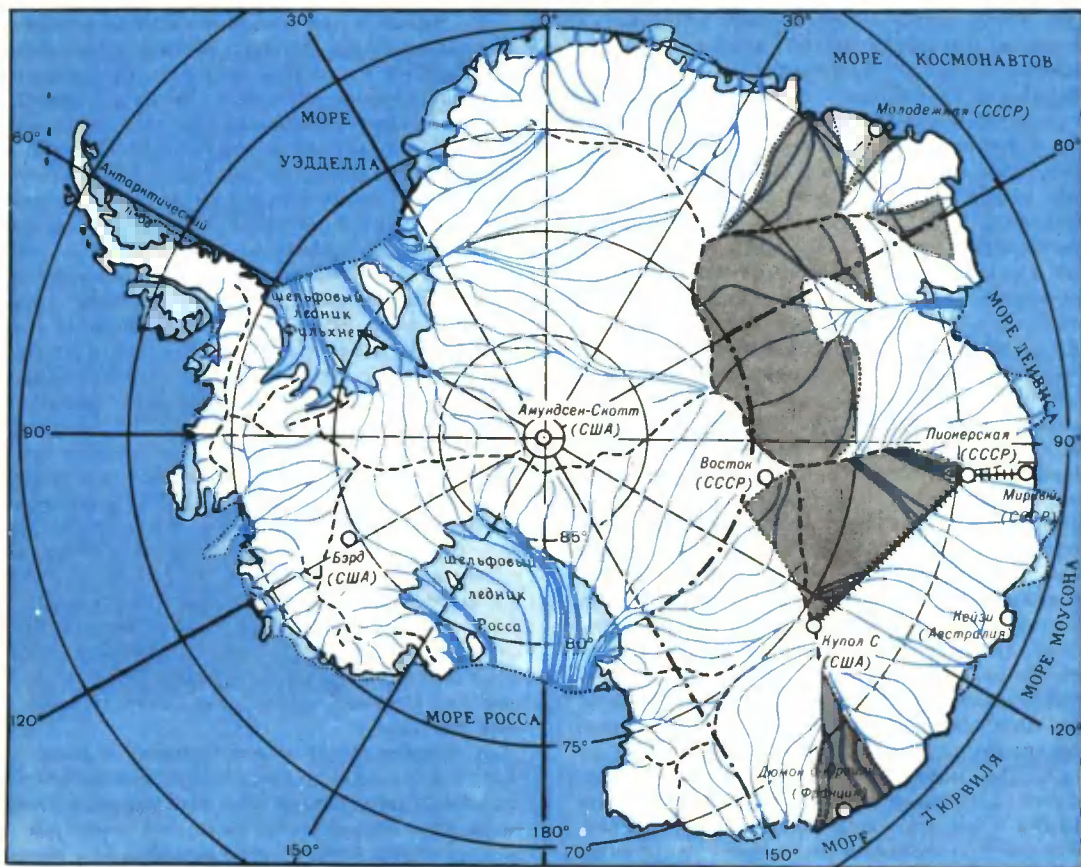








Схема расположения основных ледосборных бассейнов Антарктиды.

-  Основные линии тока льда
-  Ледоразделы
-  Границы района исследований по программе МАГП
-  Маршрут санно-гусеничного похода Мирный — Купол С
-  Территория, для которой определен баланс массы льда
-  Станции

между нижней и верхней границами в бассейне достигает 2—4 км. Естественно поэтому, что и основные параметры прихода — расхода в пределах бассейна изменяются в большом диапазоне, на 1—2 порядка.

Когда общий подход к решению проблемы был как будто-бы найден, обнаружилось, что задачу такого масштаба можно решить лишь при тесной кооперации специалистов из разных стран.

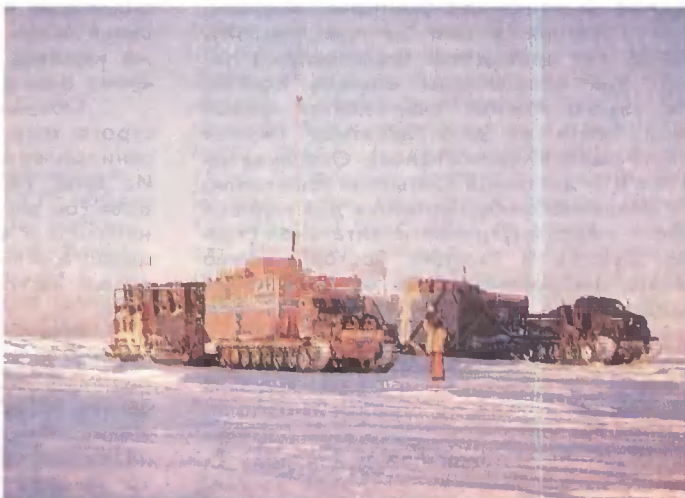
Материк, не имеющий государственных границ, всегда славился тесным кооперированием научных исследований. В 1969 г. в Париже были сформулированы в общих чертах цели и задачи Международного антарктического гляциологического проекта (МАГП). Главная его задача — изучение современного и древнего режима оледенения и прогноз будущего развития значительной части антарктического ледникового покрова. Основные страны-участницы Проекта: Австралия, Великобритания, СССР, США и Франция. Ведущими гляциологами этих стран был определен район исследований, который охватывает малоизученную часть Восточной Антарктиды между 60-м и 160-м меридианами восточной долготы, береговой линией и 80-й параллелью. Огромная территория занимает центральную часть и восточный



**Первая советская антарктическая станция Мирный. Отсюда ежегодно отправляются санно-гусеничные поезда в Центральную Антарктиду.**



**Остановка санно-гусеничного поезда.**



**Автоматическая походная метеостанция, изготовленная на кафедре ядерной физики Белорусского университета, проходит испытания.**



склон самого большого в Антарктиде Восточно-Антарктического купола. В район исследований целиком входят три крупных ледосборных бассейна, границы между которыми проходят по ледоразделам, спускающимся от вершинной части купола к берегам в районе станций Моусон, Мирный и Дюмон-д'Юрвиль.

От этих прибрежных антарктических станций, да еще от австралийской станции Кейзи, организуются далекие внутриконтинентальные походы для исследования крупных ледосборных бассейнов Восточной Антарктиды по программе МАГП.

## ПОХОДНАЯ РАБОТА

Внутриконтинентальный санно-гусеничный поход (раньше такие походы назывались санно-тракторными) — большое событие в жизни обсерватории Мирный; к нему готовятся всю долгую зиму. Уже 25 лет проводятся транспортные походы для обеспечения станции Восток. Для такого похода снаряжается целый поезд почти из двух десятков тягачей и снегоходов «Харьковчанок». Основная задача его — доставить полтысячи тонн топлива и различного оборудования для годовой работы нашей внутриконтинентальной станции. Дорога к станции Восток, можно сказать, наезженная: за 25 лет ежегодных походов даже колени не успевают снегом зарастать.

Другое дело — поход по новому маршруту в центр Антарктиды. Никаких ориентиров, только по стрелке гиropолукомпаса, да по астрономическим определениям. Первый такой поход к куполу С, одному из высоких ледоразделов Восточной Антарктиды, провели мы в 1977 г., а сейчас, в 1982 г., идем уже в шестой раз. Кажется, некоторые снежные заструги узнаешь в лицо.

Гляциогеомагнитный поход по программе МАГП стал традицией, проводится ежегодно. Расстояние от Мирного до купола С чуть больше 1500 км.

Конец января, антарктическое лето на склоне. В Мирном еще тепло. Потоки талой воды прорезали во льду глубокие каналы, через которые с трудом переползает могучая «Харьковчанка». За ней сани с двумя топливными емкостями по 14 кубов каждая. Да сверху, на обрешетке, бочки. Всего тонн пятьдесят веса на крюке, только-только хватит на поход. В оба конца. Не отставая, сзади, по следу тянет свои сани тягач. На санях балок, целый дом. В нем все оборудование — жилье, дизель-

ная для снабжения электроэнергией камбуза и аппаратуры. Здесь же в балке и все прочие удобства; на стоянках удается даже помыться.

Сразу от Мирного начинается крутой подъем — склон антарктического ледникового покрова (в разрезе ледник напоминает хлебный жаравай). Несмотря на обычную походную скорость 5—6 км/час, быстро набираем высоту, круто. У седьмого километра обязательная остановка. Здесь, в глубокой снежной пещере, холодный склад обсерватории (по антарктическим законам такие склады обозначаются на картах): запасы мяса, рыбы и всякой всячины холодного хранения. Быстрая загрузка всего предназначенного в поход, последние прощания с друзьями, и замолотили гусеницы по жесткому ветровому насту, начав свой двухмесячный путь. В приоткрытую дверь балка еще несколько часов можно видеть синий океан и белые айсберги, и временами кажется, отблескивает лучом ледяной купол о-ва Дригальского.

Обязанности в походе распределены строго, хотя помогают друг другу все, а механикам-водителям — святое дело. Их двое, по одному на каждую машину. Врач (он же повар), радист, штурман, магнитологи и инженер-электронщик, два гляциолога. В чете похода из шести участвовали австралийские геофизики и гляциологи.

Режим работы: подъем в шесть, разогрев двигателей, заготовка снега для решения водной проблемы, метеорологические наблюдения, завтрак и начало движения. Каждые десять километров остановка для замены пальцев гусеничной ленты. Пальцы лопаются в большом количестве из-за нагрузки и сильного мороза. Через шесть-семь часов движения остановка на обед, часа на два. Заправляются люди и машины. Осмотр техники, а значит, хоть небольшой, но ремонт. Остановка на ночь в 8—10 вечера. Снова осмотр, смазка бортовых передач, заготовка снега, гляциологические работы, ужин.

Почти полночь. Радист вручает радиogramмы из дома, указания руководства экспедиции. После ужина разговоры, воспоминания, планы на завтра. Сон короткий, но крепкий, что называется эффективным. Все идет гладко, пока нет серьезных поломок техники или непредвиденных стоянок из-за непогоды. А в общем, поход — это серьезная часть антарктической жизни. Как говорят полярянки: «Кто в походе не бывал, Антарктиды не видал».

Нашим коллегам по походу, сотруд-



Участники первого гляциогеомагнитного похода на купол С.

никам Института земного магнетизма и распространения радиоволн АН СССР, предстоит в очередной раз провести инспекцию автоматических магнитно-вариационных станций (АМВС). Такие станции в течение года работают в режиме записи вариации магнитного поля Земли. От станции Пионерская до купола С их семь, примерно через каждые 150—200 км.

Шестой поход на купол С. Для некоторых он первый в жизни, а для большинства п-й. И кому надоело взирать на зубчатую, как стиральная доска, снежную бесконечность, занимается в балке своими делами.

#### НА СНЕГОМЕРНОМ ПОЛИГОНЕ

Сегодня особый день — приход на полигон. Радионуклидный генератор «РИТЕГ» — блестящий полуметровой высоты цилиндр — виден километров за пять. За километр отчетливо различимы веи снегомерного полигона, по десяти металлических труб, торчащих из снега на расстоянии 100 м одна от другой и составленных по двум взаимно перпендикулярным профилям. Они ориентированы по сторонам света. На каждой веи сверху деревянный оголовок — табличка с номером. В центре полигона высокая мачта. Это «ГМ» — геодезическая марка, точка установки приемной антенны доплеровской навигационной системы.

«Харьковчанка», проседая глубоко в снегу, заходит с наветренной стороны к «РИТЕГу», загораживает его от ветра. Даже не его, а станцию — она в пяти метрах, в глубоком снежном шурфе. Год проработала в автоматическом режиме записи. Рядом с «Харьковчанкой» встает тягач. Заглушены двигатели. Тишина. Под ногами гулко проседают пласты фирна. Температура опускается за минус пятьдесят. Наступил февраль — антарктическая осень, время, когда в Центральной Антарктиде уличные работы, а особенно походы, пора прекращать.

Днем еще сравнительно тепло, минус тридцать, при безветрии солнышко пригревает. Поток радиации на высоте 3 км над уровнем моря самый большой на Земле, 1,6—1,7 кал · см<sup>-2</sup> в минуту, близок к метеорологической солнечной постоянной. Но альbedo снега почти 90%, верхнему слою достается всего 10% коротковолновой радиации. И этот поток слегка отепляет снежную толщу. Волна проникает до глубины 10—15 м, постепенно угасая. На такой глубине не отмечается колебаний температуры, и она здесь близка к средней многолетней температуре воздуха. Измеряя температуру в скважинах, можно получить эту важную климатическую характеристику района.

Однако лицу и рукам солнца достается довольно, это не снег. Можно и обгореть и обморозиться одновременно. Второе случается значительно чаще.

Магнитологи приступают к откапыванию станции АМВС и готовят сменные блоки электроники, аккумуляторы, заряжают кассету фотопленкой.

Гляциологи обходят веи снегомерного полигона. Измеряется высота каждой

веки от поверхности до верха оголовника. Такие ежегодные отсчеты дают сведения о накоплении снега. Одновременно измеряется его плотность. Обычно для антарктического снега она меняется от места к месту случайным образом в диапазоне величин  $0,20—0,50 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ . В пределах достаточно больших территорий, по крайней мере не меньше площади занимаемой снегомерным полигоном, распределение плотности описывается гауссовским законом. То же можно сказать и о толщине накапливающегося за год снега; поле однородно и изотропно, и территория представляет собой своеобразный огромный осадкомер. За счет массовости измерений устраняются случайные погрешности, делающие стандартные осадкомерные измерения в Антарктиде крайне ненадежными.

От побережья в сторону Антарктического плато наблюдается закономерное изменение плотности и толщины слоя годовой аккумуляции снега. В прибрежных частях за год накапливается более  $1—2 \text{ м}$  ( $500—1000 \text{ мм}$  в слое воды), а на станции Восток, например, или куполе С всего  $8—10 \text{ см}$  ( $30—40 \text{ мм}$  в слое воды). Плотность поверхностного слоя снега тоже уменьшается от  $0,5$  до  $0,3 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ . Наибольшей плотности и твердости снег достигает в прибрежном поясе шириной около  $600 \text{ км}$ , где располагается зона стоковых ветров Антарктиды<sup>3</sup>. Тягачи движутся здесь по спрессованному ветром снегу, не проваливаясь. 50-тонные сани почти не оставляют следа. Снежные, дельфинообразной формы заструги — страшное испытание для гусениц тягачей, аппаратуры и организма полярников. Морская качка не идет в сравнение с антарктической походной тряской. Привязывается, затягивается проволокой, винтами все, начиная от приборов, кончая кастрюлями с компотом и супом. Незаметно вывинчиваются объективы у фотоаппаратов, и не всегда это вовремя обнаруживается.

Но вот где-то с высоты  $2900—3000 \text{ м}$  кончается склон антарктического покрова, выполаживается поверхность, прекращается стоковый ветер. Почти тишина, слабенький поземок, и почти постоянно безоблачное небо: Центральная Антарктида — снежная пустыня. Снег становится рыхлым, и тягачи вязнут. Колея за санями уже в полметра глубиной. Сухое трение

стального полоза по шероховатой поверхности приводит к оплавлению снежинок, полоз нагревается на  $10—12^\circ$  по сравнению со снегом. Останавливать сани нельзя сразу, только с протяжкой — прихватит, не сдернуть и двойной тягой. Гусеницы, вероятно, нагреваются еще больше. Видно, как гусеничная цепь проходит по верху катков, она влажная, иногда даже с капельками воды. И через несколько секунд уходит в снег. А там минус пятьдесят! Какой же металл выдержит такие перепады под нарузкой, да тысячи раз ежедневно. Вот и лопаются, крошатся соединяющие звенья пальцы.

Измерения на полигоне закончены, и побыстрее в балок. Надо переписать дневниковые записи; грифель тоже, как и пальцы, плохо работает на морозе.

Геофизик из Мельбурна Росс Уолш, участник нашего похода, крепит антенну к «ГМ». Кабель от нее заведен в научный отсек «Харьковчанки». На поролоновых амортизаторах и пружинящих растяжках покоится чудо навигационной техники «JMR-3». Росс вставляет в аппарат магнитофонную кассету и набирает на пульте параметры орбит трех полярных спутников (на самом деле их больше, но орбиты у трех имеют наиболее точные параметры). Началась «привязка» точки нашего стояния, определение ее координат и высоты поверхности.

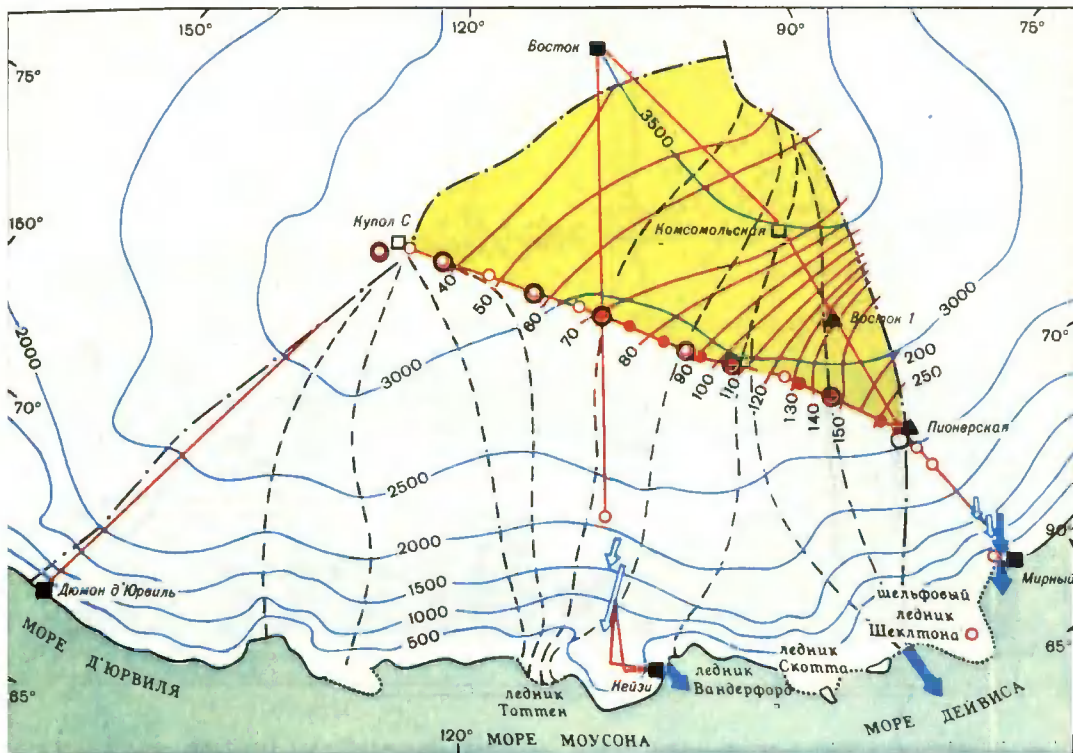
Пять лет назад, в нашем первом походе к куполу С, Нил Янг, австралийский гляциолог, установил такие геодезические мачты и определил их координаты<sup>4</sup>. Тогда у нас были весьма общие представления о накоплении снега, скорости движения ледника и вообще о всей природе, если таким прекрасным словом можно назвать примитивное однообразие Центральной Антарктиды. Все, что было известно, основывалось на картах «Атласа Антарктики», которые были построены по экстраполированным на этот район данным<sup>5</sup>. Территория площадью в миллион квадратных километров, которую пересекает линия Пионерская — купол С ( $1150 \text{ км}$ ), «упрекала» почти полным отсутствием прямых измерений.

Сейчас повторные измерения дали новые координаты точек, а сопоставление с первыми измерениями зарегистрировало смещение мачт, т. е. скорости движения

<sup>3</sup> Цигельницкий И. И. Стоковые ветры Антарктиды. — Природа, 1982, № 11, с. 28.

<sup>4</sup> Young N. W.— J. Glaciol., 1979, v. 24 (90), p. 77.

<sup>5</sup> Атлас Антарктики, т. 1. М., 1966.



Один из крупных ледосборных бассейнов Восточной Антарктиды, где экспедиции СССР, Австралии, США, Франции и Англии проводят комплексные исследования по программе МАГП.

- Границы ледосборного бассейна
- Основные линии тока льда
- Высота поверхности ледника, м
- Маршруты основных санно-гусеничных походов

Скорость движения льда, м/год:

- 10
- 50
- 500

Научные станции:

- действующие постоянно
- временно
- закрытые

Геодезические пункты измерения скорости движения леднике доплеровским методом:

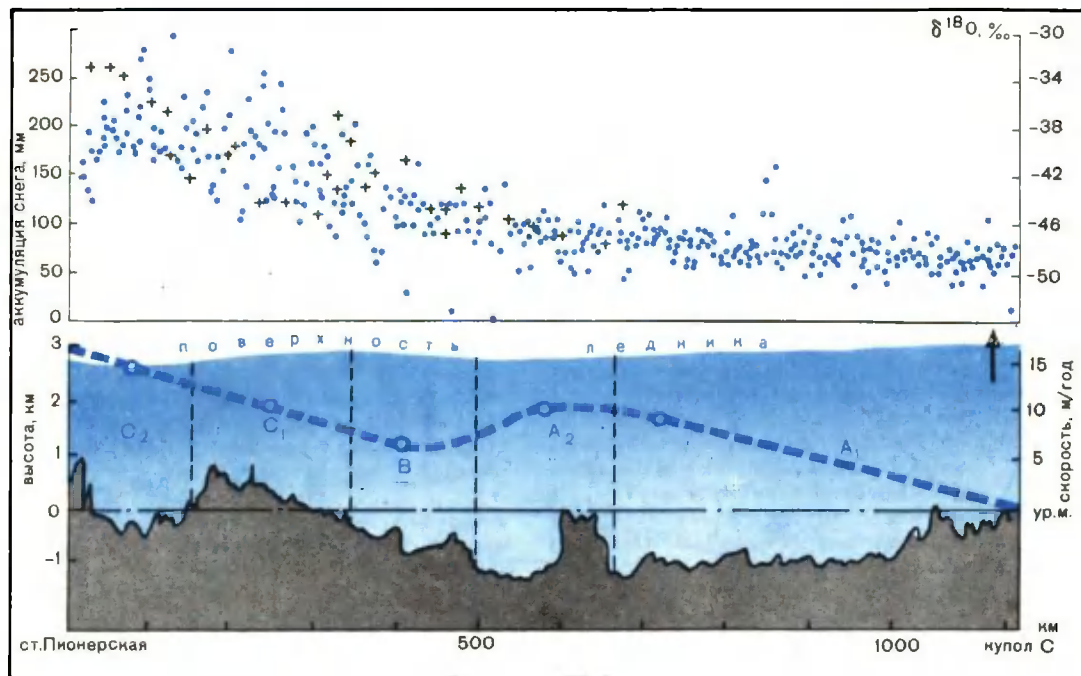
- измеренные несколько раз
- один раз
- Магнитно-вариационные станции и гляциологические полигоны
- Часть ледосборного бассейна, для которой рассчитан баланс массы
- Аккумуляция снега в миллиметрах водного эквивалента

ледника; ошибка не выше  $\pm(1-2)$  м, так считает Росс.

Австралийские гляциологи занимают одну из ведущих позиций в исследовании динамики ледникового покрова Антаркти-

ды. Поэтому, когда Советская антарктическая экспедиция подготовила первый гляциогеомагнитный поход в сторону купола С по программе МАГП, австралийцы захотели участвовать в походе. Дело еще





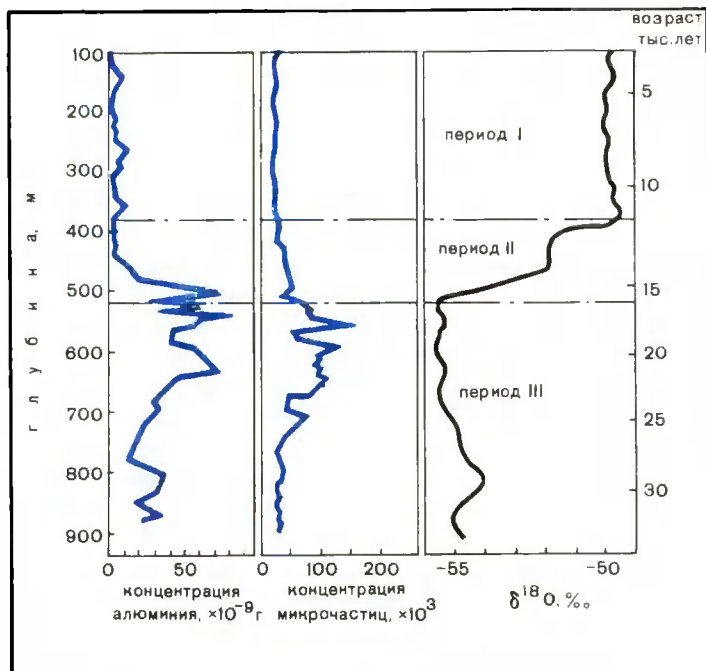
Основные характеристики баланса массы ледникового покрова на участке от станции Пионерская до купола С. Вверху — аккумуляция снега [средние за пятилетия величины, цветные точки] и содержание изотопа<sup>18</sup> O по отношению к содержанию этого изотопа в эталонной пробе морской воды ( $\delta$ ); знак минус на шкале означает меньше, чем у эталона, содержание. Внизу — толщина льда, подледный рельеф и скорость движения льда (пунктир). По мере повышения поверхности ледникового покрова Антарктиды от станции Пионерская [2742 м над ур. м.] до купола С [3240 м над ур. м.] и с ростом удаленности от побережья уменьшается количество выпадающих осадков и их аккумуляция на поверхности. В том же направлении понижается и температура воздуха, а соответственно ей и относительное содержание изотопа <sup>18</sup>O в осадках. Скорость движения ледника уменьшается в сторону купола С, где становится близкой к нулю. Буквами А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, В, С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub> обозначены участки ледниковой толщи, для которых определена средняя скорость движения и рассчитан баланс массы. На большей части маршрута рельеф подстилающего ледник ложа расположен ниже уровня моря, и толщина ледника достигает местами 4 км. Стрелкой на нижнем рисунке справа показано положение скважины, пробуренной в 1978—1979 гг.

и в том, что наш маршрут пересекает в верхней части крупный ледосборный бассейн, в прибрежной части которого находится австралийская станция Кейзи, в районе которой проводятся большие гляциологические работы и откуда совершен ряд внутриконтинентальных походов, один из них до станции Восток в 1962 г.

Ледосборный бассейн — объект нашего изучения — почти не исследован в центральной части. Традиционно вдоль его западной границы, по линии Мирный — Восток работает советская экспедиция, на восточной границе от станции Дюмонд'Юрвиль в сторону купола С — французская экспедиция. На самом куполе — американская полевая база, снежный аэродром. От купола С отходят ледораздельные гребни, скорость движения льда в центре купола наименьшая. Именно поэтому на куполах наиболее целесообразно проводить специальные гляциологические работы по реконструкциям палеоклимата, палеобаланса, состава воздуха, динамики ледникового покрова. Ледник в наиболее возвышенных, а значит, и наиболее холодных участках материка практически стационарен в течение тысячелетий. Более чем трехкилометровая толща льда на куполе С хранит информацию по крайней мере за 100 тыс. лет.

На бумажной ленте перфоратора ЭВМ навигационного прибора «JMR»-3 появилась первая информация о местоположении нашего похода. Росс убедился в исправности работы аппаратуры, и, выпрыгнув в герметический боковой люк «Харьковчанки», мы пошли ужинать в балок. Кок-док, по удачному определению Росс, не перестает удивлять разнообразием

Характеристики ледяного керна из скважины, пробуренной на куполе С: концентрация алюминия и микрочастиц радиусом более 0,4 мкм, относительное содержание ( $\delta$ ) изотопа кислорода  $^{18}\text{O}$ . По содержанию стабильного изотопа кислорода установлен возраст льда и выделены крупные гляциоклиматические периоды. Максимум оледенения отмечается примерно 18 тыс. лет назад [период III на схеме]. В это время возрастает содержание микрочастиц пыли в керне и увеличивается концентрация алюминия. Вероятнее всего, в ледниковом периоде, когда уровень Мирового океана был наиболее низким, на месте современных мелководий у берегов Южной Америки, Африки и Австралии существовали пустыни и пыль оттуда переносилась в Антарктиду, чему способствовал усилившийся в это время меридиональный перенос воздушных масс. Период II соответствует потеплению, в это время распались ледниковые покровы Северной Америки и Европы. Последние 10 тыс. лет [период I на схеме] характеризуются устойчивыми климатическими условиями и довольно постоянной скоростью аккумуляции снега.



блюд. Только пирожки с пятью видами начинки: очевидно, по индивидуальным заказам всех одиннадцати участников похода. При этом вчера Володя Ганджа лихо вырвал больные зубы у двух любителей сладкого и полностью опроверг слухи о своей девалификации как хирурга.

Полной темноты все-таки еще нет, и на улице можно работать, хотя ниже пятидесяти градусов и ветерок метров пять в секунду. За три часа посменной работы удалось выкопать 3-метровой глубины шурф. Защищены лопаткой вертикальные стенки, и началась скрупулезная работа по описанию строения снежно-фирновой толщи. Приходится очень внимательно разглядывать каждый сантиметр, чтобы обнаружить небольшую разницу между слоями. Она — в некотором отличии размеров снежных зерен, 1—2 мм, в плотности (2—3 сотых доли грамма), в горизонтах разрыхления, разделенных тоненькими, в полмиллиметра, ветровыми и радиационными корочками. Основные инструменты — плотномер, лупа, тесьманная рулетка, простенькая установка для микрофотографирования, хороший острый нож, ну и, конечно, лопата. К этому необходимы интуиция и побольше профессионального навыка, и можно сделать предварительное «расчленение» всей толщи на сезонные, летние и зимние слои.

В среднем зимний снег в Центральной Антарктиде более плотный, и размеры зерен меньше, чем у летнего, поскольку температура ниже и больше скорость ветра. Летний снег слабее уплотнен, и на его поверхности обычно имеется одна или целая серия тоненьких радиационных корочек. Они образуются в результате некоторого оплавления верхнего миллиметрового слоя снега. Солнечной радиации для этого хватает. Чаще всего такая корочка и служит разделительной границей между летними и зимними слоями. С глубиной различия стираются. Вот так, измеряя, разделяя на сезоны, объединяя их в последовательный ряд лет, сверху вниз, от более молодых к древним, производят так называемую стратиграфическую датировку снежно-фирновых отложений. В трехметровом разрезе получилось 20 лет. Пока сделана только первая, качественная оценка возраста, а значит, и скорости аккумуляции, которая в Центральной Антарктиде соответствует количеству осадков.

Очередь за более точными количественными анализами. Они будут получены после обработки уже в Москве и в лаборатории Гренобля. Пока же мы отбираем образцы снега.

В вертикальную стенку шурфа через каждые 3 см втыкаются спички, очень красивая лесенка, снежные ступеньки кото-

рой, а их в этот раз оказалось ровно 100, вырезаются ножом и аккуратно переправляются в полиэтиленовый пакет. Росс завязывает его тесемкой, непрерывно дуя на пальцы. Нашего терпения хватает на десяток проб, и в очередной раз бежим греться в балок.

Гудит соляровая печка-капельница. По правилам быстрого согревания раздеваемся до белья, пьем горячий чай. На столе заготовленные заранее полиэтиленовые баночки для образцов снега. В условиях Центральной Антарктиды, Гренландии, на высочайших вершинах Земли, покрытых ледниками, т. е. там, где фазовые переходы минимальны, снег с годами мало изменяет свой изотопно-химический состав. По отношению к содержанию в слоях снега некоторых стабильных и радиоактивных изотопов, например  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ , можно выделить отдельные реперные горизонты, а также летние и зимние слои аккумуляции снега<sup>6</sup>.

Интерпретация колебаний изотопного состава фирна и льда зависит прежде всего от изотопного состава свежеснежавших осадков. В летних отложениях относительное содержание  $^{18}\text{O}$  и  $^2\text{H}$  выше, чем в зимних. Хотя часто вариации состава вызваны местными условиями и отдельными снегопадами. По пикам суммарной  $\beta$ -активности в стратиграфическом разрезе снежно-фирновой толщи можно также определить возраст. Он соответствует годам наиболее интенсивных испытаний ядерного оружия. Таких реперных горизонтов с высокой суммарной  $\beta$ -активностью несколько, начиная с 1955 г. Очень интересны исследования палеоклиматических условий по измерениям содержания пыли и вулканического пепла в ледяном керне. По анализу керна из 900-метровой скважины, пробуренной на куполе С, оказалось, что содержание пыли в образцах имеет по одному годовому минимуму и одному максимуму. Японские работы в другом районе Восточной Антарктиды, на плато Мидзухо, указывают на существование двух минимумов и двух максимумов концентрации пыли. Возможно, эти различия региональны, но при таких тонких анализах также очень важна унификация методики и приборов.

И вот сейчас Росс отбирает образцы

снега из каждого горизонта по 200 граммов, а по нашей программе достаточно 50. Мы отправляем пробы в лабораторию в жидком, растопленном виде, а Росс прогоняет образцы через фильтровальный аппарат на активные, с копеечную монету фильтры. Пока мы отбираем образцы, аппарат работает, тихо урчит в углу его моторчик.

Наши работы на полигоне закончены. Солнце высоко. Механики-водители запускают двигатели. До купола С осталось сто километров, два дня пути. Впереди последний из семи полигонов по маршруту Пионерская — Купол С.

За километр до станции Купол С (Dome C) автоматическая метеостанция. Источником ее питания служит изотопный генератор, о чем предупреждает знак — с заряженным фотоаппаратом не подходить. «Харьковчанка» встала в 200 м от базы Dome C. Два ряда цилиндрических темно-зеленых домиков-ангаров, по пяти в ряду. Одна улица — вся станция. Просто летняя полевая база. Сразу за домиками укатанная полоса снежного аэродрома.

Из письма, оставленного для нас в кают-компании, узнаем, что уже месяц, как последнюю группу сотрудников вывезли «Геркулесом» в Мак-Мердо, прибрежную станцию — столицу американской антарктической экспедиции. Работы на куполе С прекращаются обычно в конце января, и теперь станция законсервирована до следующего года.

Вся территория станции и ближайшие окрестности буквально утыканы разноцветными флажками. Синие, красные, зеленые, черные, они привязаны к бамбуковым шестам. Одни обозначают места хранения под снегом бочек с дизельным топливом или техническим маслом, другие указывают направление определенных маршрутов. На многих шестах, под прозрачной лентой, наклеены полоски миллиметровки — это снегомерные вешки.

В течение нескольких полевых сезонов на куполе С работали французские гляциологи. Ярко красный металлический вагончик на санях — гляциологическая лаборатория Клода Лориуса, гляциолога из Гренобля. Рядом с вагончиком огороженная флажками площадка. Здесь в 1978—1979 гг. была пробурена скважина глубиной 905 м, и весь ледовый керн в специальных тубусах переправлен для дальнейшей обработки в Гренобль. Датировка керна изотопными методами по-

<sup>6</sup> Гордиенко Ф. Г., Котляков В. М. Роль изотопов кислорода и дейтерия в гляциологических исследованиях Антарктиды. — В сб.: Антарктика, доклады комиссии, вып. 20. М., 1981, с. 106.

**Один из снегомерных полигонов на маршруте.**



**Айсберги, откалывающиеся от шельфовых ледников, — основная статья расхода массы ледникового покрова Антарктиды.**



**Колония императорских пингвинов, обитающая недалеко от станции Мирный.**



## Последовательное уточнение параметров ледникового покрова Антарктиды\*

Параметр	1962	1968	1982
Периметр, км	—	30 030	31 876
Площадь, $10^6$ км <sup>2</sup>	13,660	13,975	13,918
В том числе свободные от льда участки	0,190	—	0,332
Объем льда, $10^6$ км <sup>3</sup>	24,300	24,031	30,1 ± 2,5
Толщина льда, м			
Вся Антарктида	1810	1720	2450
Восточная	—	1980	2638
Западная	—	1440	1782
Высота подледного ложа, м			
Вся Антарктида	+340	+410	—160**
Восточная	—	—	+15
Западная	—	—	—440

\* По данным Е. Тилля [1962]; И. А. Суетовой [1968]; Д. Дрюри, С. Иордана, Е. Янковского [1982].

\*\* Минус означает положение ниже ур. м.

казала, что возраст льда составляет около 30 тыс. лет<sup>7</sup>.

В последние 10 тыс. лет климат в Центральной Антарктиде не претерпевал существенных изменений. Температура воздуха и средняя годовая скорость аккумуляции, питания ледника, оставались близкими к норме, испытывая кратковременные, пока необъяснимые колебания. А вот 15 тыс. лет назад началось существенное потепление климата, продолжавшееся 5 тыс. лет. За это время полностью исчезли, разрушились ледниковые покровы Северной Америки и Европы. Но закончился последний ледниковый период. Ледниковые покровы Антарктиды и Гренландии, по всей видимости, слабо среагировали на такие глобальные земные события. Там, где сейчас купол С, поверхность ледника была выше только на 200 м, а средняя годовая температура воздуха была на 2—3° ниже современной.

Подобных «информативных» скважин в ледниковых покровах пока всего четыре: три в Антарктиде и одна в Гренландии. В общем они показывают весьма сходную картину климатических изменений за последние несколько десятков тысяч лет. И в Северном, и в Южном полушариях крупномасштабные климатические изменения происходили почти синхронно.

А вот содержание твердых минеральных включений, пыли в ледяном керне на куполе С, в последний ледниковый период (25—15 тыс. лет назад) оказалось

чуть ли не в 200 раз больше, чем за последние 10 тыс. лет. Виною этому не вулканические извержения, а привнос мельчайших золотых частичек из засушливых районов Южного полушария. Как считает французский гляциолог К. Лориус<sup>8</sup>, на площади современных мелководий, шельфов, у берегов Южной Америки, Африки и Австралии была суша и довольно пустынный, засушливый климат, а уровень Мирового океана был значительно ниже (в ледниковые периоды он всегда был ниже). Некоторые климатические реконструкции позволили установить, что скорость ветра была на несколько метров выше современной при преобладающем меридиональном переносе. Все это способствовало повышенному привносу минеральных частиц и отложению их на поверхности ледникового покрова Антарктиды. Возможно, что эти условия были характерны лишь для прилегающего к Индийскому океану района питания ледникового покрова Антарктиды. Отсюда воздушные массы поступают в район купола С, возможно, поэтому в керне из скважин на станциях Берд и Восток аномально содержания пылевых частичек не обнаружено.

В окрестностях станции Купол С, на площади в несколько квадратных километров, французы выполнили датировки снежно-фирновых отложений с подробным их стратиграфическим описанием. По данным 19 шурфов скорость аккумуляции за последние два десятилетия существенно воз-

<sup>7</sup> Briat M., Royer A., Petit J. R., Lorius C.— Ann. Glaciol., 1982, v. 3, p. 73.

<sup>8</sup> Lorius C., Merlivat L., Jozel J., Pourchet M.— Nature, 1979, v. 280, p. 644.



росла. За этот же период увеличилось количество атмосферных осадков, а значит, и приходная статья баланса массы, так же как и во многих других районах Центральной Антарктиды. Очень многоснежными были последние годы, с 1977 по 1982, хотя межгодовые колебания количества осадков составляют 200—300%.

Подобные современному периоды повышенной аккумуляции и увеличения высоты поверхности в Центральной Антарктиде отмечались неоднократно за последние 100 лет, а также и ранее. Процессу накопления снега в Антарктиде свойственна цикличность, причины которой и параметры пока не выяснены. Интересно, что одновременно с повышением высоты поверхности в Центральной Антарктиде, в ее прибрежных, крайних частях ледникового покрова наблюдается отступление или утоньшение ледника, освобождаются места участки древней ледниковой суши. Вероятнее всего, такова реакция ледникового покрова на прошедшие условия. Ведь скорость реакции края ледника Антарктиды на изменения условий его питания в центральных частях составляет многие тысячи лет. Вообще по балансу массы прибрежных районов ледникового покрова данных очень мало. Здесь много дополнительных сложностей в определении толщины льда на контакте плавающего ледника с океанической водой. Очень мало прямых измерений скорости движения льда, и большие проблемы — в определении аккумуляции. Кроме того, прибрежные районы, как правило, непроходимы для наземных видов транспорта из-за огромного количества трещин.

Два километра — расстояние между снегомерными вежами. От Пионерской до Купола С из 575. Тягач останавливается у каждой вежи на 2—3 минуты. Прыжок на снег из жаркой кабины: длинной рейкой измеряется высота вежи и тут же, возле нее ввинчивается в снег стальной цилиндр, берется фиксированный объем снега для определения его плотности и на изотопную пробу. Снова прыжок на гусеницу и в кабину. Поехали!

Между остановками 12 минут, снова плавное, сосредоточенное однообразие рельефа течение мыслей. Временами кажется, что машина идет на подъем, потом, вроде бы, начинается спуск. И это начинает беспокоить... На очередной остановке заскакиваю в балок. На ленте самописца барометрического нивелирования непрерывно регистрируется изменение высоты поверхности. Любой толчок саней, каждый

заструг отражен вертикальной черточкой. Хорошо видна и общая тенденция. На фоне общего плавного подъема от побережья к куполу С прослеживается волнистость поверхности. Длина волн 10—20 км, а амплитуда 30—50 м. Разные точки зрения существуют на происхождение такой волнистости. Наиболее вероятно, что это отражение неровностей подледного рельефа — долин и горных хребтов, через которые перетекает ледник. Есть мнение, что волнистость связана с природой антарктического ветра и неравномерностью распределения снега<sup>3</sup>. Вероятно, волны смещаются в пространстве, как песчаные барханы в пустыне. Такое движение не зависит от скорости течения ледника и происходит под различными углами к направлениям линий тока льда.

И опять усложняется, казалось бы, наконец-то прояснившаяся проблема.

Начало марта. Зима набирает силу быстро, без раскачки на осень. В полсолнца день, и он не приносит уже тех нескольких градусов прибавки, которые отличают его от ночи. Сразу труднее дышать, хотя высота пошла на убыль, поход быстро возвращается в Мирный. Морозный воздух вдыхается маленькими глоточками. Чем сильнее мороз, тем меньшую порцию принимают легкие. Не поэтому ли трехкилометровую антарктическую высоту приравняют чуть ли не к вершине Эльбруса?

Поход кончился. У кромки ледника океан подернулся молодым ледком, последнее судно покидает антарктические воды. С его борта видно — над Антарктидой идет снег и вдоль края ледника пробежала свежая трещина, рождая новый айсберг. Он еще числится в расходе бюджета ледника, но скоро, как только поплывет по океану, превратится в источник самой чистой пресной воды на Земле.

<sup>3</sup> Black H. P., Budd W.— J. Glaciol., 1964, v. 5, № 37, p. 3.

## Пушинский социальный эксперимент

Г. Р. Иваницкий



Генрих Романович Иваницкий, член-корреспондент АН СССР, директор Научного центра биологических исследований АН СССР в г. Пушкино и Института биологической физики АН СССР. Работает в области биофизики клетки и развития математических методов в биологии. Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР. В «Природе» опубликовал статьи: Стратегия научного поиска (1981, № 6) и Пульсирующий процесс развития науки (1982, № 1).

Свыше 20 лет назад в 120 км к югу от Москвы началось строительство здания для Института биологической физики АН СССР. Вскоре на основе института возник ряд научных учреждений, интересы которых были сосредоточены в области физико-химической биологии. В 1963 г. появилось их общее наименование — Научный центр биологических исследований АН СССР в г. Пушкино.

Сегодня в Пушкине шесть институтов биологического профиля и Специальное конструкторское бюро биологического приборостроения АН СССР. Институтами ведутся фундаментальные исследования в области биофизики, молекулярной биологии, микробиологии, биоорганической химии, физиологии растений, фотосинтеза и почвоведения. Многие работы ученых Центра были отмечены Ленинскими и Государственными премиями СССР. За 20 лет своего существования Центр приобрел всемирную известность, поддерживает научные связи и обменивается специалистами более чем с 30 странами.

Одновременно вырос город, население которого — несколько тысяч человек. Вопросы, связанные с развитием города, с самого начала его существования находятся в центре внимания работающих здесь ученых. За два десятилетия накоплен определенный опыт, который привел к не-

обходимости комплексного решения городских проблем. В январе 1982 г. Совет Центра признал целесообразным приступить к разработке «Комплексной (научной, социальной и экологической) программы развития Научного центра биологических исследований АН СССР и города Пушкино». Программа разрабатывается с учетом достижений естественных, общественных и технических наук.

Оптимальное управление развитием города на основе системного подхода, учитывающего как неоднородность городской популяции и ограниченную материальную базу, так и то, что город является одной из базовых единиц государства, предполагает решение двух основных проблем. Первая — формулировка целевой функции города. Это трудная задача, так как здесь важна не только производственная цель, но и эволюция городского населения, его материальных и духовных потребностей. Вторая — проблема моделирования такой сложной системы, как город. Осмысление задачи по оптимальному «конструированию» и управлению городами началось в начале нашего века в России (В. И. Вернадский) и позднее на Западе (Р. Линдеман, А. Эмерсон, О. Парк, Т. Парк, К. Шмидт и др.), однако в практическом плане из-за сложности динамического моделирования она все еще не решена.



Пушино. Улица академика Г. М. Франка.

Основная цель Пушкинского эксперимента в том, чтобы принимаемые решения больше основывались на знании и меньше на догадках и, как следствие, меньше зависели бы от непредвидимых событий. Усиление интереса точных наук к общей биологии, к социальным и поведенческим проблемам вселяет надежду на получение ответов на вопросы об оптимальном «конструировании» жизни городских популяций. Однако это не значит, что нужно ждать ответы. Можно решать задачу путем отыскания локальных оптимумов для каждого раздела программы, считая, что суммарный оптимум всей системы будет достигнут тогда, когда будут достигнуты оптимумы по каждому блоку. Строго говоря, такое утверждение не совсем справедливо,

но как первое приближение его можно принять.

Итак, комплексная программа по развитию Научного центра и города Пушкино пока разрабатывается. Но, как уже говорилось, в решении ряда проблем накоплен определенный опыт, о котором мы и поговорим.

#### ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ

У молодых городов есть специфика в характере изменения возрастного распределения жителей, прироста населения и его движения. Процесс носит волнообразный, пульсирующий характер.

Основную часть приехавших в начале 60-х годов в будущий город составляла молодежь в возрасте от 23 до 30 лет — выпускники вузов и молодые строители города. В этот период интенсивно шло образование семей, был высокий естественный прирост за счет рождаемости. Кривая распределения городской популяции по возрастам имела выраженный двугорбый ха-

рактер с максимумами около нуля и 25 лет. Эта «двугорбость» сохранилась в последующие годы. Для прогноза возрастной динамики городской популяции была построена математическая модель и использована рекуррентная процедура расчета на вычислительной машине.

Такого рода демографический анализ важен для планирования потребностей в людских резервах для научных и производственных организаций города, профессиональной ориентации школьников, строительства дошкольных и школьных учреждений, развития медицинской службы, служб коммунального и бытового обслуживания и т. д.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОРОДА В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

В период создания нашего города был замечен контраст между уровнем знаний, которыми обладали специалисты институтов, и уровнем преподавания основ науки в средней школе. Следует подчеркнуть, что речь идет не столько о содержании школьных курсов, сколько о качестве реализации принятых учебных программ. Важным следствием недостаточно высокого уровня преподавания оказалась потеря познавательного интереса учащихся к соответствующему предмету. Это происходило уже в 6—7 классах. Тут же возникла проблема дисциплины на уроках. Естественно, что самый лучший способ преодоления отмеченных недостатков — «возврат» в школу в качестве учителей ее лучших выпускников. Однако такой способ не реален.

В последние десятилетия в стране были предприняты попытки существенного повышения уровня преподавания отдельных предметов в специальных школах. Так возникли школы с математическим, физическим, биологическим и пр. «уклонами», с преподаванием ряда предметов на иностранном языке и т. п. Эти школы оказались, как правило, полезными для подготовки учеников для поступления в соответствующие вузы. Однако они отнюдь не решают проблему в целом. Их число ограничено даже в больших городах. Сам процесс отбора учащихся имеет существенные психологические недостатки. В Пущине не пошли по этому пути.

Действенным разрешением отмеченного противоречия стало привлечение местных специалистов без отрыва их от

основной работы для совершенствования преподавания в школе основ науки. Как правило, это были интересные, увлеченные своей работой люди, способные не только в полной мере изложить предусмотренный школьной программой материал, но и ярко, на живых примерах убедить школьников в полезности и необходимости получаемых знаний. С чисто психологической точки зрения появление в школе в роли лектора нового человека неизбежно вызвало повышенный интерес к тому, о чем он будет рассказывать, а следствием стало более полное и прочное запоминание услышанного.

Привлечение к этой работе кадров местной интеллигенции имеет еще одно, может быть, самое существенное достоинство — осуществляется «привязка» получаемых знаний к местным условиям, к особенностям города. Как правило, около 75% выпускников школ остается в Пущине. Тем самым достигается необходимая профессиональная ориентация, устанавливается связь школьных знаний с реальной жизнью. В 1966 г. в Пущине был создан специальный Совет научных сотрудников по работе в школе (председатель — С. Э. Шноль), четыре секции которого — биологии, химии, физики, математики (в их состав входят научные работники и учителя) — занялись разработкой содержания и форм использования интеллектуально-педагогического потенциала в учебно-воспитательном процессе. Работа проводится при постоянном контроле Совета Научного центра и органов народного образования.

Начали с факультативных занятий и организации воскресного лектория. Однако скоро выяснилось, что эти формы не соответствуют поставленным целям. На факультативные занятия и на воскресные лекции ходит, в сущности, одна и та же «фракция» школьников — наиболее активных и любознательных. Эти их весьма похвальные качества в значительной мере обуславливаются влиянием семьи. При этом происходит чрезмерная перегрузка учащихся, и неясно, чему больше радоваться — полной аудитории воскресного лектория или тому, что в яркий зимний день школьники предпочли лекциям хоккей и лыжи.

Затем по согласованию с руководством школ стали проводить обобщающие уроки непосредственно в классах. Такая форма, вполне результативная сама по себе, оказалась нереальной. Проведение обобщающих уроков отдельно в каждом

из классов оказалось просто непосильной ношей для наших специалистов, занятых своей собственной напряженной работой. При этом выяснилось, что из желающих принять участие в этой работе специалистов высокого профессионального уровня лишь немногие способны даже на короткое время оказаться в трудной роли учителя.

Стало ясно, что следует осуществлять возможно более совершенные по форме и содержанию лекции одновременно для всех параллельных классов всех (трех) школ города, и эти лекции должны проводиться в часы уроков, т. е. быть включенными в школьное расписание, быть обязательными для всех учеников без какого-либо предварительного отбора. Обязательность позволяет избежать предвзятости оценок знаний и способностей учащихся. Форма лекции дает возможность сообщать интересное и новое как тем, кто уже увлекается предметом и достаточно хорошо в нем разбирается, так и тем, кто ранее не проявлял интереса к этому предмету и имеет относительно малый запас знаний.

Естественно, что результативность лекций зависит от последующей проработки материала на уроке. Лекторы и учителя были объединены по отдельным предметам — физике, математике, химии, биологии, что позволяет согласовывать темы занятий на уроках.

Описывая наш опыт, мы не имеем желания приукрасить его результаты. Наоборот, следует отметить трудность выхода перед большой школьной аудиторией лектора, не имеющего практики учителя: трудность достаточно ясного и яркого изложения, должного темпа, правильной реакции на «движение в зале», умения переключаться от серьезного изложения к разряжающей напряжению шутке. Из многих сотен прочитанных лекций (в год читается 50—60 лекций) лишь немногие вполне совершенны (хотя лекции, сопровождаемые демонстрациями, особенно опытами по физике, проходят успешно, даже когда лектор не очень красноречив).

Все эти трудности не только не опровергают основной вывод о соответствии этой формы поставленной цели, но и дают ценный материал для развития опыта. Важный вывод состоит в том, что такая форма реальна. Школьные расписания (в нескольких школах) могут быть согласованы и составлены так, как, например, в нашем случае, где каждый вторник (8-е и 10-е классы) или каждый четверг (7-е и 9-е классы) 5-й и 6-й уроки отво-

дятся на лекции по одному из четырех предметов — химии, биологии, физике, математике. При этом оказалось, что за 17 лет не было ни одного срыва лекций, хотя, естественно, были замены лекторов.

Лекции в школьном расписании стали неотъемлемой частью жизни школ. Наблюдается явная активизация познавательного интереса и повышение уровня знаний школьников. Анкетный опрос показал, что 89% школьников считают лекции важной и полезной формой получения знаний.

Следует подчеркнуть важность аналогичной работы в гуманитарном цикле. Наш собственный опыт здесь ограничен. Однако именно немногие гуманитарные лекции (по истории, литературе, экономической географии) оставили наиболее сильный след у школьников.

Ясно, что работа по распространению опыта чтения лекций, включенных в школьное расписание, требует дальнейших поисков. Необходимо искать содержание лекций, адекватное местным условиям, разрабатывать методику чтения для лиц, не имеющих педагогических навыков, учитывать возрастные особенности школьников. Последнее становится особенно актуальным в связи с предстоящим переходом к началу обучения с 6-летнего возраста. Эта работа представляется необходимой и неотложной — от ее успеха зависит совершенствование системы народного образования и тем самым развитие общества в современных условиях.

## КЛУБНАЯ ЖИЗНЬ

В Пущине создание клубов, объединяющих людей по интересам, началось стихийно. В середине 60-х годов научных сотрудников было не более 200 человек. Небольшой поселок жил по законам деревни, и молодые люди использовали любой повод, чтобы собраться, поспорить, обсудить новости. В этих условиях рождалась «самодеятельная самодеятельность». Пущинцы тех лет жили на основе фольклорного искусства: не на публику, а для себя. Тем не менее часть пущинцев имела профессиональный почерк — за спиной выпускников вузов был опыт известных студенческих художественных коллективов. В новых институтах Центра начали свою работу представители 22 национальностей СССР, появился колорит национальных традиций. На этой благодатной почве возникали зародыши будущих клубов по интересам.



Сегодня в Пущине при Доме ученых действуют более 25 клубов. Среди них: Дискуссионный клуб «Гипотеза», Клуб молодых ученых, Интерклуб, Клуб филателистов «Голубая Ока», Клуб любителей звукозаписи, Киноклуб, Фотоклуб, Клуб ремесел «Коряга», Литературное объединение, Клуб литературных встреч, Театрально-концертная секция, Театр миниатюр, Хор, Вокально-инструментальный ансамбль, Детская изостудия, Детская драматическая студия, Туристский клуб «Азимут», Лодочный клуб «Дельфин», Шахматно-шашечный клуб «Каисса», Теннисные секции (взрослая и детская), Детская секция художественной гимнастики, Клуб «Здоровье», Клуб собаководов, Семейный клуб «Радуга» и т. д.

Одни клубы открывают двери для всех, другие носят камерный характер. В этом нет ничего трагического, потому что каждая группа людей может создать свой клуб. Если проследить за эволюцией развития клубов, то она очень напоминает биологическую эволюцию. Клубы развиваются, делятся, размножаются, конкурируют между собой и умирают. Среди них есть долгожители и есть клубы, которые существовали всего 2—3 года, но и они давали своим членам возможность интеллектуального, эстетического и информационного общения. Причины распада клубов разные: уход лидера, ограниченность программы — так было с Клубом икебаны: за год люди обучились мастерству, и продлевать жизнь клуба было нецелесообразно.

Пущинский «феномен клубной жизни», о котором написано много статей, — это способ разнообразить культурную жизнь малого города, сделать ее привлекательной и полной. Кроме того, существует четкая зависимость между общественной (клубной) и производственной активностью.

Талант многогранен: например, кандидаты физико-математических наук А. П. Сарвазян и Н. Н. Всеволодов вполне могли бы стать одним — художником, другой — архитектором, научный сотрудник Ю. Н. Ильин — историком, а биофизик С. Я. Никитин сегодня известен всей стране как композитор и исполнитель песен. Вот они-то и им подобные увлеченные люди становились лидерами, «президентами» различных клубов по интересам, продолжая активную работу в институтах.

Характерно, что к ним тянутся и примыкают люди с еще не сформировавшимися интересами (это особенно относится к юношам и девушкам, к подросткам),

«заражаются» от них и увлекаются всерьез. Так исподволь в любительских объединениях происходит становление личности, вырабатывается активная жизненная позиция, поскольку все в клубах строится на общественных, самодеятельных началах.

Чем, например, занимаются в Клубе любителей звукозаписи. В самом начале было только прослушивание редких и новых записей. Постепенно программа клубных занятий расширилась: появилась слайд-музыка, начали устраивать различные вечера — в помощь занимающимся изучением иностранных языков, дискотеки — все это и для школьников, и для ветеранов войны, и ветеранов труда, и для многочисленных гостей Научного центра, приезжающих на научные конференции и семинары. Устраиваются и просто вечера отдыха членов клуба, завязались связи с Московским клубом фонофонистов, с фирмой «Мелодия», с некоторыми театрами, стали приезжать музыканты, певцы, оркестры, театры. Клуб является организатором ежегодных весенних джаз-фестивалей, известных во всей стране, и осенних фестивалей самодеятельной песни («Бабье лето» (названы они так потому, что проходят в сентябре), на которые съезжаются коллективы и отдельные исполнители из других городов. Это большие массовые праздники песни и музыки.

Другой пример — клуб «Гипотеза». «Правомерна ли гипотеза?» — такой вопрос поднимается почти на каждой встрече. Разгораются споры, обсуждаются научные идеи, кажущиеся подчас фантастическими, поскольку нет сегодня их строгих доказательств, но в то же время нет и опровергающих аргументов. Нередко дискуссии, начало которым положено в клубе, переносятся впоследствии в институты, становятся основой статей в специальных изданиях или в научно-популярных журналах.

Так, например, отравной точкой научного исследования, посвященного общности биологических и художественных ритмов, послужило обсуждение гипотезы об общности частот колебаний музыкальных нот и частот колебаний биологических молекул, входящих в состав человеческого организма. Обсуждение еще до его начала обещало быть настолько интересным, что совет клуба попросил клуб любителей звукозаписи записать его (это не единичный случай межклубного сотрудничества). Через несколько лет результаты дальнейших исследований были освещены в сборнике научных работ «Ритм, пространство и время в литературе и искус-

стве» (1974). Ну, а дискуссия в клубе, с которой все пошло, закончилась исполнением впервые написанной «биохимической музыки». Встречи в «Гипотезе» — конкретное проявление того, как занятия на досуге, во время отдыха, способствуют научной активности.

«Клубная жизнь», как ее понимают в Пушине, — это нечто большее, чем просто проведение досуга. Это элемент самоорганизации общества, это воспитание культуры общения, это способ остановить призрак духовного жидовенчества и поверить самим себя. Здесь нет готовых рецептов и очень опасны формализация и подражание. Клубы — это прежде всего непрерывный поиск, динамизм — их основная черта, инициатива и энтузиазм — условия их существования.

## ЭКОЛОГИЯ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Как известно, каждый организм от простейших до позвоночных — это реактор, который, утилизируя энергию предыдущей стадии, отдает созданный им продукт «соседу» другого вида. Эта поточная линия с безотходным производством, замкнутая в цикле, и составляет среду нашего обитания. Если этот цикл нарушать, то приходится платить дополнительным расходом энергии. Адаптация биосферы — не только упорядоченный процесс, в котором один вид замещается другим, — это поток сдвигающихся динамических равновесий.

Два связанных фактора не позволяют ясно увидеть, что нельзя играть в опасные игры с природой.

Во-первых, большое разнообразие живых организмов. Все живые организмы, в том числе и люди, различаются генетически в гораздо большей степени, чем думали 10—15 лет назад. Два случайно выбранных человека будут различаться по сотням, а возможно, и тысячам хромосомных локусов. Эти различия важны. Они влияют на выживание своих носителей, так как многие из них связаны с чувствительностью к изменению разных параметров среды и, как следствие, к развитию патологических процессов. Таким образом, отбор продолжается, выживают те, которым удается приспособиться к новым условиям.

Во-вторых, в биосфере имеет место большой набор процессов регулирования с обратной связью и, как следствие, с адаптацией к изменяющимся внешним условиям. Поэтому биосфера сравнительно

легко справляется с задачами регулирования. За ошибки с человека взимается плата (иногда большие капиталовложения, чтобы исправить ситуацию, а чаще ухудшение его собственного здоровья). Однако все это справедливо до определенного критического уровня, после которого наступает срыв регулирования. Локальные срывы поправимы, хотя требуют больших энергетических затрат; глобальный — может иметь трагические последствия.

С точки зрения экологической обстановки Пушино — благополучный город. Недалеко от него находится большой биосферный заповедник. Растительность района — граница хвойно-широколиственных и широколиственных лесов с богатой флорой и фауной. Именно богатство природы заставило нас проводить работу по исследованию способов диагностики (мониторинга), мер профилактики и экологического воспитания подрастающего поколения (создана детская экологическая станция, школьное лесничество).

В марте 1975 г. Советом Научного центра была утверждена подготовленная под руководством Б. Н. Вепринцева «Памятная записка по вопросам охраны природы и благоустройства территории города и его ближайших окрестностей». Появилась долговременная программа, которая определила природоохранительную политику города на многие годы.

В 1979 г. был рассмотрен и утвержден договор о научном сотрудничестве между Московским государственным университетом и Научным центром в области изучения экологии малого города. Эта работа проводится под руководством сотрудника МГУ Д. Н. Кавтарадзе при участии сотрудника Института философии и права АН Киргизской ССР А. А. Брудного. Назвали эту программу «Экополис». Задача первого этапа программы — определить зависимость экологической обстановки в городе и его окрестностях от деятельности горожан и служб города.

Эта работа важна, так как позволяет выявлять тенденции приближения к критическим параметрам в различных экологических нишах. Вот некоторые количественные данные о Пушине.

Застройка Пушина осуществляется на бывших сельскохозяйственных землях, на «лысой возвышенности», в условиях ярко выраженного рельефа с наличием оврагов и значительными перепадами высот. Се-эдня город занимает площадь немногим более 3 км<sup>2</sup>. В первые годы становления города с помощью Главного ботаниче-

ского сада АН СССР жителями была посажена Зеленая зона шириной около 250 м, которая отделяет институты от жилой застройки города. За 20 лет здесь сформировался своеобразный биоценоз.

Флора окрестностей города — 850 видов диких растений, в городе 302 вида. Город приобрел 35% разнообразия местной флоры. Из 302 видов 19 являются основными. В «старых» районах (с благоустройством, проведенным 10—15 лет назад) количество видов больше в 2 раза по сравнению со строящимися районами. 42 вида опыляемых ветром растений, к сожалению, могут вызывать аллергию. Аллергия довольно распространена в Пущине, так как в город приехали жить люди из разных широт нашей страны, не имея иммунитета к местным аллергенам.

В городе обитает 127 видов птиц, в том числе коноплянки, которые не живут в окрестностях. Иногда остаются зимовать скворцы. Люди улучшили кормовую базу птиц, и их плотность в парках и вблизи жилых домов стала в 35 раз выше, чем в лесу.

Интенсивность движения транспорта в городе сравнительно низкая (1300 автомобилей в сутки), и тем не менее следы свинца в растениях обнаружены вдоль дорог (подорожник, мать и мачеха), на расстоянии свыше 10 м от дороги свинец не обнаружено. Это следует помнить тем, кто скашивает траву на корм скоту вдоль дорог с интенсивным движением или, того хуже, использует растущие там травы как лекарственные.

Определен урон, наносимый Оке моторным флотом. Мотор мощностью 20—25 л. с. за 5 минут работы нагревает 200 л воды на 4°; за час работы он выбрасывает в воду 50 м<sup>3</sup> выхлопных газов, а в момент запуска выплескивает 30 мл горючего. Если по одному и тому же месту подряд промчится десять моторок, то в пробе речного планктона не окажется ни одного живого организма. На 10 км движения по мелководью моторка губит 50 годовалых рыб и одну двухгодовалую. Волна от подвесного мотора выбрасывает на берег длиной в 1 км 2 млн планктонных организмов, трех моллюсков (моллюски — чистильщики воды), около 100 рыбьих икринок. Об этом знают сегодня все пущинцы и ограничивают применение моторного флота.

Еще опаснее для экологии реки водометные пассажирские суда типа «Заря». Только в пределах Серпуховского района

Московской области рыбному хозяйству Оки они причиняют ущерб, оцениваемый в год в 100 тыс. рублей. Приведенных примеров достаточно, чтобы читатель мог представить себе аспекты исследования и практическую пользу программы «Экополис».

\* \* \*

В заключение несколько слов о градостроительстве. Как отмечалось в одном из номеров журнала «Архитектура и строительство Подмосковья» (1980, № 4(8), с. 12), который в значительной степени был посвящен Пущину, «богатство и разнообразие природных компонентов активным образом было включено в планировочную структуру города... Это, пожалуй, единственный город в Московской области, который на освоенной территории имеет в полном объеме законченное благоустройство. Разнообразные приемы архитектурной обработки земли, богатый видовой состав и ландшафтная организация зеленых насаждений в сочетании с большими свободными пространствами газонов и цветов, тротуары и площадки из цветных плит, индивидуальные малые формы, оборудование, светильники, целостная система наглядной агитации — все обустройство, органично увязанное с архитектурой и природными компонентами, создало неповторимый облик города и обеспечивает комфортные условия для труда, отдыха и быта горожан».

Ряд факторов составили успех далеко еще не законченного градостроительного эксперимента. Во-первых, опережающее создание собственных архитектурной, проектирующей и строительной организаций, сотрудники которых связаны между собой и живут в городе. Во-вторых, гармоничное сочетание городской застройки как с естественным ландшафтом, так и создание там, где необходимо, искусственного благоустройства. При озеленении города обращалось внимание не только на санитарно-гигиеническую, но и эстетически-воспитательную функцию растений. В-третьих, уделялось внимание художественному оформлению города, производственных и общественных зданий на основе малых архитектурных форм, объемно-пространственных и декоративных композиций. В-четвертых, постоянное обсуждение с общественностью, с Обществом охраны природы генеральных планов застройки, обобщение коллективного мнения сотрудников

Научного центра, внесение коррекции в плане, создание природных городских заказников и мемориальных мест.

Мы видим задачу Научного центра не только в получении важных практических рекомендаций для народного хозяйства на основе исследований в области физико-химической биологии, но и в создании условий для гармонии людей в отношении друг с другом и с природой.

Во всем мире продолжается процесс урбанизации. Более 62% населения нашей страны живет в городах, а в предстоящие 20 лет ожидается возникновение 450 новых с населением до 20 тыс. человек. Надеемся, что наш опыт окажется полезным.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

О РАЗВИТИИ НАУЧНОГО ЦЕНТРА БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПУЩИНЕ.— Вестник АН СССР, 1980, № 7.

Иваницкий Г. Р., Газиев А. И. ВНУТРИЦЕНТРОВСКАЯ КООПЕРАЦИЯ В ПУЩИНЕ.— Вестник АН СССР, 1981, № 3.

Иваницкий Г. Р., Кашин М. П., Емельянова А. И. НАУЧНЫЕ УЧРЕЖДЕНИЯ — СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ.— Вестник АН СССР, 1979, № 11.

Алексеев Ю. Е., Губанов И. А. ФЛОРА ОКРЕСТНОСТЕЙ ПУЩИНА-НА-ОКЕ. М.: Изд-во МГУ, 1980.

Брудный А. А., Кавтарадзе Д. Н. ЭКОПОЛИС. Введение и проблемы (препринт). Пушкино, 1981.

## К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

До конца 1983 года редакция журнала «Природа» предполагает опубликовать следующие статьи:

### ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

- Я. Б. Зельдович. Современная космология.
- Б. Б. Кадомцев, А. И. Рязанов. Что такое синергетика.
- Д. С. Цакадзе. Сверхтекучесть в природе.

### БИОЛОГИЯ

- А. Е. Гейсинович. 100 лет фагоцитарной теории И. И. Мечникова.
- А. А. Малиновский. Системная логика дарвинизма.
- М. С. Павлов и др. Рыбы в «Красной книге СССР».
- А. С. Шевелев. Парадоксы иммунитета.

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- В. Я. Барлас, Е. Я. Ранцман. Где произойдет землетрясение?
- В. В. Крючков. Стратегия охраны природы Севера.
- А. А. Никонов. Землетрясения в легендах и сказаниях.

### ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

- Ю. В. Бромлей, П. И. Пучков. Этнические общности.
- Т. И. Ойзерман. Философские предпосылки естествознания Нового времени.
- Б. В. Раушенбах. «Закон сохранения ошибок» в изобразительном искусстве.

## Криокристаллы

В. Г. Манжелей



Вадим Григорьевич Манжелей, член-корреспондент АН УССР, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора Физико-технического института низких температур АН УССР. Основные работы относятся к физике низких температур. Лауреат Государственной премии СССР и Государственной премии УССР.

Среди огромного количества удивительно разнообразных твердых тел внимание исследователей привлекают прежде всего такие объекты, в поведении которых особенно ярко, в наиболее чистом виде проявляются те или иные принципиальные особенности кристаллического состояния. К ним относятся и криокристаллы (отвердевшие газы) — группа веществ, газообразных при комнатной и твердых при низких температурах<sup>1</sup>. Этими свойствами, в частности, обладают аргон, водород, гелий, кислород, метан.

Уже из формального определения следуют и общность характеристик, и некоторые привлекательные черты криокристаллов. Тот факт, что они существуют только при низких температурах — свидетельство очень слабого взаимодействия между частицами. (Речь идет о кристаллах с ван-дер-ваальсовскими силами взаимодействия — самыми слабыми из сил, действующих в твердых телах.) Причем, наименьшая энергия связи присуща простейшим

из этих кристаллов, образованным высокосимметричными молекулами малых масс и размеров.

Некоторые криокристаллы представляют собой наиболее простые из известных твердых тел, что вызывает к ним вполне естественный интерес. Они служат пробным камнем для проверки ряда весьма общих представлений физики кристаллического состояния. Действительно, представим себе, что при сопоставлении предсказаний теории со свойствами реального кристалла согласие оказалось неудовлетворительным. Нелегко установить, кроется ли причина этого в ошибочности исходных принципиальных посылок теории или в последующих упрощениях, позволивших преодолеть математические трудности. Чтобы хотя бы отчасти избежать этой неопределенности, необходимо исследовать самые простые кристаллы. Говоря о криокристаллах, мы ограничимся динамикой решетки, изучающей закономерности движения частиц в твердых телах. Пожалуй, именно эта проблема в решающей степени определила повышенный интерес к криокристаллам.

Наряду с относительной простотой существует и другая, возможно, даже более важная причина, привлекающая внимание исследователей к криокристаллам, связанная с тем, что среди них встречаются так

<sup>1</sup> Термин «криокристаллы» (низкотемпературные кристаллы) предложен академиком АН УССР А. Ф. Прихотько и представляется нам более удачным, чем «отвердевшие газы». В статье, главным образом из стилистических соображений, будут использованы оба этих термина.



называемые квантовые кристаллы — совершенно уникальные твердые тела, динамика решетки которых не может быть описана в рамках классической физики и определяется законами квантовой механики<sup>2</sup>. В дальнейшем мы обсудим природу квантовых кристаллов, к которым относятся твердые водород, гелий и их изотопы, а также метан. Сейчас же отметим только одно, на первый взгляд, парадоксальное обстоятельство. Строение ван-дер-ваальсовских кристаллов и их динамика становятся проще по мере уменьшения масс и размеров молекул, а также энергии межмолекулярного взаимодействия. Вместе с тем уменьшение этих параметров приводит к усилению квантовых эффектов в кристаллах и в конечном итоге — к образованию квантовых кристаллов; отличающихся более сложной динамикой кристаллической решетки.

### ИСТОРИЯ И СПЕЦИФИКА ИССЛЕДОВАНИЙ КРИОКРИСТАЛЛОВ

Определение физических свойств криокристаллов — задача далеко не простая. Из-за низких температур кристаллизации выращивать и исследовать их приходится в специальных ячейках, погруженных в криостаты. Малая теплопроводность образцов влечет за собой многосаговое установление теплового равновесия, что в сочетании с громадными коэффициентами теплового расширения и низкой прочностью вызывает растрескивание даже при небольших колебаниях температуры. Успеху традиционных методов исследований не способствуют также высокая упругость пара криокристаллов и их пластичность.

Первые попытки изучения криокристаллов были предприняты еще в начале нашего века. Экспериментальные трудности вынуждали исследователей ограничиться определением свойств, малочувствительных к качеству образцов: структуры, плотности, теплоемкости, диаграммы состояния и т. д. Основными методами экспериментаторов в то время были калориметрия и рентгеноструктурный анализ. Но и эти исследования из-за отсутствия в большинстве криогенных лабораторий

жидкого гелия<sup>3</sup> велись лишь в области температур выше 12 К.

В 30-х годах количество работ, посвященных криокристаллам, заметно увеличилось. К этому времени относится и начало их изучения в первой криогенной лаборатории нашей страны (Украинский физико-технический институт в Харькове). И все же в предвоенные годы и в первое послевоенное десятилетие эта деятельность имела в основном эпизодический характер.

Интенсивное исследование криокристаллов началось с середины 50-х годов. Стимулом к этому послужило прежде всего быстрое развитие теории динамики решетки, обусловленное в значительной степени использованием ЭВМ. После 1948 г., когда было предложено количественное описание роли квантовых эффектов в кристаллах<sup>4</sup>, зародился интерес к квантовым кристаллам. И, наконец, совершенствование техники эксперимента сделало криокристаллы более доступными для исследователей. Удалось разработать новые экспериментальные методы, основанные на использовании их необычайных свойств, превратив, таким образом, эти свойства в союзников экспериментаторов. Например, высокая упругость пара криокристаллов успешно используется для получения образцов, не содержащих микротрещин<sup>5</sup>.

Переконденсация (сублимация и последующая конденсация) в отвердевших газах, пронизанных порами или микротрещинами, находит интересное практическое применение. Заполнение криостатов отвердевшими газами вместо сжиженных позволяет понизить рабочую температуру, увеличить запас холода, избавиться от некоторых трудностей, возникающих в невеличине и т. д. Вместе с тем серьезным неудобством их использования представлялась низкая теплопроводность (в жидкостях необходимая скорость теплообмена обеспечивается конвекцией). Оказалось, однако, что если заполнить криостат пористым отвердевшим газом, полученным в результате кристаллизации сжиженного газа путем откачки пара над его поверхностью, эффективная теплопроводность определяется переконденсацией ве-

<sup>2</sup> О квантовых кристаллах см. также Веркин и Б. И. Квантовые кристаллы и квантовая диффузия. — Природа, 1978, №12, с. 66; Андреев А. Ф. — Вестник АН УССР, 1981, № 12, с. 9; Паршин А. Я. Когерентная кристаллизация и кристаллизационные волны. — Природа, 1982, № 5, с. 28.

<sup>3</sup> С 1908 по 1923 г. лишь Лейденская лаборатория имела жидкий гелий.

<sup>4</sup> Voer J. de — Physica, 1948, v. 14, p. 139.

<sup>5</sup> Манжелий В. Г., Толкачев А. М. — Физ. тв. тела, 1963, т. 5, № 12, с. 3413.



Общий вид капориметра для исследований криокристаллов при температурах до 0,4 К.

щества и может достигать теплопроводности чистой меди<sup>6</sup>.

Испарение отвердевшего газа происходит преимущественно на границах зерен поликристаллического образца и в местах контакта со стенками сосуда, т. е. там, где энергия связи молекул меньше. Это позволяет использовать откачку паров для травления поверхности криокристалла, а также для отделения его от стенок сосуда при необходимости получить «свободный» образец.

Из-за высокой упругости паров криокристаллы легко вырабатывать из газовой фазы. Благодаря этому удается, например, получить однородные по концентрации твердые растворы или сразу вырастить образцы, имеющие кристаллическую структуру, существующую только при низких температурах, что позволяет избежать напряжений и деформаций, вызванных фазовыми переходами в твердом состоянии.

Обусловленная слабым взаимодействием между частицами высокая сжимаемость — еще одна интересная особенность криокристаллов. Одинаковое уменьшение объема в криокристаллах требует давления в 10—1000 раз меньше, чем в других твердых телах. Кроме того, из-за короткодействующего характера сил взаимодействия многие свойства криокристаллов очень сильно зависят от их плотности. Таким образом, криокристаллы оказываются весьма «отзывчивыми» даже на незначительные изменения давления. Низкие модули сдвига позволяют для их сжатия использовать, в принципе, те же методы, что и при сжатии жидкостей.

В результате усилий многих исследователей криокристаллы в значительной степени утратили свою былую «неприступность». Сегодня для их изучения применяют практически весь арсенал методов физики твердого тела: структурные, тепловые и ультразвуковые исследования, анализ инфракрасных и рамановских спектров, ядерного магнитного резонанса, рассеяние медленных нейтронов, измерение пластичности и т. д.

#### АТОМАРНЫЕ КРИОКРИСТАЛЛЫ

Более подробное знакомство с криокристаллами естественно начать с отвердевших инертных газов: неона, аргона,

<sup>6</sup> Веркин Б. И., Гетманец В. Ф., Михальченко Р. С. Теплофизика низкотемпературного сублимационного охлаждения. Киев, 1980.

криптона и ксенона, в поведении которых квантовые эффекты не играют определяющей роли. Именно их имеют в виду, когда говорят о простейших твердых телах.

Эти кристаллы состоят из частиц одного типа, поскольку атомы движутся в решетке как целое. Напомним, что в ионных кристаллах (металлах, полупроводниках) приходится учитывать движение по меньшей мере двух сортов частиц — электронов (отрицательных ионов) и положительных ионов. Благодаря сферической симметрии атомов инертных газов, силы, действующие между ними, можно считать центральными, т. е. зависящими только от межатомного расстояния. Кроме того, эти силы короткодействующие, что позволяет зачастую принимать во внимание только взаимодействие между ближайшими соседями. Высокая симметрия кристаллической решетки (перечисленные кристаллы имеют границентрированную кубическую решетку) также облегчает теоретические расчеты.

Из-за центрального взаимодействия единственный вид движения в этих кристаллах — это колебания атомов вблизи узлов решетки (трансляционные колебания), а единственными тепловыми возбуждениями являются акустические фононы (около точки плавления существенную роль играют также вакансии).

Наконец, вследствие слабой связи и значительной энергии колебаний атомов уже при абсолютном нуле температуры (нулевых колебаний) отвердевшие инертные газы, как и большинство криокристаллов вообще, легко переходят в равновесное состояние даже при низких температурах, и поэтому их поведение, в отличие от других твердых тел, слабо зависит от «предыстории».

Всплеск интереса к атомарным криокристаллам приходится на период с конца 50-х до начала 70-х годов. В это время в центре внимания исследователей были проблемы, имеющие общее значение для физики кристаллов: взаимодействие между частицами и структура кристаллов; пределы применимости гармонического приближения для описания колебаний атомов и основанных на нем методов расчета фононных спектров и тепловых свойств; ангармонизм трансляционных колебаний и, в частности, фонон-фононное взаимодействие; квантовые эффекты и нулевые колебания; разрушение трансляционного порядка и устойчивость решетки и т. д.

Для атомарных криокристаллов, и в то время фактически только для них,

удалось, исходя из сведений о потенциале межатомного взаимодействия, построить количественные теории многих физических свойств. Решение перечисленных выше задач пытались получить, сопоставляя выводы этих теорий с экспериментальными результатами структурных исследований, изучения тепловых свойств, сжимаемости, диффузии и т. п. На этом пути был достигнут значительный прогресс, и современная динамическая теория кристаллической решетки утверждением своих основ многим обязана атомарным криокристаллам.

Любопытно отметить, что коль скоро речь шла о проверке количественных предсказаний, эксперименты проводились особенно тщательно, в возможно более широких интервалах температур и давлений, так что на сегодняшний день сведения об отвердевших инертных газах полнее, точнее и надежнее, чем, например, об алюминии, меди или серебре. Были получены и интересные качественные результаты. Упомянем лишь два из них.

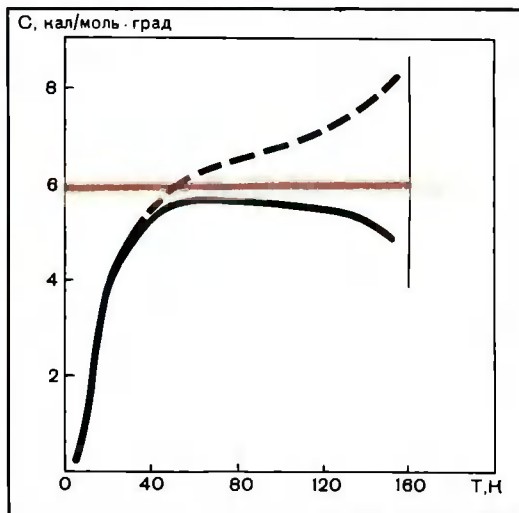
Известно, что атомная теплоемкость при постоянном объеме  $C_V$  с увеличением температуры монотонно растет, асимптотически приближаясь к значению 6 кал/град (закон Дюлонга и Пти). У отвердевших же инертных газов  $C_V$ , не достигая этой величины, начиная с некоторой температуры, довольно быстро уменьшается. Этот эффект связан с тем, что при температурах, превышающих дебаевскую, колебания решетки атомарных криокристаллов уже не являются гармоническими<sup>7</sup>.

В качестве другого примера укажем на обнаружение в твердых аргоне и криптоне переноса тепла вакансиями<sup>8</sup>. В результате диффузии вакансии из нагретой части кристалла, где их концентрация выше, перемещаются в область с более низкой температурой. Оказавшись в этой части образца, «избыточные» вакансии в

<sup>7</sup> Дебаевская температура  $\theta$  — характерный параметр модели Дебая, согласно которой твердое тело представляется в виде изотропной упругой среды, способной совершать колебания в диапазоне частот от 0 до некоторой максимальной частоты  $\omega_m$ . Дебаевская температура определяется соотношением  $\theta = \hbar\omega_m/k$  ( $k$  — постоянная Больцмана) и указывает для каждого вещества ту область температур ( $0 < T < \theta$ ), где существенны квантовые эффекты.

<sup>8</sup> Бондаренко А. И., Манжелей В. Г., Попов В. А., Стржемецкий А. А., Гаврилко В. Г. — Физ. низк. темп., 1982, т. 8, № 11, с. 1234.

процессе установления теплового равновесия исчезают, выделяя теплоту, равную примерно теплоте сублимации. Значительная энергия, переносимая вакансиями, в определенной степени компенсирует их медленное перемещение. Нетрудно понять, почему этот механизм теплопереноса, имеющий общий характер, обнаружен пока только в отвердевших инертных газах. В той области температур, где существенны концентрации вакансий, у металлов и полупроводников доминирует перенос тепла за счет движения электро-



Температурная зависимость теплоемкостей твердого ксенона при постоянном объеме  $C_v$  (сплошная кривая) и при постоянном давлении  $C_p$  (пунктир). Отклонение при температурах выше дебаевской (64 К для ксенона) от закона Дюлонга и Пти ( $C=6$  ккал/град) обусловлено для  $C_v$  агармонизмом колебаний кристаллической решетки, а для  $C_p$  — влиянием вакансий. (Вертикальная черта справа отвечает температуре тройной точки.)

нов, по сравнению с которым вклад вакансий очень мал. В ионных и молекулярных кристаллах в настоящее время невозможно выделить этот вклад на фоне других механизмов, обусловленных, в частности, оптическими колебаниями ионов или вращательным движением молекул. В атомарных же кристаллах перенос тепла в результате движения вакансий необходимо отделить только от хорошо изученного фононного механизма теплопереноса. И еще одно немаловажное обстоятельство. Для точного опреде-

ления роли вакансий теплопроводность нужно измерять при постоянной плотности, чего пока удается добиться только в кристаллах.

## МОЛЕКУЛЯРНЫЕ КРИОКРИСТАЛЛЫ

Успехи, достигнутые в определении свойств отвердевших инертных газов, позволили перейти к планомерному изучению более сложных кристаллов. Ими, по логике исследований, стали классические молекулярные криокисталлы и квантовые кристаллы. К молекулярным криокисталлам принадлежат, в частности, твердые  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $CD_4$ ,  $NH_3$ . Для этих веществ энергия внутримолекулярных связей значительно больше энергии межмолекулярного взаимодействия. Соответственно частоты внутримолекулярных колебаний настолько высоки, что не вносят заметного вклада в тепловые свойства вплоть до тройной точки. Это означает, что при рассмотрении теплового движения в молекулярных криокисталлах, помимо трансляционных колебаний, необходимо рассматривать лишь вращательное движение недеформируемых молекул. Новый вид движения приводит к появлению наряду с фононами возбуждений, именуемых обычно либронами (от слова «либрация», означающего вращательные колебания). Фононы и либрены лишь в частных случаях однозначно связаны с трансляционными колебаниями и либрациями. В общем же случае они представляют собой возбуждения смешанных трансляционно-вращательных колебаний молекул в решетке.

Силы взаимодействия в молекулярных кристаллах являются нецентральными, т. е. зависят от взаимных ориентаций молекул. В потенциале взаимодействия можно выделить центральную и нецентральную части. Центральное взаимодействие ответственно за порядок в расположении центров тяжести молекул (трансляционный порядок). Нецентральное приводит к возникновению при низких температурах дальнего порядка во взаимных ориентациях молекул — так называемого ориентационного порядка. В большинстве молекулярных кристаллов существует несколько фаз, отличающихся ориентационным порядком.

С повышением температуры происходит разрушение и трансляционного, и ориентационного порядков, завершающееся фазовыми превращениями. Если домини-

руют центральные силы, как в случае твердых  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CD_4$ , полное исчезновение дальнего ориентационного порядка (ориентационное плавление) наблюдается еще в твердой фазе, т. е. раньше, чем разрушится трансляционный порядок (обычное плавление). В том случае, когда преобладают нецентральные силы (как это имеет место в жидких кристаллах), плавление наступает раньше ориентационного плавления, так что ориентационный порядок сохраняется и в жидкой фазе. В большинстве молекулярных криокристаллов потенциалы нецентрального и центрального взаимодействий, как правило, одного порядка. При этом дальний ориентационный порядок сохраняется вплоть до плавления, когда одновременно исчезают и трансляционный, и ориентационный порядки.

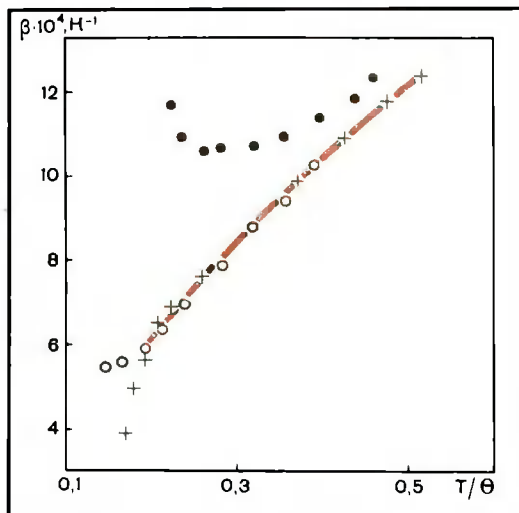
Разрушение дальнего ориентационного порядка приводит к исчезновению связанной с ним либронной ветви коллективных возбуждений. С ростом температуры в ориентационно-разупорядоченной твердой фазе вращательное движение молекул постепенно приближается к свободному.

Активное изучение молекулярных криокристаллов началось в 60-х годах и продолжается до сих пор. Усилия исследователей в основном сосредоточены на следующих вопросах: нецентральное межмолекулярное взаимодействие; структура и фазовые равновесия; нулевые и тепловые вращательные и трансляционные движения молекул в решетке; взаимодействие между элементарными возбуждениями; ориентационное разупорядочение; фазовые превращения.

После выяснения основных качественных особенностей этих кристаллов удалось существенно продвинуться и в создании количественной теории. Прежде всего это относится к кристаллам с линейными молекулами ( $N_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$ ). Для них оказалось возможным рассчитать температуры фазовых превращений, оценить термодинамические величины, влияние на них ангармонизма колебаний и нулевых либраций, роль фонон-либронных взаимодействий и их вклад в теплопроводность, а также описать начальные стадии ориентационного разупорядочения. Заметно улучшилось и понимание поведения единственного молекулярного магнетика — твердого кислорода, динамика решетки которого в значительной мере определяется обменным взаимодействием

и связанными с ним коллективными возбуждениями — магнонами<sup>9</sup>.

Среди проблем, еще далеких от решения, следует отметить одну, связанную с разрушением ориентационного порядка, как дальнего, так и ближнего. Процессы разрушения дальнего трансляционного порядка в обычных кристаллах можно изучать только на начальной стадии, поскольку плавление наступает при концентрациях вакансий порядка  $10^{-4}$ — $10^{-2}$ , тогда как в молекулярных криокристаллах разрушение ориентационного



Сравнение при равных приведенных температурах  $T/\Theta$  [ $\Theta$  — дебаевская температура] коэффициентов объемного расширения атомарного кристалла Ag (знак +), ориентационно-разупорядоченных фаз молекулярных криокристаллов  $CH_4$  (светлые кружки) и  $CD_4$  (темные кружки) с одинаковыми структурами и близкими энергиями связи. С повышением температуры по мере перехода к свободному вращению молекул коэффициенты теплового расширения всех трех веществ становятся примерно одинаковыми. Видно, что у вещества с большей амплитудой нулевых вращательных колебаний ( $CH_4$ ) этот переход наступает при меньших температурах. [Данные взяты из работы: Manzhelii V. G., Tolkachev A. M., Gavrilko V. G. — J. Phys. and Chem. Solids, 1969, v. 30, p. 2759.]

порядка в принципе доступно для исследования на любой стадии.

Прогресс в изучении простейших молекулярных кристаллов позволит в будущем достичь более глубокого проникновения в природу сложных молекулярных

<sup>9</sup> Крупский И. Н., Прохвятилов А. И., Фрейман Ю. А., Эренбург А. И. — Физ. низк. темп., 1979, т. 5, № 3, с. 271.



Трансляционный  $\lambda_t$  и вращательный  $\lambda_r$  квантовые параметры и приведенные температуры обычно (табл. 1) и ориентационного (табл. 2) плавления кристаллов

Таблица 1

	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$	$\text{H}_2$	$\text{D}_2$	$\text{Ne}$	$\text{Xe}$
$\lambda_t$	0,49	0,43	0,26	0,20	0,09	0,009
$T_{пл}/\varepsilon$	0	0	0,40	0,54	0,67	0,70

Таблица 2

	$\text{H}_2$	$\text{D}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{CD}_4$	$\text{N}_2$	$\text{CO}_2$
$\lambda_r$	4,7	3,1	0,89	0,47	0,42	0,04
$T_{оп}/\varepsilon_\varphi$	0,38	0,44	0,83	1,07	1,08	1,1

кристаллов. Нереально, однако, требовать от теории такой же детализации и точности в описании их свойств, которые достижимы для простых кристаллов. С усложнением объектов исследования, как правило, ставятся и решаются все более ограниченные задачи.

### КВАНТОВЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Квантовыми называют кристаллы, динамика решетки которых не может быть описана в классическом приближении. Квантовыми кристаллами относительно трансляционных колебаний решетки являются твердые изотопы гелия  $\text{He}^3$  и  $\text{He}^4$  и водорода  $\text{H}_2$  и  $\text{D}_2$ , а относительно вращательного движения молекул —  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Существование квантовых кристаллов — следствие принципа неопределенности Гейзенберга  $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar$ , где  $\Delta p$  и  $\Delta x$  — неопределенности импульса и координаты частицы,  $\hbar$  — постоянная Планка. Поскольку в кристалле  $\Delta x$  порядка размера частицы  $\sigma$ , минимальное значение кинетической энергии должно быть порядка  $(\hbar/\sigma)^2/m$ , где  $m$  — масса частицы. Эта величина связана с нулевыми колебаниями решетки. Чтобы оценить, велика или мала энергия нулевых колебаний, естественно сопоставить ее с энергией центральной части межмолекулярного взаимодействия  $\varepsilon$ . Корень из отношения этих энергий  $\lambda_t = \hbar/(\sigma^2 m \varepsilon)^{1/2}$  называется параметром де Бюра и является количественной мерой «квантовости» трансляционных колебаний кристалла. Подобным

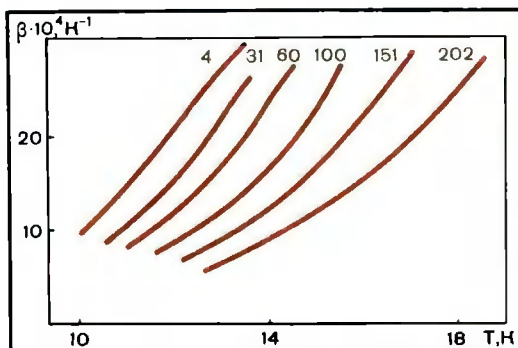
же образом можно получить квантовый параметр для вращательного движения молекул  $\lambda_r = \hbar(1 - \varepsilon_\varphi)^{1/2}$ , где  $I$  — момент инерции молекулы, а  $\varepsilon_\varphi$  — определяемый нецентральными силами энергетический барьер, препятствующий ее вращению. Из вида параметров следует, что роль квантовых эффектов возрастает по мере уменьшения энергии межмолекулярного взаимодействия, массы и размеров молекул. В таблице представлены два ряда кристаллов, расположенных по мере увеличения их трансляционного и вращательного квантовых параметров. Квантовые эффекты в кристаллах со сравнительно небольшими значениями этих параметров незначительны.

Ситуация меняется, когда речь идет о квантовых кристаллах. Так, классическая схема расчета трансляционных колебаний дает мнимые частоты для всех или, по крайней мере, для одной из акустических ветвей в твердых  $\text{He}^3$ ,  $\text{He}^4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{D}_2$ . Собственно, неприменимость классического рассмотрения и служит основанием считать кристалл квантовым. Критерием для отнесения кристалла к квантовым относительно вращательного движения молекул может служить существенное различие свойств его модификаций, отличающихся суммарным ядерным спином, различие, необъяснимое с точки зрения классической физики. Позже мы вернемся к этому вопросу. Сейчас же кратко обсудим некоторые особенности молекулярного движения в квантовых кристаллах и их проявление в наблюдаемых физических

свойствах. Нарушение порядка в кристалле нарастает по мере увеличения кинетической энергии частиц, состоящей из тепловой энергии и энергии нулевых колебаний. Последняя в квантовых кристаллах превалирует, и поэтому разрушение трансляционного и ориентационного порядков в них, как видно из таблиц, наступает при сравнительно низких температурах. Чтобы учесть различие сил взаимодействия в кристаллах, сравнивают не абсолютные, а приведенные температуры, равные для трансляционного плавления  $T_{пл}/\epsilon$  и для ориентационного  $T_{ор}/\epsilon_{\phi}$ . Нулевые трансляционные колебания в изотопах гелия настолько велики, что последние даже при  $T=0$  К остаются жидкими и кристаллизуются лишь под давлением. Аналогичные рассуждения приводят к заключению о том, что с ростом энергии нулевых колебаний существенно меняются значения многих физических величин. Так, в твердом водороде при  $T=0$  К теплота сублимации в 3,5 раза меньше, а молекулярный объем и сжимаемость соответственно в 1,6 и 8 раз больше, чем в гипотетическом кристалле водорода, в котором отсутствуют нулевые колебания. Амплитуды нулевых колебаний (трансляционных и вращательных) в квантовых кристаллах настолько велики, что эти колебания ангармоничны даже при  $T=0$  К. Отсюда должны вытекать самые серьезные последствия, связанные с отказом от гармонической теории динамики решетки и представлений о фононах и либронах. Можно также ожидать, что большое влияние на физические свойства квантовых кристаллов будет оказывать и другая особенность движения их частиц. Если бы это движение было независимым, то большие амплитуды нулевых колебаний, сопоставимые с расстоянием между частицами в решетке, периодически приводили бы к сильному сближению соседних частиц. Следствием этого явилось бы значительное возрастание сил отталкивания между ними и энергии кристалла в целом. На самом деле, ничего подобного не происходит, ибо в квантовом кристалле имеет место коррелированное движение соседних частиц (близодействующие корреляции), в результате чего расстояния между ними и, соответственно, потенциалы сил отталкивания существенно не меняются.

Поиски проявления указанных особенностей динамики решетки дали обескураживающие результаты. Энергетический спектр и абсолютные значения физических величин действительно не описы-

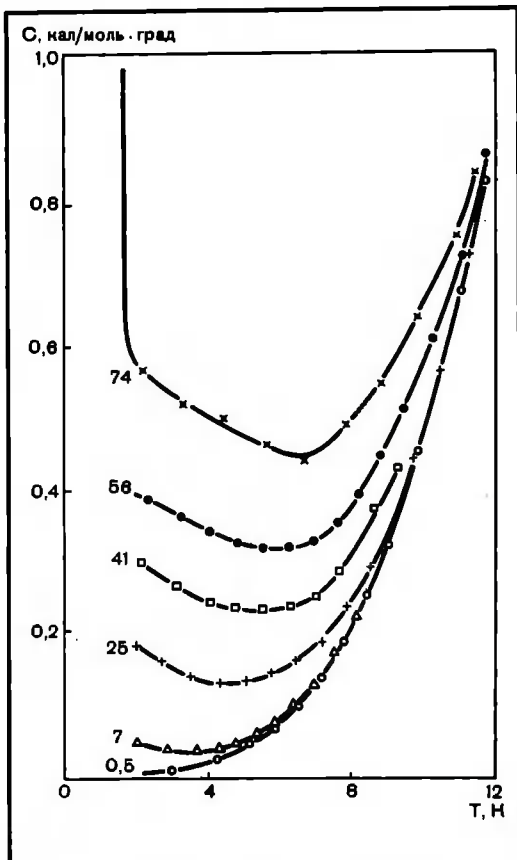
вались классической теорией, использующей микроскопические параметры молекул (массу, размер, момент инерции, энергию взаимодействия). Однако эмпирически установленные связь термодинамических величин друг с другом и зависимость их от температур, объема и давления оказались близкими к наблюдаемым в классических кристаллах. Для объяснения этого парадокса потребовалась теория, указывающая особенности динамики квантовых кристаллов. В этой теории удалось сохранить, правда на новой основе,



Коэффициент объемного расширения твердого пара-водорода как функция температуры при различных давлениях (в атмосферах), указанных числами возле соответствующих кривых. Приведенные данные свидетельствуют о том, что свойства квантовых кристаллов очень сильно зависят от давления. [Кривые взяты из работы: Манжелий В. Г., Удовиченко Б. Г., Ельсон В. Б.— Физ. низк. темп., 1975, т. 1, № 6, с. 799.]

представление о фононах и либронах и объяснить «классическое» поведение равновесных свойств квантовых кристаллов.

Качественные особенности поведения кристаллов, квантовых относительно трансляционных колебаний, обусловлены туннелированием. В классических кристаллах перемещение частицы из занимаемого ею узла решетки в другой возможно лишь при преодолении разделяющего узлы энергетического барьера в результате тепловой флуктуации, вероятность которой быстро убывает с понижением температуры. Туннелирование же представляет собой подбарьерное «просачивание» частицы, вероятность которого в достаточно чистом и совершенном квантовом кристалле, наоборот, быстро растет при уменьшении температуры. Туннелированием определяются такие явления, как квантовая диффузия и образование кристаллизационных волн в твердом гелии. Мы сознатель-



Температурные зависимости теплоемкости твердого водорода при различных содержаниях (в процентах) ортомодификации [по результатам работы: Hill R. W., Ricketson B. W. A. — Phil. Mag., 1954, v. 45, p. 277].

но ограничились только упоминанием об этих эффектах, поскольку информация о них содержится в ряде доступных и хорошо написанных популярных статей<sup>10</sup>. В то же время в отечественной литературе нет таких статей о кристаллах, квантовых относительно вращательного движения молекул. Именно о них и пойдет речь в дальнейшем.

В конечном счете, причиной «квантовости» таких кристаллов является близкое к свободному уже при  $T=0$  К вра-

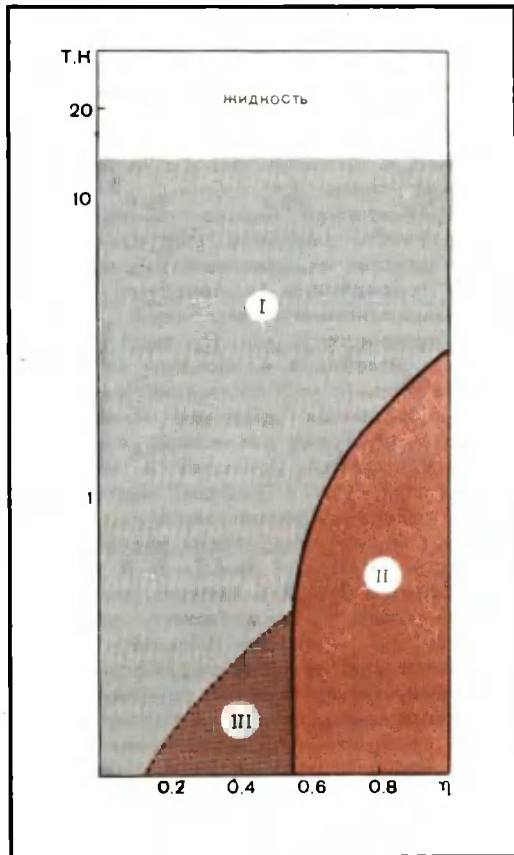


Диаграмма равновесия растворов орто- и параводорода. По оси абсцисс отложена концентрация ортоводорода в относительных единицах, по оси ординат — температура в логарифмическом масштабе. I — ориентационно-разупорядоченная фаза с гексагональной плотноупакованной решеткой, II — ориентационно-упорядоченная фаза с гранцентрированной кубической решеткой, III — квадрупольное стекло с гексагональной плотноупакованной решеткой.

щение их молекул, обусловленное малым моментом инерции и слабым нецентральным взаимодействием. Только в этом случае энергетический спектр вращательного движения молекул зависит от спина ядра, и физические свойства оказываются различными для модификаций, отличающихся суммарным ядерным спином. Для молекулы водорода такими модификациями являются орто- и парасостояния с суммарными ядерными спинами 5, равными соответственно 1 и 0. Эти значения получаются в результате суммирования спинов протонов ( $s=1/2$ ), направленных па-

<sup>10</sup> См., напр., сноску 2.

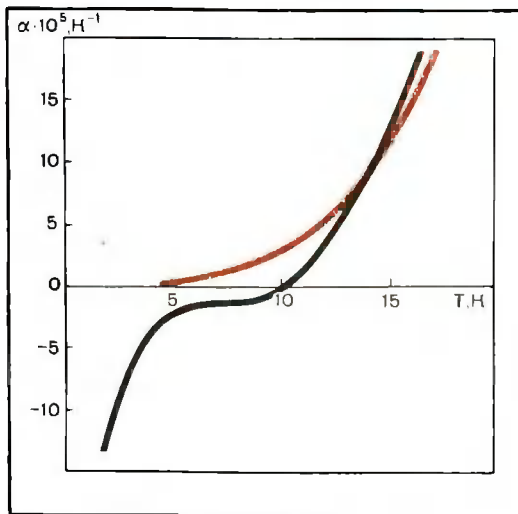
раллельно в ортоводороде и антипараллельно в параводороде. Для метана ( $\text{CH}_4$ ) существуют 3 модификации с суммарными ядерными спинами  $S=2, 1$  и  $0$ .

В молекуле параводорода разрешенными уровнями в энергетическом спектре свободного ротатора  $E=\hbar^2 J(J+1)/2I$  являются уровни с четным значением так называемого вращательного квантового числа ( $J=0, 2, 4$  и т. д.), связанного с моментом количества движения, для молекулы ортоводорода — с нечетным ( $J=1, 3, 5...$ ). Основное состояние парамолекулы ( $J=0$ ) расположено на  $172$  К ниже основного состояния ортомолекулы<sup>11</sup>. Это означает, что в области существования твердой фазы ( $0-14$  К) водород в равновесии состоит практически только из модификации с  $J=0$ . Поскольку превращение одной модификации в другую (конверсия) происходит в водороде довольно медленно (и еще медленнее в дейтерии), неравновесные модификации твердых водорода и дейтерия можно получить и сохранять в течение времени, достаточного для многих экспериментов. В метане часть молекул, расположенных в решетке определенным образом, конвертирует довольно быстро, что не позволило пока разделить и изучить спиновые модификации  $\text{CH}_4$ .

Основное состояние отстоит от первого возбужденного на  $516$  К в параводороде и  $860$  К в ортоводороде, поэтому в твердой фазе обе модификации находятся в основном состоянии. Тот же результат имеет место и для дейтерия, однако в метане положение меняется.

Важный результат квантовой механики — независимость волновой функции свободного ротатора от угла при  $J=0$ . Это означает, что состояния молекулы параводорода сферически симметричны (делокализация или «размазывание» по ориентациям). Таким образом, в твердом водороде (и дейтерии) можно изучать как квантовый кристалл с центральным взаимодействием (параводород), низкочастотными возбуждениями которого являются фононы, так и квантовый кристалл с нецентральной взаимодействием (ортоводород), в спектре которого наряду с фононами присутствуют и либроны. При низких температурах в ортоводороде существует дальний ориентационный поря-

док, исчезающий в результате фазового превращения при  $3$  К. Пара- и ортоводород разительно отличаются по своим свойствам. Например, теплоемкость ортоводорода при температурах около  $4$  К в  $100-1000$  раз больше, а теплопроводность во столько же раз меньше, чем у параводорода. Качественное объяснение этого не представляет труда. Так, низкая теплопроводность ортоводорода обусловлена значительным рассеянием фононов вследствие взаимодействия их с вращательным движением молекул.



Коэффициенты линейного расширения твердых метана (черная кривая) и дейтерометана (цветная кривая). Отрицательное тепловое расширение метана обусловлено тем, что с понижением температуры увеличивается содержание спиновой модификации, имеющей наибольший молярный объем. Существенное различие в поведении спиновых ядерных модификаций — характерный признак кристаллов, квантовых относительно вращательного движения молекул.

Весьма своеобразны и свойства твердых растворов орто- и параводорода. При низких температурах и высоких концентрациях  $\eta$  ортоводорода в них существует дальний ориентационный порядок, температура разрушения которого понижается с уменьшением  $\eta$  и обращается в нуль при  $\eta \approx 55\%$ . При меньших значениях  $\eta$  и температурах ниже  $0,4$  К ориентации случайно расположенных в решетке молекул ортоводорода «замораживаются» и возникает так называемое квадрупольное стекло, природа и кинетика образования

<sup>11</sup> В физике низких температур энергию принято измерять в градусах Кельвина (переход от этих единиц к обычным может быть осуществлен в результате умножения на постоянную Больцмана  $k$ ).

которого являются сейчас предметом оживленных дискуссий.

Интерес к квантовым кристаллам в настоящее время велик. Формально направления исследований, перечисленных выше для классических кристаллов, сохраняются и для квантовых. Специфика квантовых кристаллов отчетливо проявляется и в «классических» направлениях исследований, например в стандартной задаче о зависимости свойств кристалла от его плотности. Как указывалось ранее, квантовые эффекты в кристаллах уменьшаются с увеличением плотности. В связи с этим можно предвидеть принципиальные изменения в структуре, энергетическом спектре и поведении ряда свойств квантовых кристаллов с ростом давления. В частности, следует ожидать исчезновения различий между орто- и парамодификациями водорода и дейтерия. В состояниях изотопов водорода с  $J=0$  возрастание плотности должно приводить к усилению нецентрального взаимодействия, что, согласно теоретическим оценкам, приведет при давлении в несколько сотен тысяч атмосфер к фазовому переходу с возникновением дальнего ориентационного порядка и либронных возбуждений в энергетическом спектре. Похоже, что в дейтерии такой эффект уже обнаружен<sup>12</sup>. При еще более высоких давлениях водород должен перейти в металлическое состояние. Впрочем, эта последняя, очень интересная проблема прямого отношения к квантовым кристаллам не имеет.

Среди направлений исследований, характерных только для квантовых молекулярных кристаллов, отметим изучение твердых растворов спиновых модификаций. Наиболее яркий результат в этой области — обнаружение квантовой диффузии в водороде. Оказалось, что при гелиевых температурах ( $T < 4$  К) в растворах с малой концентрацией ортоводорода происходит объединение одиночных молекул ортоводорода в группы (кластеры)<sup>13</sup>. Само по себе образование кластеров естественно, так как силы притяжения между ортомолекулами несколько больше сил притяжения между парамолекулами. Однако скорость образования кластеров при классической диффузии ничтожна и недоступна для экспериментального обнаружения.

Процесс, обеспечивающий кластерообразование, получил название квантовой диффузии и по существу представляется в парамолекуле обменом состояниями между соседними молекулами (одновременный поворот спина протона в орто- и парамолекуле превращает ортомолекулу в парамолекулу и наоборот). Таким образом, в кристалле водорода перемещаются не молекулы, а состояния. Законы квантовой диффузии в водороде существенно отличаются от ее закономерностей в гелии, где она обусловлена перемещением молекул. Многие вопросы, касающиеся квантовой диффузии в водороде, еще ждут своего решения. В кристалле дейтерия с менее ярко выраженными квантовыми свойствами квантовая диффузия уже не наблюдается.

В тесной связи с исследованиями твердых растворов спиновых модификаций находится исследование конверсии в квантовых молекулярных кристаллах и сопутствующих ей явлений. К таким явлениям, в частности, относится отрицательное тепловое расширение (увеличение объема с понижением температуры) твердого метана при температурах ниже 8 К. Причина этого, возможно, заключается в следующем. Низшее основное энергетическое состояние и более слабое межмолекулярное взаимодействие характерно для модификации метана с суммарным ядерным спином  $S=2$ . При понижении температуры концентрация этой модификации в твердом метане возрастает, а межмолекулярное взаимодействие ослабевает, за счет чего объем кристалла увеличивается.

То обстоятельство, что многие важные вопросы, относящиеся к кристаллам, «забыты» в настоящей статье, объясняется тремя причинами: ограниченностью ее объема, необходимостью сохранить цельность изложения и естественным желанием автора избегать областей, в которых он недостаточно компетентен. Среди таких вопросов назовем: спектральные исследования, дающие информацию о высокочастотных возбуждениях в кристаллах; примесные эффекты, некоторые из которых весьма интересны и наблюдаются только в кристаллах; особенности поведения молекулярного магнетика — твердого кислорода, пластичность кристаллов и, наконец, прикладные применения кристаллов. Каждая из этих тем, безусловно, заслуживает специального рассмотрения.

<sup>12</sup> Silvera I. F., Wijngaarden R. J.— Phys. Rev. Lett., 1981, № 1, p. 39.

<sup>13</sup> Amstutz L. I., Thompson J. R., Meyer H.— Phys. Rev. Lett., 1968, № 21, p. 1175.



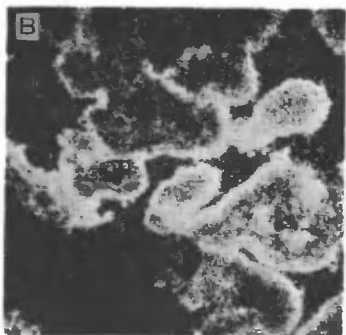
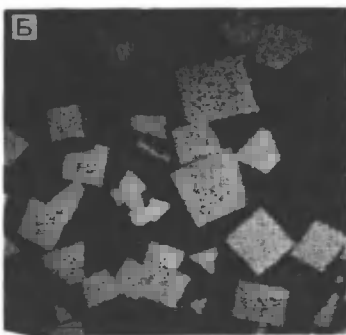
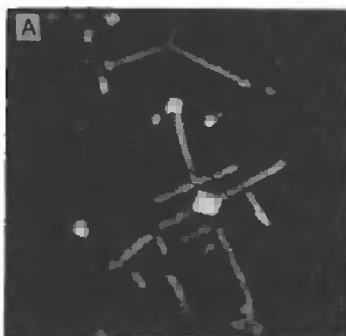
## Самородное железо в углях Приморья

**С. А. Щека,**  
кандидат геолого-минералогических наук  
Дальневосточный геологический институт ДВНЦ АН СССР

**В. М. Чубаров,**  
Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР

Любая находка самородного железа в погребенных на большую глубину осадочных породах чрезвычайно интересна, поскольку не исключено, что мы имеем дело с древним метеоритом. Поэтому мы с особым вниманием отнеслись к образцам металла, извлеченным с глубины 50—120 м из угольных пластов Липовецкого месторождения (Западное Приморье), возникшего в меловом периоде. Угли этого месторождения представлены довольно редкой, богатой смолой разновидностью — рабдопситом.

Образцы самородного железа обнаружены только в угольных пластах. По форме они напоминают округлую гальку с максимальными размерами 7×7×2 см. Поверхность образцов испещрена ячейками и кавернами, покрыта бурым налетом гидроокислов железа. В свежем срезе образцы соломенно-белые, но на воздухе быстро тускнеют и покрываются ржавчиной. При полировке выявляется грубо-пластинчатая кубическая структура образцов, лишенная каких-либо признаков удара. Дальнейшее изучение образцов на рентгеновском микроанализаторе показало, что трещины спайности заполнены густой сеткой из пластинок двуокиси титана, размер и количество которых возрастают к краю образца. Такие пластинки формируются при диффузии титана по трещинам и совершенно не свойственны метеоритам. Ос-



Образец самородного железа в рентгеновских лучах. Увел. в 300 раз. А — центральная часть образца; видны светлые пластинки двуокиси титана в ферросилициде, которым сложен образец. Б — крайевая часть того же образца; светлые кристаллы двуокиси титана хорошо выделяются на фоне ферросилицида. В — поверхность образца; замещение ферросилицида двуокисью титана [светлое].

новная масса самородного железа представлена ферросилицием (88% железа, 12% кремния), в котором кремний распределен очень равномерно.

Валовой спектральный анализ вещества из внутренней части образца дал такие результаты (в %): Ni — 0,31; Co — 0,029; Cr — 0,79; Ti — 1,70; V — 0,22; Mn — 0,63; Zr — 0,0091; Ge — 0,001. Характерное для железных метеоритов обогащение никелем и хромом уживается в наших образцах с высоким содержанием титана, марганца и германия — элементов, являющихся геохимическими антагонистами космического железа.

Итак, приходится отказаться от мысли о космической природе самородного железа в углях Липовецкого месторождения. Но как оно все-таки возникло?

Известно, что кроме широко распространенных марганцевых конкреций в природе часто встречаются железистые конкреции — гидроокисные или сидеритовые. Изучая осадки Японского моря, мы пришли к выводу, что гидроокисные микроконкреции сорбируют значительное количество кремния, марганца, хрома, титана, никеля. Подобным же набором примесей обладает и самородное железо из углей Липовецкого месторождения. Длительный контакт гидроокислов железа с углеродом, особенно в процессе преобразования органики до состояния каменного угля, должен был приводить к восстановлению окислов и гидроокислов железа до самородного состояния. В эксперименте такой процесс идет очень быстро, природе же на него потребовалось не менее 100 млн лет.

Таким образом, необходимо тщательно исследовать все железные «метеориты», обнаруженные ранее в углях. И только после этого можно выносить окончательное решение об их происхождении.

## Леонардо да Винчи о бесконечном

Л. М. Баткин



Леонид Михайлович Баткин, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Института всеобщей истории АН СССР. Специалист в области истории и философии культуры. Книги: Данте и его время. М., 1965; Итальянские гуманисты: стиль жизни и стиль мышления. М., 1978; Die Historische Gesamtheit der italienischen Renaissance Versuch einer Charakterisierung einer Kulturtyps. Dresden, 1979.

Известно, что нет такой области естествознания, в которой Леонардо да Винчи (1452—1519) не оставил бы гениальных наблюдений и догадок. Это, бесспорно, самая грандиозная фигура перед порогом науки Нового времени. Однако, во-первых, заметки и чертежи Леонардо после его смерти оставались (за малым исключением — в том, что относилось к живописи) до конца XIX в. нерасшифрованными и погребенными в европейских рукописных хранилищах. Учеников-естествоиспытателей у него не было. Его открытия, таким образом, полностью выпали из кумулятивного развития науки. Во-вторых, хотя Леонардо всю жизнь обдумывал планы трактатов по механике, анатомии, гидродинамике и др., его наследие состоит исключительно из тысяч отрывочных записей, не поддающихся какой-либо убедительной систематизации, и эскизных набросков, обозначающих замыслы действия множества механизмов и приспособлений (большая часть реально осуществленных, но только спустя несколько веков — от танков до акваланга). Незаконченность — коренное свойство мышления Леонардо, как бы всецело эвристического и пока мало понятого, но, во всяком случае, не имевшего ничего общего с «научностью» в строго-методическом смысле этого слова. В-третьих, отдельных естественных наук

еще не было, и даже естествознания в целом как чего-то отдельного тоже еще не было; поэтому Леонардо нельзя представить себе ботаником, химиком, физиком и пр. в одном лице. Он являл собою лишь, так сказать, проекты этих будущих профессий.

В особенности трудно разграничить в его отношении к природе взгляд ученого и взгляд живописца. В связи с этим часто писали о «научно-художественном синкретизме» Леонардо, а также о его «эмпиризме», «сенсуализме» и т. п. Но приложение позднейших понятий, выработанных новейшей европейской культурой, к культуре ренессансной (т. е. совершенно инакового порядка) — вряд ли что-нибудь действительно объясняет. Несложно, разумеется, рассмотреть Леонардо с точки зрения современного естествознания или, скажем, математики. Тогда он будет выглядеть — сверху вниз — всего лишь нестерпимо-наивным нашим «предшественником», вызывающим неизбежно снисходительное отношение. Тогда Леонардо-естествоиспытатель (в отличие от Леонардо-живописца?) давным-давно «снят» движением науки и ничуть не интересен для ума конца XX в. (разве что в качестве археологического курьеза), не способен участвовать в работе этого ума, в роли равноправного собеседника.

Впрочем, также и Леонардо-естествоиспытатель (точнее, весь Леонардо) вполне может быть истолкован культурологически. В таком случае перед читателем с естественнонаучными склонностями (а не только перед гуманитарием) возникнут — вместо до-научной архаики и слишком очевидных «ошибок» — далеко не очевидные возможности творческого мышления, строящего себя на незнакомых нам понятиях и ценностях, в чужой логике, в непривычной теперь сетке мировоззренческих координат. А это весьма поучительное зрелище, когда каждая наука задумывается над происхождением своей аксиоматики, считавшейся в прошлом веке просто-напросто как бы заимствованной учеными непосредственно у самой природы. Это зрелище помогает уяснить особый, исторический характер того способа относиться к миру, который мы называем наукой: т. е. помогает уяснить себе себя самих.

В этой статье некоторые философско-математические (или, если угодно, живописно-математические) идеи создателя «Джоконды» взяты именно в таком ширококультурном контексте, а не в плане традиционной истории науки.

#### ФОРМА ЗАПИСЕЙ ЛЕОНАРДО

Как всегда у Леонардо, перед нами лишь набор отдельных замечаний о Ничто (Nulla), сделанных в разные годы и по разным поводам, но никоим образом не какое-то последовательное философское учение. Всякая попытка согласовать, лишить зазоров эти разрозненные, отчасти дословно повторяющиеся, но отчасти идущие в неожиданном направлении и, возможно, противоречащие друг другу сентенции, — всякая подобная попытка была бы сомнительна уже потому, что исходила бы из неверного представления о характере мышления Леонардо. Как показали некоторые авторы, от Л. Ольшки и П. Валери до В. П. Зубова и К. Педретти, фрагментарность для Леонардо — не внешняя и временная, а принципиальная, неизбывная особенность творчества<sup>1</sup>. Поэтому и его высказывания о Ничто — отнюдь не осколки не дошедшей до нас систематической концепции. Даже простое их расположение в любой подборке останется неизбежно произвольным, а резюмирование — крайне проблематичным.

Тем не менее рапсодичность Леонардовой мысли в этом случае, как и в других, не лишает нас права ее интерпретировать — не с тем, чтобы закруглить в систему, но с тем, чтобы выявить взаимно напряженные смыслы. Все замечания Леонардо или выписки, сочувственно сделанные им из книг, или даже некие общие места, бывшие у него на слуху, так или иначе объединяются уже тем, что принадлежат ему, Леонардо, в качестве элементов безостановочной внутренней речи. Их незавершенность, конечно, не равносильна случайности и безразличию по отношению к личности флорентийского художника. Напротив, именно личность Леонардо — то единственное, что достраивает, довершает, доживает бесконечное множество набросков до прочного содержательного целого. Отрывочность выводит главный, связующий смысл как бы в промежуток между записями, сосредоточиваясь там, где они внезапно начинаются и внезапно исчезают. Фрагмент невольно превращается в реплику, обращенную Леонардо к самому себе, что так часто подчеркнуто и грамматически, причем это Леонардово «ты» может означать и читателя его наставлений, "precetti". (Не всегда легко установить, к себе как другому или к другому про себя адресуется автор.) Записи Леонардо густо окрашены интонационно, часто будучи очевидными откликами на чужие высказывания или подразумеваемая того, кто вникает. Но, помимо явных полемических, избобличающих, убеждающих и прочих интонаций, помимо разговорной ритмики, простонародной фонетики, сама форма мимолетного спонтанного наброска, сама отрывочность придает всему сказанному скорее смысл, чем значение (если воспользоваться оппозицией, столь основополагающей для «металингвистики», М. М. Бахтина). «Значение» — состояние надличного текста, «смысл» — живет в общительных речах индивида и порождается его особым положением среди других людей в мировом историческом бытии.

Так вот, отрывочность подневных заметок Леонардо, их сущая неподготовленность к тому, чтобы стать готовым, обращенным вовне, оторвавшимся от автора текстом, их абсолютная личностность, — затемняя или даже лишая эти заметки значения — обостряют смысловую напряженность. Любая фраза оказывается афористичной, т. е. образует волнующий смысловой избыток, даже если ничего собственно-афористичного в ней нет — бла-

<sup>1</sup> Баткин Л. М. — Известия АН СССР, сер. литерат. и яз., 1983, т. 42, № 2, с. 45.



Леонардо да Винчи.

Автопортрет. Ок. 1512 г. Сангина.

годаря одной лишь своей незаконченности на целостном фоне личности Леонардо. Обычный текст закруглен по правилам письменного изложения, обставлен условиями жанра, более или менее отвлечен от автора и замкнут на себя. Фрагменты Леонардо — не обычный текст. И не потому, что это только фрагменты текста, а потому, что генеральным (целостным) текстом выступает не простая совокупность всех сохранившихся и не сохранившихся фрагментов, не их сумма,— но творческая личность Лео-

нардо. Иначе говоря, любой фрагмент, независимо от предметного содержания, выдвигает на первый план проблему метода. Когда же — как во фрагментах о «пещере» (в глубине коей можно предполагать всякие «необычные» и «чудесные вещи», сотворенные искусной природой, но из-за мрака нельзя ничего разглядеть) или о «пятнах на стене» (вглядываясь в которые «ум живописца побуждается к новым изображениям») — мы имеем дело, по существу, с рассуждениями о

незаконченности, т. е. когда метод записей Леонардо находит продолжение и подкрепление в их непосредственном поводе и предмете, мы, следовательно, можем надеяться послушать своего рода (пусть неосознанные) самоопределения Леонардо.

Таковы и его суждения о точке как Ничто.

### ТОЧКА КАК НИЧТО. «УМ ЖИВОПИСЦА»

«Если угол есть встреча двух линий, то, поскольку линии кончаются в точке, бесконечные линии могут иметь начало в такой точке, и, наоборот, бесконечные линии могут в этой точке кончаться; следовательно, точка может быть общей к началу и концу бесчисленных линий»<sup>2</sup>. Но как раз потому, что точка — вершина бесконечного числа углов и через нее можно провести сколько угодно линий, «точка не есть часть линии», как и линия не принадлежит поверхности, а поверхность не включена в континуум тела. Проблема неделимой точки — это проблема границы: «...граница вещи есть поверхность, которая не есть часть тела, облеченного этой поверхностью, и не есть часть воздуха, окружающего это тело, а есть то среднее, что находится между воздухом и телом»<sup>3</sup>. Но в том-то и дело, что «между воздухом и телом» ничего не находится! Никакого, пусть пустого промешутка. «Среднего» нет, оно — ничто. «Ничто — то, что не причастно никакой вещи. Следовательно, поскольку границы тел не являются какой-либо их частью, а взаимно являются началом того и другого тела, эти границы — ничто, и потому поверхность — ничто»<sup>4</sup>.

В состоянии ли существовать то, что неделимо, не имеет места в пространстве, то, чего нет? Тем не менее «среднее» между воздухом и телом все-таки есть. Несуществующее с полной очевидностью существует. Ведь все объемы имеют поверхность. И стало быть, если додумать утверждение Леонардо, все тела запеленуты в Ничто, весь мир укутан в Ничто. Непосредственно мы видим только поверхности. Зрение воспринимает любое нечто через ничто, но, следовательно, ничто совпадает с оформленностью вещи. Каждой

самой по себе взятой вещи, если можно так выразиться, хорошо известно, где она начинается и кончается. По отношению к ней одной начало и конец являлись бы ее частями. (Правда, будь эта вещь единственной на свете, она оказалась бы бесконечной вещью, и у нее не было бы ни начала, ни конца, не было бы поверхности.) Поверхность вещи становится поверхностью лишь постольку, поскольку рассматривается рядом и вместе с другой вещью, от нее отличной, иначе говоря, при условии радикальной противоположности «первых начал геометрии, т. е. точки и линии» — и «власти геометрии, которая, как мы видим, делит видимые и телесные вещи на фигуры и тела бесконечного разнообразия». Рождаясь из точки, из ничего, геометрия (пространство) охватывает все. Поверхность вещи — не что иное, как переход от этого к тому. Она соответствует исполненной смысла паузе (эллипсису) в перечне, в мировом разнообразии (*varietà*).

Поверхность становится поверхностью, т. е. границей, только для того, кто границу переходит. Ее, разумеется, не переходит ни облеченное ею тело, ни обтекающий его воздух. Переход доступен лишь для третьего, а именно для того, кто смотрит. Только зрение (и умозрение) имеет дело с границей. Глаз видит ничто как нечто. Ум, признавая необходимость ее существования, вместе с тем убеждается, что она не существует. Ибо она ничто. «Ничто не имеет середины, и границы его — ничто»<sup>5</sup>.

Леонардово Ничто — это Ум, который пытается забраться между вещами, поселяется на их границе, и тем самым определение границы как того, что лишено границ, оказывается его собственным определением. Если граница не принадлежит ни одной из двух соприкасающихся вещей, она зато достояние ума. Глаза, видящего лишь поверхности тел, хотя это единственное, чего разглядеть нельзя. Если точка (Ничто) для Леонардо — захватывающая проблема, то проблема визуально-практическая по преимуществу: с ней связано великое изобретение Леонардо-художника, его «сфумато». Сфумато, моделировка тел тончайшей светотенью, мягкость, размытость очертаний, неуловимость перехода к окружающему воздуху — не ослабляет границы вещей, но, напротив, придает им необыкновенную выразительность.

<sup>2</sup> Леонардо да Винчи. Избр. естественнонаучные произв. М., 1955, с. 78.

<sup>3</sup> Там же, с. 79

<sup>4</sup> Там же, с. 80.

<sup>5</sup> Там же, с. 82, 81.

Улыбка Джоконды сработана целиком из сфумато (и исчезает при фотоувеличении). Сфумато — зримость незримого, наглядность существования несуществующего. Парадоксальность «первых начал геометрии» для Леонардо — не мучение ума, не исходный толчок понятийных трансформаций, а естественная данность.

Речь идет о естественной данности, какой она предстает для живописца, который должен отделиться от нее, отойти, чтобы увидеть. Тут точка как поверхность оказывается для Леонардо важнее, чем точка в собственном смысле слова. Дабы оба статуса точки — и то, что она «ничто», и то, что она «нечто среднее», — совпали, необходимо дистанцирование от нее. Безразлично, где поместить умозрительную точку по отношению к уму; но для зримо-го Ничто потребно некоторое расстояние по отношению к глазу. Поэтому для «ума живописца» идея расстояния неотделима от Ничто. «Ум живописца» и природные вещи, им наблюдаемые, расположены в одной горизонтальной плоскости и находятся не в иерархической соотнесенности, а в состоянии равенства. Художественное созерцание превращает границу вещи — Ничто — не в метафизическое Все, а в растекшееся пространство, в сфумато, короче, в живописуемое нечто. Ср. запись «О границах»: «...граница одной вещи в другой — имеет характер математической линии, а не линии. Поэтому граница одного цвета есть начало другого цвета, однако указанной линии не может существовать [non ha da essere], поскольку никакая вещь не уместится между каким-либо цветом и цветом, ему противопоставленным, разве что это граница, которая неощутима и вблизи. Итак, ты, художник, не проводи ее в вещах, находящихся на расстоянии»<sup>6</sup>.

#### ПАРАДОКСАЛЬНОЕ ТОЖДЕСТВО МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ФИЗИЧЕСКОГО

Леонардо, конечно, знает традиционное различие между «природной» и «математической» точками: «Наименьшая природная точка больше всех математических точек, и это доказывается тем, что природная точка обладает непрерывным количеством, всякая же непрерывность делима до бесконечности. А математическая точка неделима, ибо она не есть ко-

личество»<sup>7</sup>. Этому противостоит большинство других фрагментов о Ничто, в которых Леонардо совершенно обходит вопрос, который для всякого рационального разума напрашивается в первую очередь и который так волновал уже древних: в каком логическом статусе, в какой, собственно, сфере допустимо существование точки, не имеющей частей, и как можно обосновать движение подобной точки? Для Платона или Прокла в переходе от точки к континууму крылась важнейшая логическая трудность<sup>8</sup>. Для Леонардо же здесь нет проблем — кроме проблемы изображения. Он, как мы далее убедимся, вполне удовлетворяется констатацией немислимой, парадоксальной, «чудесной» природной реальности. Если он и озадачен, то задачей сугубо прикладной. Его привлекают не спекулятивные хитросплетения, а полезные для живописца соображения: «Вещи на расстоянии кажутся тебе двусмысленными и сомнительными; делай и ты их с такой же расплывчатостью, иначе они не покажутся находящимися на таком же расстоянии. И не очерчивай их край определенными границами, потому что границы суть линии или углы, которые, являясь пределами мельчайших вещей, будут неразличимы не только издали, но и вблизи»<sup>9</sup>.

Можно подумать, что давая советы в этом роде, Леонардо имел в виду уже никак не математическую неделимую точку, а «мельчайшие вещи» физического мира. Но тут нас подстерегает неожиданность: зная вообще-то об отличии понятий «природной точки» и «точки математической», об отличии неразличимых границ мельчайших вещей от Ничто, не имеющего границ, Леонардо явно смешивал и рассматривал математические и физические идеализации в одном природно-реальном ряду. Доказательством может служить головоломка, занимавшая Леонардо.

Вот этот курьез: «Центр мира неделим, а поскольку неделимо только ничто, то и центр должен быть — ничто. И если было бы проделано отверстие в Земле, которое проходило бы диаметром через ее центр, диаметр мира, и в него было бы

<sup>7</sup> Цит. по: Toni N. de. Frammenti vinciani. Firenze, 1975, p. 17.

<sup>8</sup> Ср.: Г а й д е н к о П. П. Об античных традициях в немецком идеализме (обоснование геометрии у Платона, Прокла и Канта). — В сб.: Традиция в истории культуры. М., 1979, с. 148—162, в частности, с. 153.

<sup>9</sup> Леонардо да Винчи. Избр. естеств. произв. с. 79.

<sup>6</sup> Leonardo da Vinci. Trattato della Pittura, №486 (цит. по: Leonardo da Vinci. Das Buch von der Malerei. Nach dem Codex Vaticanus (Urbinas) 1270, von H. Ludwig. В. I—III. Wien, 1882).





Голова дeвы Марии. Деталь картона к картине «Святая Анна». Уголь. Один из примеров графического «сфумато» у Леонардо. Леонардо определял «сфумато» как «середи́ну, которая имеет свет и тень и которую нельзя назвать ни светом, ни тенью, но равно причастную и свету и тени». Логически

это идентично его определениям точки и поверхности. Ж. Рюдель характеризовал «сфумато» как «развивающийся диалог света-тени», а Э. Гомбрич подчеркивал в связи с этим же приемом Леонардо, что для него единственно важным был «сам факт творения».

брошено некое тело, то, чем дальше оно подвигалось бы, тем больше весило бы. Достигнув же центра мира, который существует лишь по имени и существование которого равно Ничто, брошенный вес не удержится в таком центре и пролетит мимо, а затем вернется»<sup>10</sup>.

Продырявив мысленно Землю и бросив в отверстие предмет, Леонардо преспокойно умалчивает, каким образом физическое тело (имеющее вес и, следовательно, объем, протяженность) может встретиться с математическим «центром мира». Две принципиально разных идеализации располагаются просто друг подле друга. «Центр мира» представлен и как центр притяжения и как точка, не имеющая частей. В одном качестве он существует, влечет к себе падающее тело; в другом качестве он «существует лишь по имени»; но как только тело проскакивает мимо того, что не имеет места и где, следовательно, нельзя остановиться, хотя именно в этом месте, которого нет, тело обретает наибольший вес,— проскочив физическую точку, оказавшуюся математической, соответственно сбавив вес и опять ощутив притяжение математической точки, оказавшейся все же физической, тело возвращается назад. Тут Леонардов фрагмент обрывается... И слава богу, потому что, вернувшись, тело, несомненно, должно было бы опять проскочить эту удивительную точку, и опять к ней вернуться, и опять проскочить, и что делать с этим парадоксом — неизвестно, тем более, что Леонардо проникательно исключал возможность «перпетуум мобиле».

С парадоксом ничего и не нужно было делать. Природу не нужно было, как это поведется с XVII в., непременно загадывать, чтобы понять. Для ренессансного ума понять природу — означает, скорее, загадать ее. Изобразить как загадку. В контексте очевидной «чуждости» природы, столь гораздой на «искусные» выдумки, тающей во мраке Пещеры много никем не виданных вещей, не требуется последнего ответа, логического закругления. Заменой такого ответа служит переход от одного к другому. Таинственность (т. е. понятность) природы разрешается (т. е. усиливается) в рядоположенности варьетá, при которой две исключаящих друг друга реальности, математическая и физическая, и два логических статуса

«точки», ее существование и ее несуществование, принимаются каждое само по себе и оба вместе, одновременно.

Так и в картинах Леонардо: персонаж действителен постольку, поскольку он одновременно всякий, поскольку он может быть разгадан по-разному, т. е. поскольку он не разгадывается.

## ; ЗАГАДЫВАНИЕ МИРА

Известно, что Леонардо сочинял «загадки» (enigmi) в форме «пророчеств», обычно апокалиптически жутких. Например: «О, морские города! Я вижу в вас ваших граждан, как женщин, так и мужчин, туго связанных крепкими узами по рукам и ногам людьми, которые не будут понимать ваших речей, и вы сможете облегчать ваши страдания и утрату свободы лишь в слезных жалобах, вздыхая и сетуя промеж самих себя, ибо тот, кто связал вас, вас не поймет, ни вы их не поймете»<sup>11</sup>. Ответ: запеленутые младенцы. Или: «Будет великое множество тех, кто, забыв о своем бытии и имени, будут лежать замертво на останках других мертвецов» (№ 871). Ответ: сон на птичьих перьях. Или: «Человеческий род дойдет до того, что один не будет понимать речи другого». Ответ: «то есть немец турка» (№ 881). Мрачный и шутовской колорит, впрочем, не обязателен: «Можно будет видеть формы и фигуры людей и животных, которые будут следовать за этими животными и людьми, куда они ни побегут...» — это о тенях (№ 878). А вот о сне: «Люди будут ходить и не будут двигаться; будут говорить с тем, кого нет, будут слышать того, кто не говорит» (№ 876). Жанр загадок-пророчеств был, как предполагают, использован Леонардо для развлечения двора Лодовико Моро, но игра, кажется, сильно захватила самого автора.

Интерес ее не мог состоять в расшифровке — практически невозможной и вряд ли ожидаемой от слушателей. Дело было не в том, что за описаниями вещей чудовищных или парадоксальных — «люди будут ходить и не будут двигаться» и т. п. — скрывались вещи самые простые и обыденные. А, наоборот, в том, что простые, каждому известные вещи могли быть представлены как чудесные. Их надо было выдумать заново. Тем самым в них обнаруживался неведомый смысл, они, как мы теперь сказали бы, остранялись.

<sup>10</sup> I manoscritti di Leonardo da Vinci. V. II. Il Codice Forster II. Roma, 1930, f. 59 v.

<sup>11</sup> Леонардо да Винчи. Избр. произв. Т. 2. М.-Л., 1935, № 869. Ниже в тексте указывается номер.

Вопросы и ответы менялись местами. «Загадка» служила ответом для того, кто хотел бы задуматься над любым, простейшим с виду предметом. Например, что такое яма? Это «вещь, которая тем больше будет расти, чем больше у нее будут отнимать» (№ 987). «Яма» — лишь формально загадка. По сути же она, напротив, то, что должно быть загадано, сделано парадоксом, словом, объяснено... Поэтому не «яма» — ответ, а, скорее, «вещь, которая растет тем больше, чем больше у нее отнимают» — ответ о яме.

Но таким образом получалось, что **любая** вещь, какую только ни возьми, первая же, на которую падал лукавый и мудрый взгляд, — писание писем, выдача девиц замуж, тушение свечи тем, кто ложится спать, солдаты на конях, покос травы, бубенцы мулов, пчелы, муравьи, тени, сновидения, фонари, шелкопрядельня, огниво, ночь, когда не различить ни одного цвета, — любая вещь оказывалась, могла оказаться, пусть даже в шутку, той самой «некоей чудесной вещью», которая скрывалась во мраке Леонардовой Пещеры. Сказать, допустим, о какой-нибудь колбасной начинке: «Многие сделают кишки своим жилищем и будут обитать в собственных кишках» (№ 895), — не значило ли это, пользуясь выражением шекспировского Горацио, смотреть на вещи слишком пристально?

Позволю себе отступление от темы о Леонардо. Спустя сто лет, на последнем излете западноевропейского Возрождения, Гамлет ответит на вопрос Клавдия, где находится Полоний, загадкой: «На ужине». Это «не тот ужин, где он есть, а тот, где его едят». На ужине червей «и жирный король, и тощий нищий — только перемена блюд, два блюда, но к одному столу. Таков конец». И далее: «Человек может удить на червя, который, закусил королем, а съест рыбу, которая проглотила этого червя». Новая фраза — загадка, которая **предшествует** новой загадке на ту же тему, поскольку Клавдий, услышав загадку, тем не менее переспрашивает: «Что ты этим хочешь сказать?» И следует последняя загадка, в качестве **разъяснения**: «Ничего, только показать вам, как король может совершить путешествие по кишкам нищего»<sup>12</sup>.

Разумеется, Клавдий желает познаться, что на уме у Гамлета и где спрятано тело Полония: в этой сцене, как и во всех прочих, есть реально-практические мотивировки. Но ими дело не исчерпывается.

Один человек вопрошает, другой отвечает загадками, тема — жизнь и смерть. Такие места нынче прочитывают (и играют) в чисто психологическом ключе, между тем перед нами своего рода эпические остановки, когда звучит мудрость, довлеющая себе, т. е. комментирующая не только пьесу, но и **вообще мир**. «Безумие» Гамлета дает Шекспиру возможность постоянно вплетать в действие такие остановки, философические интермедии, поучительные и забавные, разъясняющие загадки, до которых он, в соответствии со вкусом эпохи, был так охоч и в трагедиях, и в комедиях. Нельзя не заметить, что, независимо от своих характеров и целей, персонажи пьесы легко и исправно втягиваются в игру, которой до глубины души захвачен принц; Гамлет же не только отвечает загадками, но и с наслаждением выслушивает их от могильщика, принимая на себя ту роль вопрошающего простака, которую ранее, в беседах с Гамлетом, выполняли другие. Подозрительный король в уже упомянутой сцене вдруг откликается, подыгрывая всерьез: «Увы, увы!» Полоний же, получая на свое предложение принцу «уйти со свежего воздуха» неожиданный ответ «В свою могилу?» (и, выслушавая, таким образом, страшную **разгадку**, превращающую его собственное невиннейшее замечание во что-то вроде перевернутого «пророчества» Леонардо да Винчи), — Полоний приходит прямо-таки в восторг: «Действительно, это значит быть вне воздуха. Как порой его ответы исполнены смысла (pregnant)!» Эта похвала совершенно сходна с той, которую сам Гамлет, выполняющий в данном случае функции Полония, высказывает в адрес могильщика. Ибо превращение вещей в загадки — у Шекспира надпсихологическая, высшая задача, передаваемая от персонажа к персонажу, будь то шут, или безумец, или мудрец, притворяющийся безумным.

Гамлет, вполне во вкусе Леонардо да Винчи, обращает естественное разложение тела в трагически-гротескную фантазмагорию. Человек — «квинтэссенция праха». Но тайна смерти не раскрывается ссылкой на разложение тела. Напротив, понять смерть тела, в котором жил «высокий дух», нельзя, не обратив плотский тлен в тайну. Над черепом Йорика Гамлет заговаривает об этом подробней. В знаменитом рассуждении о том, как Александр Македонский может стать затычкой для пивной бочки, продемонстрирован механизм загадывания. Простые констатации, вытягиваясь в причинную цепочку, устрем-

<sup>12</sup> Shakespeare W. Hamlet. L., 1983, IV, 3.

ляются к ошеломляющему итогу. Приблизиться к пониманию смерти — значит довести ее простоту до чудовищности. «Почему бы воображению [imagination] не проследить за благородным прахом Александра...» и т. д.? Воображение — здесь именно преобразование, загадывание. Сначала Гамлет ставит цель «проследить за благородным прахом», затем, показывает ход рассуждения, **результатом** же становится как бы **загадка** об Александре, ставшем пивной затычкой. Тут-то, как известно, и откликается Горацио: «Рассматривать так — значило бы рассматривать слишком пристально». Т. е. рассматривать, превращая вещи в загадки, — способ докопаться до самой сути. В оригинале у Шекспира не «пристально», а "curiously", т. е. «любопытно» или «диковинно». А это одно из самых славных слов для интеллектуалов XVI в., века ненасытного любопытства к бытию, представавшему как ряд диковинных казусов, «курьезов». Напомню еще, что могильщик (у Шекспира он, кстати, "clown", шут, ибо рыть могилы — это, в свете учения М. М. Бахтина о гротеске, шутовская профессия), могильщик на простой вопрос Гамлета — для кого он роет могилу? — дает наивно-мудрые, загадочные ответы, которые приводят датского принца в восторг, и вот почему: «How absolute the knave is», «До чего же точен (или: исчерпывающ) мошенник»<sup>13</sup>. Дать ответ как загадку и значило быть точным и исчерпывающим.

Игра заходила слишком далеко. Загадыванию подлежал весь мир! Действительно, Леонардо набрасывает «Подразделение пророчеств (Divisione della profetia)». «Во-первых, о вещах, относящихся к разумным животным, во-вторых — к неразумным, в-третьих, о растениях, в-четвертых, об обрядах, в-пятых, об обычаях, в-шестых, о казусах, или законах, или спорах, в-седьмых, о положениях, противных природе, как, например, говорят «о той вещи, которая, чем больше от нее отнимается, тем больше растет», — и побереги великие предметы к концу, сначала же дай незначительные и покажи сперва зло, а потом наказания; в-восьмых, о вещах философских»<sup>14</sup>.

К «вещам философским» в «Пророчествах», несомненно, следует отнести

то, что «в каждой точке Земли можно провести границу двух полусфер», «в каждой точке проходит граница между востоком и западом». Отчего бы не придумать загадку «О полусферах, которые бесконечны и разделены бесконечными линиями так, что всегда каждый человек имеет одну из этих линий между ногами» (№№ 1004—1006)? Но, в отличие от предметов менее важных, загадочность которых нуждалась, чтобы проявиться, в шутовском воображении, — на этот раз загадываемая вещь в такой мере поразительна, настолько сама по себе звучит готовой загадкой, что «пророческое» вдохновение мало что способно к ней добавить: «Люди будут разговаривать, касаться друг друга и обниматься, стоя одни в одной, другие в другой полусфере, и языки одних будут понятны другим». Объятия людей, стоящих в разных полусферах, пожалуй, даже менее удивительны, чем то, что каждый человек живет всегда сразу в двух полусферах, не так ли? Это «пророчество» построено на идее бесконечной делимости континуума. Так мы возвращаемся от странных забав для миланских придворных к основному предмету настоящего разбора, к размышлениям Леонардо о пространственном континууме, о границах, о точке, не имеющей частей.

Леонардо записывает — совершенно в том же тоне «загадки», хотя, повторяю, ни малейшего внешнего отношения к этому игровому жанру тут, разумеется, нет — что

«Среди великих вещей, которые находятся меж нас, существование Ничто — вещь величайшая. Ничто обретается во времени, и члены его протянуты в прошлое и в будущее, оно присваивает ими все прошлые творения или имеющие быть, и в (неживой) и в живой природе, но ничем не владеет из неделимого настоящего. Оно не распространяется на бытие какой-либо вещи»<sup>15</sup>.

## ПРОСТРАНСТВО В ВИДЕ ВРЕМЕНИ

Два обстоятельства бросаются в глаза сразу же.

Первое. Существование Ничто, т. е. существование несуществующего, как ни в чем не бывало констатируется, принимается как **натуральный факт**, конечно,

<sup>13</sup> Ibidem, V, 1.

<sup>14</sup> Leonardo da Vinci. Scritti litterari. A cura di A. Marinoni. Milano, 1974, p. 132—133 (см. также: Леонардо да Винчи. Избр. произв., № 866).

<sup>15</sup> Leonardo da Vinci. Philosophische Tagebücher. Italienisch und Deutsch. Hamburg, 1958, S. 114.

факт удивительный, но таковы уж всегда натуральные факты. Точка — не какой-то гибрид реального и идеального, не среднее между ними, не плод теоретического воображения, не полусуществование. Нет, это нечто, и более того — величайшее из существующего, то, что, следовательно, существует в наибольшей степени. И вместе с тем предел существования — есть и предел несуществования. Попросту ничто. Оба утверждения составляют одно утверждение, никаких согласований между ними поэтому не требуется.

Второе. Понятно, что «линия есть переход точки (*il transito del punto*)», что пространство возникает из точки и линии благодаря движению. Движение с необходимостью предполагает четвертое измерение, время. Леонардо не дает логической развертки того, как допустимо существование несуществующего, не задается вопросом о том, как возможно движение точки, переход от неделимого к делимому (и наоборот), от математических «первых начал геометрии» к физическим «телам бесконечного разнообразия» (и наоборот). Вместо всего этого Леонардо просто уподобляет точку мгновению: подменяет пространство временем, которое сходно с геометрией телесного пространства бесконечной делимостью, а с «первыми началами геометрии» — незримостью и бестелесностью. Во времени очень удачно накладываются характеристики, которые в пространстве разведены между физическим и математическим мирами. Заметим, что во фрагменте о «величайшем из существующего» Леонардо, загадав Ничто, несомненно, как геометрическую (пространственную!) точку, прямо заявляет, что она «обретается во времени», и толкует только о времени. Значит, в пространстве ее нет? Напротив, речь идет по-прежнему о пространстве. Если задумать пространство как загадку, то описать нужно время! Ренессансное время — лишь предельный случай пространства.

«...Точка во времени должна быть приравнена к мгновению, а линия имеет сходство с длительностью известного количества времени. И подобно тому как точки — начало и конец линии, так мгновения — граница и начало каждого промежутка времени». <sup>16</sup> Итак, выслушаем рассуждения не о точке как точке, а о

точке как мгновению, точке во времени. Так или иначе, дело пойдет о Ничто.

Скучать нам не придется.

«То, что называется «ничто», обретается только во времени и в словах; во времени оно обретается в прошлом и будущем; и ничего не удерживает от настоящего; также и в словах — в том, о чем говорится, что его нет, ни что оно невозможно.

Во времени «ничто» находится в прошлом и будущем и ничего не имеет от настоящего, и в природе сближается с невозможным, отчего, по сказанному, не имеет существования, поскольку там, где было бы «ничто», должна была бы явиться пустота.» <sup>17</sup>

Понятно, почему Ничто — в прошлом и в будущем. Прошлого уже нет, будущего еще нет, там и должно существовать то, чего нет: в том, чего нет. Но что же есть! Получается, есть только настоящее (т. е. только время как пространство), есть только то, что есть, а не было или будет. И Ничто царит повсюду, кроме настоящего. Над тем, что существует актуально, существует в природе сейчас. Ничто не властно, поскольку тут нет того, чего нет.

Однако... настоящее — это мгновение, точка во времени, а точка неделима. Если у мгновения были бы части, одни части оказались бы «уже» промелькнувшими, другие — «еще» не наставшими; следовательно, мгновением можно считать только чистое настоящее, а в таком настоящем не существует времени (с его бесконечной делимостью). «Мгновение не имеет времени (*Lo istante non ha tempo*). Время возникает из движения мгновения, и мгновения суть граница времени» <sup>18</sup>.

Значит, нет именно настоящего? Если Ничто «обретается только во времени», а «мгновение не имеет времени», то мгновение — единственное, о чем нельзя сказать: «ничто». Между тем мгновение, точка без частей, без середины, без границ — как раз единственное, о чем следует сказать: «ничто». Так что же такое Ничто — все бесконечное протекание времени за вычетом настоящего мгновения или каждое настоящее мгновение за вычетом времени?

Аналогом пространственного «места» следует считать, как это явствует из фор-

<sup>16</sup> Леонардо да Винчи. Избр. естеств. произв., с. 82.

<sup>17</sup> Там же, с. 80.

<sup>18</sup> Leonardo da Vinci. Phil. Tageb., S. 114.

мулировок Леонардо, «промежуток времени». Если Ничто обретается во времени, понимаемом как прошлое и будущее, очищенном от актуальных природных вещей, то «ничто» и «пустота» — одно и то же. Если Ничто обретается вне времени, в точечном мгновении, то «ничто» это отнюдь не «пустота» в обычном отрицательном смысле бессодержательности.

Истолкование пространства как временного не отменяет загадочности бытия, а усиливает ее. Ибо время как данность уже (или еще) не является данностью, и время как непрерывность есть результат действия того, что частей и, следовательно, времени не имеет.

В каждой точке (на каждой границе) проектируется бесконечность. Леонардово Ничто трудно понять иначе, как **возможность Всего**: никоим образом не как превращение Ничто во Все, но лишь как сохранение такого превращения в виде возможности, лишь как незавершенное движение. Ибо бесконечность, по Леонардо, существует лишь постольку, поскольку она не существует. Подлинно бесконечно, не имеет границ — только то, чего нет. Хотя оно и есть... Среди существующих вещей «существование Ничто — вещь величайшая». Леонардо, по-видимому, не испытывал никакой потребности вырваться из этого заколдованного логического круга. Достаточно было очертить его и наслаждаться его заколдованностью, достойной «искусной природы». Достаточно было в очередной записи при случае повторить мудрейшую из загадок, не по зубам миланским придворным: «Что за вещь, которая не существует и которая, существуя она, не существовала бы? — Бесконечное, которое, если бы могло существовать, было бы ограничено и конечно, так как то, что может существовать, имеет границы в вещи, которая окружает его края, и то, что не может существовать, есть такая вещь, которая не имеет границ»<sup>19</sup>.

Итак, Леонардо отказывается признать **существующую** (актуальную, готовую) бесконечность, поскольку ведь все существующее где-нибудь да кончается, имеет «края». Если что-то есть, то рядом должно быть и **другое**. Леонардо легче вообразить закраины бесконечности (окруженной еще какой-то вещью), чем **мир без «разнообразия»**, мир, состоящий

из одной-единственной бесконечности. Бесконечностей так же бесконечно много, как и границ. Граница же — не та или иная вещь, а переход от одной вещи к другой и, следовательно, существуя, не существует. Уму Леонардо чужда идея всеобщего как Абсолюта, «максимума» и т. п.; всеобщна лишь возможность в каждом особом месте разрезать Вселенную на полусферы. Словом, бесконечность оказывается... тоже наброском, замыслом, бесконечным «и так далее», с привкусом сумасшедшинки, зияющая между ногами любого индивида: одна нога слева от бесконечности, другая — справа... Леонардова бесконечность не полагается, а только **пред-полагается**.

### ЛОГИКА НИЧТО — ЛОГИКА КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОЙ ЛИЧНОСТИ ЛЕОНАРДО

Пред-положение это способ отношения к предмету, технологически свойственный художнику, и не вообще художнику (ни о поэте, ни о музыканте, ни о скульпторе или архитекторе этого не скажешь), а исключительно живописцу. Живописец Возрождения отходит от предмета на некоторое расстояние и созерцает его, не вмешиваясь, не участвуя в нем. Творение живописца свершается в пространстве и ничего не ведает о времени, поскольку имеет дело только с настоящим. Иначе — скульптор, который должен **прийти** к предмету изображения изнутри материала: время для скульптора не уместается в настоящем, как и произведение его никогда не сводимо к иллюзионистскому результату. И в готовом произведении скульптуры гораздо сильнее, чем в живописи, продолжает присутствовать, напоминать о себе материал: время есть движение материала к скульптуре. У скульптуры нет будущего (она тоже «неподвижна»), но есть прошлое; особенно при работе с камнем нельзя скрыть процессуальности; статуя воспринимается как **завершение**. У живописи же нет ничего, кроме настоящего, она (по крайней мере, ренессансная живопись) полностью скрывает фактуру поверхности, сопротивление материала. Живописец не вспоминает и не предугадывает, он оstantавливает настоящее. Живописное настоящее, толкуемое не как быт, а как бытие, неизбежно не совпадает с самим собой, спрессовывает бесконечное протекание времени. Ренессансное настоящее (синхрония всех вре-

<sup>19</sup> Леонардо да Винчи. Избр. естеств. произв., с. 81.



мен в пространстве) выглядит невозмож-но-возможным. Оно есть мир, представленный как загадка, мир таинственного. «Среднее» между телом и воздухом — уже не ничто, а **квалифицированное** ничто, не просто граница, а переход. «Ничто» поверхностей разбухает в сфумато. Мгновение разворачивается в пространство: его можно увидеть. Для Леонардо (для итальянского Возрождения) нет отвлеченного метафизически-математического Ничто, нет бесконечно-малого, которое совпадало бы, как для Николая Кузанского, с бесконечно-большим, с «максимумом»-Абсолютом. Не Все и не Ничто в последнем счете резюмируют ренессансное миропонимание, но особое и конкретное «нечто», на границе с другими «нечто», в разнообразном природном ряду. Переход от «нечто» к прочим «нечто», возможность для «нечто» быть одновременно любым, т. е. быть таким «нечто», которое не тождественно себе, устремляется ко Всему, — как раз и приводит к тому, что Нечто, наделенное Незаконченностью, потенциальностью, может быть истолковано как содержательное Ничто.

Договаривать за Леонардо было бы занятием незаконным, если бы на это не провоцировало совпадение предмета высказываний о Ничто с их формой, с фрагментарностью Леонардова мышления в целом. Ничто как граница — своего рода философско-математическая модель его же Пещеры или Пятен на стене. Логика Ничто — не что иное, как логика культурно-исторической личности Леонардо?

Вспомним еще раз, что есть Ничто. Оно распространяется на все в прошлом и в будущем, на все, кроме творящего сейчас мгновения. Только настоящим не владеет Ничто, но это потому, что оно и есть неделимое настоящее. Оно — каждое «это» мгновение, каждый переход от того, что было, к тому, что будет, и оно — поверхность каждой вещи, начало и конец каждой линии, вершина каждого угла. Не время и не пространство, но возможность времени и возможность пространства; не могущее быть понято как некая о-пределенность, о-граниченность, протяженность, структурированность — но тем не менее величайшее из существующего, ибо без точки не было бы остального мира разнообразных данностей. Сама бесконечность мыслима только в качестве «точки» — того, чего нет. «Ничто» означает не

пустоту, а отсутствие границы, свойственное только границе.

**В понятии Ничто на первый план выходит вопрос о творчестве.**

**В готовом** мире пространства все тела суть нечто — кроме сфумато «точек» (линий, поверхностей, вообще границ), кроме загадочных переходов («нечто»). Однако в **творимом** мире пространства, представленного в форме времени, где «точка» движется, могущество Ничто актуально. Во времени сгущается тайна пространственности, рядоположенности, «разнообразия», «варьета». Любые творения, кроме живущих в настоящем мгновении, — ничто, и, следовательно, только Ничто — мгновение творчества! — есть особое нечто.

Ну, а если Ничто выступает как неповторимый момент перехода от традиционалистского мышления к небывалому дотолде, новоевропейскому? Если ренессансный тип культуры с его пресловутым «эклетицизмом» — осуществление самой идеи Перехода, идеи Границы, идеи Ничто как Нечто, осуществление несуществующего?<sup>20</sup> И что если этот тип культуры, эта «точка», в которой совпали сразу Средние века, Античность и Новое время, в которой нет «частей» или границы и которая именно поэтому сама по себе никак не поддается фокусировке, что если это, бесспорно, существовавшее и вместе с тем словно бы не существовавшее, не имевшее собственного внутреннего историко-культурного пространства, то и дело подтягиваемое несколькими поколениями исследователей к тому, что было до или после него (то ли конец Средневековья, то ли начало Нового времени), это ускользающее от определений «Возрождение», — так вот, не сказалось ли Возрождение наилучшим образом в уникальной творческой судьбе и личности Леонардо да Винчи?

В случае Леонардо ренессансная личность окончательно гипертрофируется, становится катастрофически-универсальной: неуловимой (как бы «несуществующей») и бесконечно-большой («величайшей из всех существующих» личностей), останавливающейся на каждой подробности и расширяющейся до всех подробностей мироздания — короче, ренессансной «варьета» во плоти!

<sup>20</sup> Баткин Л. М. Итальянские гуманисты: стиль жизни и стиль мышления. М., 1978, гл. III (в частности, с. 130—132, 145—148, 170—174, 177).

## Методы термометрии и барометрии в геологии

Л. Л. Перчук



Леонид Львович Перчук, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией фазового соответствия Института экспериментальной минералогии АН СССР, профессор геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основные работы в области физической геохимии. Лауреат Государственной премии СССР.

Зародившаяся в 30-х годах новая ветвь геологии — геохронология — позволила определять абсолютный возраст горных пород, т. е. время их образования или перекристаллизации. Современные масс-спектрометры дают возможность делать это с высокой степенью точности.

Но еще сравнительно недавно геологи и не помышляли о количественных оценках температуры и давления, при которых образовалась горная порода. Соответственно не было возможности с термодинамических позиций оценить условия зарождения и эволюции месторождений полезных ископаемых. Ничего не было известно и о свойствах глубинных надкритических растворов — флюидов. Иными словами, геология имела «часы», но не имела термометров, барометров, потенциометров, рН-метров и других «приборов», необходимых для оценки физико-химических условий глубинного минералообразования.

В настоящее время известны два способа измерить температуру и давление, при которых образовались минералы. Один из них основан на исследовании газовой-жидких включений, «законсервированных» в минералах в процессе их роста. Об этом методе определения

температуры и давления, разработанном профессором кафедры полезных ископаемых МГУ Н. П. Ермаковым и его учениками, уже рассказывалось на страницах «Природы»<sup>1</sup>. В основе другого метода лежит учение о фазовых равновесиях между слагающими горные породы минералами переменного состава<sup>2</sup>. Благодаря тому, что константы этих равновесий зависят от температуры и давления, ими можно воспользоваться в качестве геотермометров и геобарометров. Но откалибровать эти «приборы» и заставить их работать можно, лишь воспроизведя природные реакции между минералами в экспериментальных условиях.

О теоретических основах метода фазового соответствия и возможностях его использования для выяснения термодинамических условий образования и эволюции горных пород и пойдет речь в этой статье.

<sup>1</sup> Ермаков Н. П. Термобарогеохимия минералов Земли и космоса. — Природа, 1980, № 5, с. 56.

<sup>2</sup> В качестве примера таких минералов можно привести плагиоклазы, состав которых изменяется от  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  до  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  в зависимости от условий минералообразования.

## КАК РОДИЛАСЬ ТЕРМОМЕТРИЯ МИ- НЕРАЛЬНЫХ РАВНОВЕСИЙ

В самом начале 50-х годов американский петролог Г. Рамберг и норвежский петролог Т. Барт почти одновременно высказали идею, что в качестве геотермометра можно использовать зависимость коэффициентов распределения компонентов между минералами переменного состава от температуры. Однако в то время отсутствовали экспериментальные данные по равновесиям между этими минералами, по их термодинамическим свойствам, что не позволило данному направлению развиваться в должной мере. Так, спустя 10 лет в литературе появилось всего две-три экспериментальные работы по частным системам.

Но дело даже не в числе экспериментальных работ. В любой естественной науке эксперимент, как правило, идет вслед за идеями, вслед за теорией. Так случилось и в петрологии. Крупная обобщающая работа канадского петролога Р. Кретца «поставила крест» на данном направлении науки<sup>3</sup>. В ней автор теоретически доказал и на некоторых примерах продемонстрировал бесперспективность изучения температурных и барических зависимостей распределения компонентов между сосуществующими минералами, поскольку значительно сильнее температуры и давления на распределении компонентов должен сказываться сложный химический состав природных минералов. Это заключение Кретца приостановило экспериментальные работы за рубежом почти на десятилетие.

Случилось так, что в нашей стране исследования шли по несколько иному пути. Я бы даже сказал, по правильному пути. Сначала была разработана общая теория равновесий минералов переменного состава, т. е. установлены общие закономерности смещения равновесий в зависимости от температуры и давления. Затем на основе этой теории были выбраны те минеральные равновесия, калибровка которых как термометров и барометров наиболее эффективна. Причем экспериментальным калибровкам непременно предшествовали расчетные.

Все началось с теории экстремальных состояний, разработанной в общем виде Д. С. Коржинским в самом начале

60-х годов<sup>4</sup>. Тогда казалось, что наиболее важным ее следствием станет возможность оценивать температуру и давление процесса порообразования лишь в том единственном случае, когда эти параметры достигают своего экстремума (минимума или максимума). Оценить их несложно, если экспериментальным путем установлены термодинамические свойства минералов переменного состава и среди их равновесий найдены такие, при которых достигается равенство относительных концентраций изоморфных компонентов. Характерно следующее: теория экстремальных состояний оказалась разработанной столь тщательно, что ее математическая и физико-химическая основы не претерпели какой-либо корректировки за последние 20 лет!

Вслед за теорией экстремальных состояний появилась теория фазового соответствия. Чтобы развить ее, потребовалось разобраться в характере химических связей в природных минералах, а также выявить, какими факторами определяется соотношение компонентов в минеральных парах, если температура и давление постоянны. При этом надо учесть, что подавляющее большинство природных минералов относится к силикатам, кристаллическую основу которых составляют кремний-кислородные тетраэдры. Вокруг этого своеобразного скелета сосредоточены атомы других «сортов», преимущественно металлы. И прочность их связи с атомами кислорода во многом зависит от прочности связи в кремний-кислородном тетраэдре. Поэтому, прежде чем перейти к анализу взаимного внутрикристаллического замещения металлов, закономерности распределения которых между отдельными минералами и составляют цель нашего исследования, необходимо разобраться в сравнительной силе кремнекислотных радикалов.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ СИЛА КРЕМНЕКИС- ЛОТНЫХ РАДИКАЛОВ И КАТИОН- НЫЙ ИЗОМОРФИЗМ

Как отмечено выше, подавляющее большинство природных минералов являются солями различных кремниевых кислот. Некоторые из этих кислот — ортокремниевая ( $H_4SiO_4$ ) или метакремниевая ( $H_3SiO_3$ ) — хорошо известны, но зна-

<sup>3</sup> Kretz R.— J. Geol., 1961, v. 69, № 4, p. 117.

<sup>4</sup> Коржинский Д. С. Химия земной коры, т. 1. М., 1963.

## ЖЕЛЕЗО-МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СИЛИКАТЫ И

Группа	Подкласс	Кремнекислородный радикал	Сингония, плотность						
			трилинная	моноклинная			ромбическая	тригональная	
ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ	Нарнасный силикат	$(Al_n Si_{m-n} O_{2m})^{-n}$					1 кордиерит 2,5-2,8		
	Диметасиликат (слоистый)	$(Al_n Si_{2-n} O_5)^{-(2+n)}$		2 талк 2,5-2,8	3 серпентин 2,5-2,6				
			4' хлорит 2,6-3,3	4 хлорит 2,6-3,3	5 биотит 2,6-3,3	5' биотит 2,7-3,3	5'' биотит ?	5''' биотит	
	Метасиликат (ленточный)	$(Al_n Si_{8-n} O_{22})^{-(12+n)}$	6	7 роговая обманка 3,0-3,4	8 натриевый амфибол 3,0-3,5	9 куммингтонит 3,1-3,6		амфибол 3,0-3,6	
	Метасиликат (кольцевой)	$(SiO_3)^{-2}$							10 турмалин 3,0-3,5
	Диортосиликат	$(Si_2O_7)^{-6}$							
Ортосиликат	$(SiO_4)^{-4}$	12' хлоритоид	12 хлоритоид 3,5-3,8		13 ставролит 3,6-3,8	13' ставролит (?)			
БЕЗВОДНЫЕ	Метасиликат (цепочечный)	$(SiO_3)^{-2}$			14 клинопироксен 3,2-3,6	15' пироксен 3,2-4,0	15 ортопироксен 3,2-4,0		
	Ортосиликат	$(SiO_4)^{-4}$			16 сапфирин 3,4-3,6		17 оливин 3,2-4,4		

чительная их часть ( $H_2Si_3O_7$ ,  $H_{12}Si_8O_{22}$ ,  $H_2Si_2O_5$  и др.) в природе не встречается.

Рамберг вывел ряд сравнительной силы кремниевых кислот, включая и гипотетические, в котором возрастает степень их диссоциации. Тем самым определлась сравнительная сила кремнекислотных радикалов в следующих подклассах силикатов: ортосиликат — диортосиликат — цепочечный метасиликат — кольцевой метасиликат — ленточный метасиликат — слоистый диметасиликат — каркасный силикат. Например, самая слабая ортокремниевая кислота в результате диссоциации и реакции с металлами (Me) дает соединения типа  $Me_2SiO_4$ . Степень химического сродства любого металла с

кремнекислотным радикалом  $SiO_4^{-4}$  в минерале, который является ортосиликатом, всегда ниже, чем в метасиликате, и существенно ниже, чем в каркасном силикате.

Из ряда сравнительной силы кремниевых кислот Рамберг вывел следующее правило: любые обменные равновесия между силикатами смещены в сторону образования соединений радикалов сильных кислот с сильными основаниями плюс соединения радикалов слабых кислот со слабыми основаниями.

Действительно, подобные минеральные равновесия можно найти во многих горных породах. Это равновесия между кордиеритом и гранатом, биотитом и гра-

**АЛЮМОСИЛИКАТЫ**

(  $10^3$  кг / м<sup>3</sup> )

тетрагональная	гексагональная	кубическая	
	1 индиалит		
	5'' биотит ?		
11 везувин 3,3-3,4			
		17 рингвудит 3,5-4,4	18 гранат 3,6-4,3

натом, роговой обманкой и гранатом и т. д.

В реакцию с рассматриваемыми кремневыми кислотами могут вступать как сильные, так и слабые основания. Термодинамика и структура минералов зачастую допускают, чтобы с одним и тем же кремнекислотным радикалом соединялись два и более различных по своим свойствам металла. Такая способность минералов образовывать соединения одного кислотного радикала с разными металлами называется изоморфизмом, а сами минералы представляют собой в этом случае изоморфные смеси. Например, формула оливина записывается как  $(Fe,Mg)_2SiO_4$ , поскольку в нем содержится полный ряд изоморфной смеси

от чисто железистой  $Fe_2SiO_4$  до чисто магнезиальной  $Mg_2SiO_4$ , составляющей.

Нередко в горных породах встречаются два или даже больше минералов переменного состава. Характерно, что при изменении внешних условий, и в первую очередь температуры, такие минералы способны обмениваться входящими в их состав изоморфными элементами. Рассмотрим, как подобные реакции протекают в природе.

**ПРИРОДНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ**

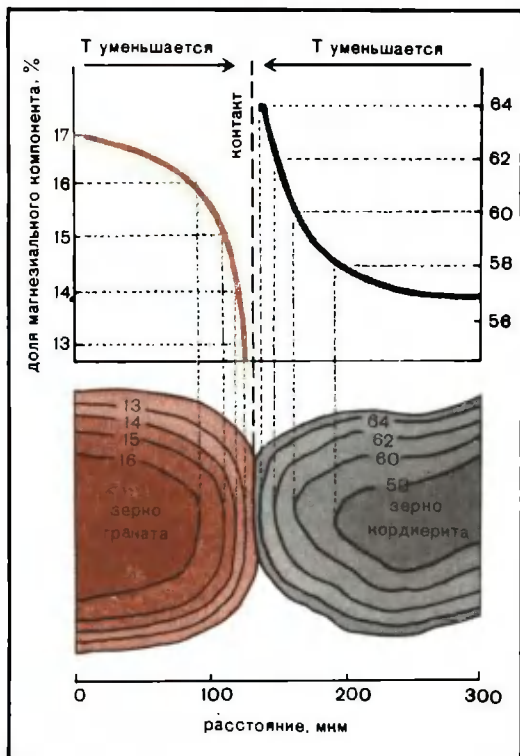
Чтобы выявить закономерности перераспределения изоморфных элементов между сосуществующими минералами, остановимся на равновесиях широко распространенных в природе железо-магнезиальных силикатов и алюмосиликатов. На их примере наиболее удобно проследить, как изменение температуры сказывается на перераспределении железа и магния.

Разделим все железо-магнезиальные силикаты и алюмосиликаты на водосодержащие и безводные. При такой группировке легко обнаруживается следующая закономерность: с возрастанием температуры более электроположительный металл (в данном случае магний) перераспределяется из водосодержащих минералов в безводные, а менее электроположительный металл (в данном случае железо) — в противоположном направлении. Отсюда вытекают три следствия. Во-первых, температура благоприятствует упрочению связи магния с кислородом в безводном минерале и ослаблению связи железа с кислородом в водосодержащем. Во-вторых, температура способствует стабилизации менее электроположительного металла (железа) с менее сильной кремниевой кислотой в одном минерале и более электроположительного металла (магния) с более сильной кремниевой кислотой — в другом. В-третьих, при одинаковом кремнекислотном радикале магний перераспределяется с ростом температуры из минералов с низкой сингонией (т. е. степенью правильности кристаллической структуры) в минералы с более высокой сингонией.

Эти закономерности иллюстрирует таблица железо-магнезиальных минералов, составленная на основе трех признаков: 1) водосодержащий минерал или безводный, 2) сила кремнекислотного радикала, 3) сингония. По первому признаку минералы разбиты на две большие группы — водные и безводные минера-

лы, а в пределах каждой группы они систематизированы по подклассам — от каркасных силикатов до ортосиликатов. Слева направо в таблице растет степень симметрии заключенных в ней минералов.

В зависимости от места в таблице каждому минералу присвоен условный порядковый номер, но при наличии одной или нескольких полиморфных разновидностей он сопровождается соответствующим числом штрихов. Если два минерала принадлежат к одной сингонии и одному подклассу, последовательность



Эффект перераспределения железа и магния между контактирующими зернами кордиерита и граната, входящими в состав гнейса. Данный эффект возникает в результате снижения температуры [Т] в процессе метаморфического преобразования Ханкайского кристаллического массива. В верхней части рисунка приведены графики изменения магnezности  $Mg/(Mg+Fe)$  кордиерита и граната. Эти графики представляют собой проекцию диффузионной химической зональности, показанной изоконтурами в нижней части рисунка.

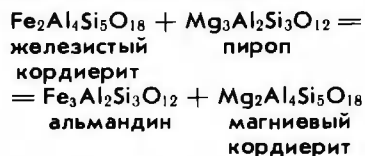
их расположения в таблице определяется категорией симметрии полиморфных разновидностей. Например, хлорит и биотит — оба водные слюды диметасиликаты моноклинной сингонии. Но у хлорита имеется

триклинная полиморфная разновидность, тогда как разновидности биотита более симметричны (вплоть до гексагональных). Тоже касается водосодержащих ортосиликатов — хлоритоида и ставролита.

Характерно, что закономерное изменение физических свойств железо-магнезиальных силикатов соответствует их положению в таблице. Так, плотность минералов изменяется не только от низших сингоний к высшим, но и в пределах каждой из них в соответствии с возрастанием номера силиката в каждой колонке.

Систематизировав таким образом железо-магнезиальные силикаты, мы можем перейти к выяснению влияния температуры на их обменные равновесия. И как только мы «включим» этот переменный параметр, таблица оживет: с ростом температуры магний начнет перераспределяться из любого минерала с меньшим условным номером в любой сосуществующий с ним минерал с большим условным номером; железо одновременно будет перераспределяться в обратном направлении.

Рассмотренные эффекты перераспределения железа и магния между сосуществующими минералами можно проиллюстрировать на примере контактирующих зерен кордиерита и граната пироп-альмандинового ряда (№ 1 и № 18 в таблице, соответственно) в гнейсе из Ханкайского метаморфического комплекса. И кордиерит, и гранат обладают четко выраженной химической зональностью в отношении железа и магния. Другие элементы распределены практически равномерно. Но при понижении температуры метаморфизма между кордиеритом и гранатом начинается диффузионный обмен железом и магнием, так что равновесие реакции, моделирующей этот обмен, постепенно смещается вправо:



Это значит, что константа данной реакции возрастает наряду с увеличением коэффициента распределения ( $K_D$ ):

$$K_D = X_{Mg}^{кор} \cdot (1 - X_{Mg}^{гр}) / X_{Mg}^{гр} \cdot (1 - X_{Mg}^{кор}),$$

где  $X_{Mg}^{кор}$  — мольная доля магниевого компонента в кордиерите,  $X_{Mg}^{гр}$  — мольная доля пиропового компонента в гранате. Причем и та, и другая мольная доля



имеют следующее выражение:  $X_{Mg} = Mg : (Mg + Fe)$ . Если твердые растворы минералов близки по своим свойствам к идеальным, то величина коэффициента распределения есть функция температуры и давления. Но поскольку в приведенном обменном равновесии объемный эффект очень мал, а кордиерит и гранат — идеальные растворы, то в данном случае коэффициент распределения зависит только от температуры.

Можно привести сотни и тысячи подобных примеров образования диффузионной зональности, связанной с изменением температуры. Особенно много их появилось за последнее время благодаря внедрению локального рентгено-спектрального анализа, который позволяет определять химический состав минеральной фазы на площади около  $3 \text{ мкм}^2$ .

Наметившиеся природные закономерности в перераспределении изоморфных компонентов между сосуществующими минералами были обобщены и выражены в виде принципа фазового соответствия, позволяющего предсказывать, какие минеральные соотношения возможны в случае изменения температуры в процессе формирования и эволюции кристаллических горных пород<sup>5</sup>.

### ПРИНЦИП ФАЗОВОГО СООТВЕТСТВИЯ

Теория фазового соответствия была создана на основе анализа влияния температуры на обменные равновесия между сосуществующими минералами. При этом учитывались кристаллохимические и структурные особенности минералов, прочность химической связи катионов с кремнекислотным радикалом, положение группы  $\text{OH}^-$  в структуре силикатов и т. п. В результате удалось наметить два правила, определившие сущность принципа фазового соответствия. Первое правило можно сформулировать так: с возрастанием температуры обменные равновесия силикатных минералов смещаются или же имеют тенденцию к смещению в сторону образования соединений сильных кремнекислотных радикалов с относительно слабыми основаниями плюс соединения слабых радикалов с относительно сильными основаниями.

Это правило разом объяснило многие закономерности, наблюдаемые в природе,

в том числе и те, которые мы рассмотрели на примере равновесий железомagneзиальных минералов. Но оно не дает ответа на вопрос о степени смещения равновесий в зависимости от температуры и соответственно не позволяет прогнозировать эффективность того или иного минералогического термометра. Этим правилом только определяется направленность перераспределения элементов. Второе же правило представляет интерес и с прикладной точки зрения: если два изоморфных элемента различаются по величине элект-

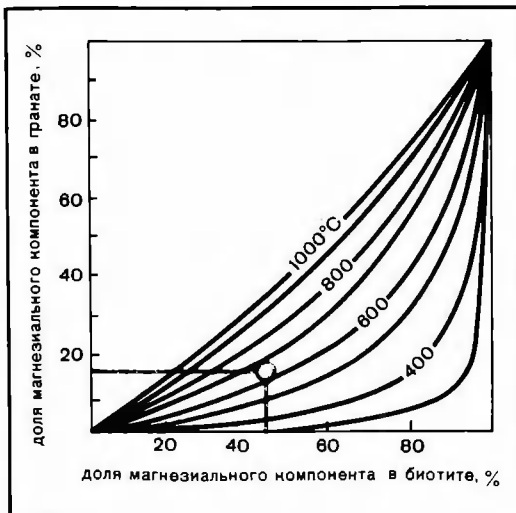


Диаграмма фазового соответствия составов сосуществующих минералов — биотита и граната, которой пользуются в качестве биотит-гранатового термометра. По этой диаграмме можно определить температуру равновесия биотита и граната в породе на любой стадии ее эволюции. Как определяется температура, хорошо видно на примере: для биотита с 44% и граната с 17% магнетального компонента температура равновесия составляет  $670^\circ\text{C}$ .

роотрицательности, то при прочих равных условиях степень перераспределения их между сосуществующими силикатами в зависимости от температуры тем выше, чем больше разница в силе кремнекислотных радикалов и в категориях симметрии этих минералов; наибольшие эффекты достигаются в равновесиях водных и безводных минералов.

Теперь мы можем не только предсказать направление перераспределения изоморфных элементов между минералами, но и определить степень этого перераспределения, как функцию температуры. Иными словами, составляя таблицы,

<sup>5</sup>Перчук Л. Л. — Геохимия, 1971, №1, с. 23.

подобные рассмотренной выше, мы тем самым качественно моделируем геотермометр и оцениваем его разрешающую способность. Так, из таблицы железо-магнезиальных силикатов и алюмосиликатов можно заключить, что эффективность двуминерального термометра будет тем выше, чем больше разность между условными номерами силикатов (условными потому, что важна лишь разность этих номеров).

Последующие экспериментальные и теоретические калибровки разных минералогических термометров, проведенные советскими и зарубежными исследователями, полностью подтвердили принцип фазового соответствия. За прошедшие годы на основе данного принципа разработана методика исследований обменных равновесий и создан целый ряд минералогических термометров, позволяющих оценивать температуру образования многих магматических, метаморфических и метасоматических горных пород. Так, рассмотренное выше кордиерит-гранатовое обменное равновесие после экспериментальной калибровки, проведенной мною совместно с И. В. Лаврентьевой, «превратилось» в уравнение, которым можно пользоваться для определения температуры минералообразования:

$$10^3/T = 0,41155 + 0,31985 \ln K_D$$

где  $T$  — абсолютная температура. Точность этого термометра равна  $\pm 11^\circ$ .

### МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ БАРОМЕТРЫ

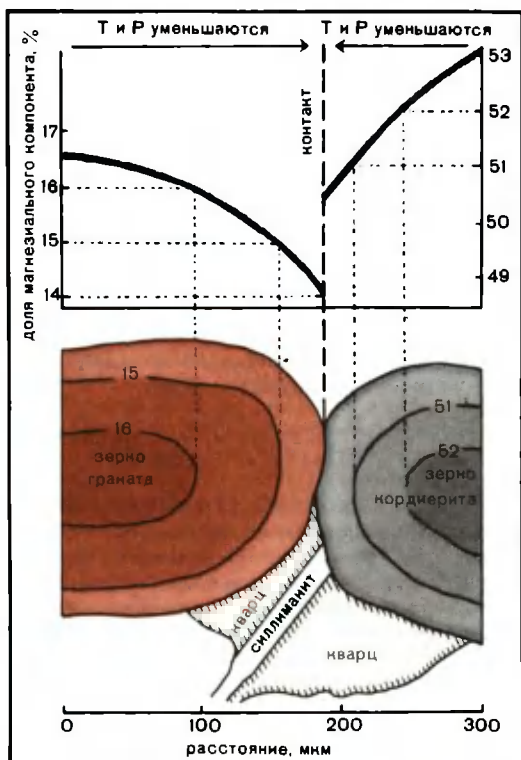
Наряду с температурой процессов минералообразования геологам важно знать, на какой глубине протекали эти процессы, на какой глубине зародилась магма и т. д. Но на эти вопросы невозможно ответить, если неизвестно давление, при котором образовались породы. Итак, геологам нужны минералогические барометры.

Для создания минералогических барометров проще всего воспользоваться такими реакциями между минералами переменного состава, которые обладают большим объемным эффектом ( $\Delta V$ ). Чем больше  $\Delta V$ , тем точнее минералогический барометр. Рассчитать объемный эффект любой реакции не представляет особой сложности, так как известны плотности и кристаллохимические формулы практически всех минералов, в том числе и минералов переменного состава.

На основе термодинамического ана-

лиза обменного равновесия между клинопироксеном и гранатом и последующей калибровки этого равновесия мною был разработан первый минералогический барометр, который дал возможность оценивать давление таких глубинных пород, как эклогиты, глаукофановые сланцы, гранатовые перидотиты. Но дальнейшие работы в этом направлении успеха не имели: оказалось, что большинство обменных равновесий очень слабо зависит от давления.

Возникла необходимость обратиться к общей теории смещенных равновесий,



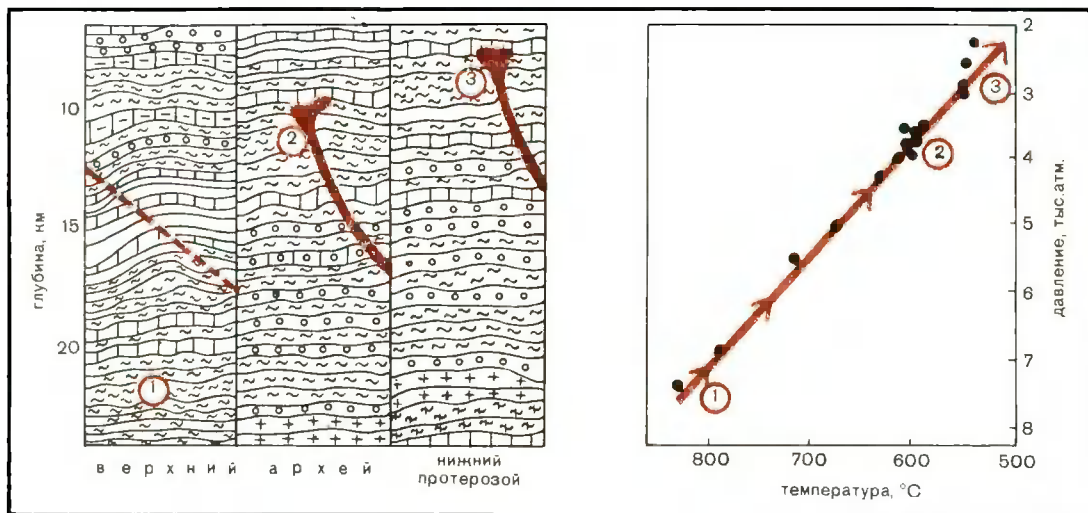
Изменение относительной концентрации магния в контактирующих зернах кордиерита и граната из гнейсов Ханкайского массива. При снижении температуры и давления в ходе метаморфического преобразования пород между кордиеритом, гранатом и ассоциирующими с ними кварцем и силиманитом осуществляется реакция, которая характеризуется большим объемным эффектом. Изменение температуры и давления «записывается» в виде химической зональности, отражающей в первую очередь перемены в магnezности этих минералов.






минералами переменного состава, «записавшие» подобно магнитофонной ленте изменение термодинамических параметров метаморфизма в виде диффузионной и ростовой зональности.

Для решения поставленной задачи была организована специальная экспедиция на Ханкайский массив в Приморье. На этом хорошо геологически и петрографически изученном объекте мы отобрали образцы горных пород, содержащие зональные минералы, т. е. образцы, пригодные для определения температуры и дав-

В своих исследованиях мы исходили из предположения, что в какое-то время составы центральных зон сосуществующих минералов находились в равновесии, так же как их краевые части равновесны на конечной стадии метаморфизма. Приведя в соответствие составы контактирующих зон и центров железо-магнезиальных минералов в любом из отобранных образцов, с помощью имеющихся в нашем распоряжении геотермометров и геобарометров мы определяли температуру и давление метаморфизма в каждой отдельной зоне, а



Термодинамическая история метаморфического преобразования пород Ханкайского массива в верхнеюрское-нижнепротерозойское время. Справа — график, отражающий эволюцию температуры и давления в процессе регрессивного метаморфизма; он построен на основе детального анализа микроучастка одного из образцов гнейса, содержащего кордиерит—гранат—кварц—силиманитовую ассоциацию. Снижение температуры вызвано воздыманием Ханкайского массива. Цифрами на графике и на изображенном слева в геологическом разрезе показано условное положение образца на трех разных этапах метаморфизма.

-  Гранитные интрузии
-  Разлом
-  Метаморфические породы

ления. Чтобы быть уверенными в правильном отборе материала, прозрачные шлифы мы изготовляли прямо в поле и, найдя соответствующие парагенезисы минералов, полировали эти шлифы для исследования на микрозонде.

затем сопоставляли эти параметры между собой.

Когда мы провели такую работу, то оказалось, что практически каждый образец несет информацию о снижении температуры и давления. Кроме того, их корреляция оказалась линейной, что доказывает сопряженность снижения температуры и давления за весьма большой промежуток времени. Учитывая чрезвычайно низкие скорости диффузии железа и магния в алюмосиликатах, можно по наиболее крупным зернам приблизительно определить, что процесс образования диффузионной зональности длился как минимум несколько десятков миллионов лет. Снижение температуры и давления показывает, что Ханкайский метаморфический массив сформировался на глубине 20—25 км и затем, постепенно остывая, воздымался.

Намеченная эволюция отражает регрессивный этап метаморфизма, т. е. преобразование пород при снижающихся температуре и давлении. Этот этап характе-

рен практически для всех древних метаморфических комплексов мира. В частности, нашими экспедициями в район Алданского щита не только подтверждено его блоковое строение, но и доказано, что относительное расположение этих блоков связано со всплыванием метаморфических пород при движении Монголо-Охотской части плиты в верхнеархейское время. Причем в дальнейшем каждый из блоков «пережил» собственную эволюцию.

Вместе с развитием регрессивных стадий метаморфизма затухевают следы прогрессивной стадии, т. е. стираются следы реакций, происходивших в породах при понижении температуры и давления. И все же в гранулитовых комплексах иногда можно наблюдать явные признаки реакций прогрессивного типа (разложение водосодержащих минералов и т. п.). В редких случаях равновесиями минералов переменного состава, точнее, их составами, записываются как прогрессивный, так и регрессивный этапы метаморфизма. Пример тому — сложная диффузионная зональность гранатов и различные типы включений, содержащихся в отдельных зонах этих гранатов. Так, гранаты из сланцев района Гэззетс в Вермонте (США) в ядрах содержат включения хлорита, а в направлении к краям зерен минеральный состав включений изменяется: хлорит сменяется сначала хлоритоидом и затем — ставролитом. Наряду с этим возрастает магnezияльность гранатов. Термометрия этих зерен указывает на возрастание температуры минералообразования от 400 до 650°C. А в сланцах Британской Колумбии (Канада) содержатся гранаты с прямой и инверсионной зональностью; первая сопровождается увеличением магnezияльности, вторая — уменьшением концентрации магния. Используя метод фазового соответствия, мы восстановили термодинамическую историю формирования этих сланцев: начальным стадиям метаморфизма отвечает температура 550°C и давление 4,8 тыс. атм, пик наступил при 650°C и 7,4 тыс. атм, а регрессивная стадия завершилась при 580°C и 5 тыс. атм.

Аналогичным образом мы можем исследовать и магматические процессы. Ведь каждый геолог знает, что практически во всех интрузивных и вулканических породах минералы обладают зональностью, отражающей историю их кристаллизации. И эта история целиком и полностью определяется изменением термодинамических условий. Таким образом, для каждого этапа эволюции магматизма можно

определить термодинамические параметры и воссоздать общую историю формирования того или иного магматического комплекса.

В отличие от метаморфических и магматических пород, образовавшихся в условиях земной коры, породы верхней мантии практически не содержат зональных минералов. Тем не менее ассоциации минералов в этих породах точно так же отражают термодинамическую обстановку, характерную для того участка верхней мантии, из которого эта ассоциация была «отобрана». Это слово я заключил в кавычки, поскольку геологи не имеют возможности отбирать образцы непосредственно из верхней мантии. Пока мы не можем проникнуть в недра на 50—100 км и более. Но с таких глубин образцы захватываются магматическими расплавами и в виде ксенолитов выносятся на поверхность с достаточно большой скоростью. Во всяком случае, за время, пока они поднимаются, ксенолиты почти не реагируют с несущей их магмой и мало чувствительны к изменению температуры и давления, о чем свидетельствует отсутствие зональных минералов. Поэтому ксенолиты «запомнили» лишь ту физико-химическую обстановку, в которой их состав достиг равновесных соотношений с магмой, несущей ксенолиты из недр.

Поскольку магмы поставляют ксенолиты с разных глубин, задача заключается лишь в том, чтобы собрать достаточную представительную коллекцию таких ксенолитов и оценить в них термодинамические условия минералообразования. Такая работа выполнена нами для нескольких алмазоносных кимберлитовых трубок Сибирской платформы и Южной Африки. Измерения позволили наметить изменение температуры (привести геотермы) до глубины около 200 км. Решение этой задачи важно не только для общей геологии и петрологии — большинство геофизических задач связано с данными по распределению температуры в недрах Земли.

И наконец, не менее важно изучить историю формирования рудных месторождений. Метод фазового соответствия проник и в эту обширную область геологии. Равновесия рудных минералов несут интереснейшую информацию об эволюции месторождений, а следовательно, служат надежным помощником при их поисках. Но это уже особая проблема, так же как и проблема состава глубинных флюидов, с которыми так или иначе связано происхождение горных пород и руд.



## Новый грязевой вулкан на полуострове Челекен

**Н. Хаджинуров,**  
кандидат геолого-минералогических наук

**В. К. Солодков,**  
кандидат химических наук

Туркменский государственный научно-исследовательский и проектный институт нефтяной промышленности  
г. Набит-Даг

Большинство из известных на Земле грязевых вулканов возникло 5—10 млн лет назад, и зарождение новых — случай довольно редкий. Один из таких вулканов образовался сравнительно недавно на п-ове Челекен, расположенном на восточном побережье Каспийского моря. Полуостров издавна известен проявлениями нефти, залежи которой разрабатываются с XVIII в. Неразрывная связь с нефтегазоносностью недр — хорошо известная черта грязевого вулканизма. До недавнего времени на Челекене было три грязевых вулкана: Западный Порсугель, Розовый Порсугель и Алигул.

Первые два представляют собой кратерные озера с крутыми, оползающими берегами. Кратер Западного Порсугеля обычно заполнен водой, но в активные периоды он заполняется сопочной брекчией, нередко переливающейся через края и покрывающей обширную территорию вокруг вулкана. Достопримечательностью Розового Порсугеля является его цвет, обязанный существующим здесь пурпурным серным бактериям. Продукция деятельности этого вулкана — пластовая вода, газ углеводородного состава и капельки нефти, которой пропитаны берега озера. Розовый Порсугель работает спокойно, без резких изменений уровня воды, но периодически в южной и юго-западной частях

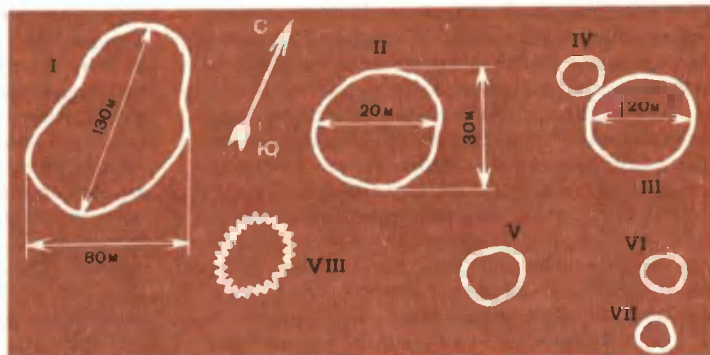


Схема вулкана Восточный Дагаджик. I—III — кратерные озера, IV—VII — сухие воронки, VIII — толм.

на поверхности возникают микрогрифоны высотой в несколько сантиметров, из которых высачивается нефть с газом.

Вулкан Алигул, расположенный в Центральной части Челекенской складки, на поверхности представляет собой огромный массив сопочной брекчии, возвышающейся над окружающей его территорией на 20—25 м. Не считая нескольких небольших грифонов, изливающих сопочную брекчию, вулкан относится к бездействующим. Но о его былой мощи свидетельствуют многочисленные обломки коренных пород, часть из которых датируется меловым возрастом.

В 1978 г. в восточной части Челекена в результате тектонических подвижек образовался новый грязевой вулкан, названный нами Восточный Дагаджик. Точную дату его зарождения установить трудно, но мы связываем его образование с землетрясением, произошедшим в Юго-Западной Туркмении 18 мая 1978 г., интенсивностью около 5 баллов по шкале Рихтера. Не исключено, что этого было достаточно, чтобы произошло тектоническое оживление на расстоянии 120—130 м

от эпицентра, в зоне разлома на Восточном Дагаджике. По рассказам очевидцев, процесс извержения сопровождался вспучиванием поверхности, выбросами песка, периодическим гулом, образованием неглубоких воронок диаметром в несколько метров.

Систематические наблюдения за поведением вулкана начаты нами с конца 1980 г. С запада на восток, почти перпендикулярно направлению север — юг и параллельно разлому, образовалось три кратерных озера, четыре неглубоких (диаметром 5—6 м и глубиной 1—1,5 м) сухих воронок и один холмик.

Первый кратер площадью 1 км<sup>2</sup> в 1980 г. имел отвесные (кроме северного) берега высотой 5—6 м. Отчетливо прослеживались плоскости среза, по которым происходило оползание огромных масс поверхностных пород. Кратерное озеро было частично заполнено известью песчано-глинистых образований, через которую пробивались пузырьки газа. Температура у берегов составляла 40°C. Вода хлориднокальциевого типа с минерализацией 90 г/л. Расположенные рядом с озером две старые нефтяные скважины фонтанировали водой такого же типа с минерализацией 60—70 г/л, имеющей температуру 58—60°C. Эти температуры и минерализация соответствуют





Один из кратеров вулкана Восточный Дагаджик.

пластовым водам, залегающим на глубинах 1—1,5 км.

Второй кратер эллипсоидной формы размерами 30 м по длинной оси и 20 м по короткой с обрывистыми берегами высотой от 2 до 5—6 м был заполнен водой также хлориднокальциевого типа с минерализацией 160 г/л, характерной на данном месторождении для глубин 200—500 м. Температура воды в этом кратерном озере составляла в зимнее время 10—15°C, летом 20—25°C.

Диаметр третьего кратера 20 м, его берега спускаются к центру воронки под углом 65—70°. Дно воронки было заполнено водой хлориднокальциевого типа с минерализацией 50 г/л, характерной для глубин 1,5—2 км. Температура воды примерно такая же, как и во втором кратере. Необычную форму на фоне других прояв-

лений грязевого вулканизма имел холм, отличающийся от окружающих поверхностных желтых, серых и красноцветных песчаников зеленым цветом, присущим глинистым породам или сопочной брекчии. На наш взгляд, он представляет собой диапир.

Тектоническая активность недр в 1978 г. привела не только к образованию вулкана Восточный Дагаджик, но отразилась на деятельности и других вулканов. Западный Порсугель долгое время интенсивно извергал брекчию и газ. Пространство, окружающее вулкан Розовый Порсугель, покрывалось густой сетью нефтяных микрогрифонов. Размеры кратера увеличились за счет оползней. Но самое примечательное — исчезла розовая окраска, и уже четыре года цвет озера остается темно-зеленым при неизменном химическом составе и типе вод. Стали проявлять активность и старые скважины и колодцы.

За последние годы интенсивность работы вулканов

значительно снизилась. Как показали наблюдения летом 1982 г., исчезли нефтяные микрогрифоны, почти прекратилось выделение сопочной брекчии на Западном Порсугеле, снизился уровень воды в кратерах, из-за отсутствия подтока воды испарилось озеро в третьем кратере вулкана Восточный Дагаджик. По этой же причине до 200 г/л возросла минерализация во втором кратере. Но по-прежнему продолжает увеличиваться в размерах первый кратер.

Таким образом, получен еще один пример, подтверждающий причину образования грязевых вулканов, — колебательные, тектонические движения, происходящие в осадочном чехле Земли. Вулкан Восточный Дагаджик имеет несколько источников питания, так как воды имеют разную минерализацию. Но учитывая, что тип воды один и тот же — хлориднокальциевый, можно считать, что корни вулкана расположены в плиоценовых отложениях на разных глубинах, не превышающих 1,5—2 км.

## Космические исследования

**Автоматическая станция «Астрон»**

23 марта 1983 г. в Советском Союзе была запущена автоматическая станция «Астрон» с научной аппаратурой, предназначенной для проведения астрофизических исследований галактических и внегалактических источников излучения. Станция массой около 3,5 т выведена на сильно вытянутую эллиптическую орбиту с высотой в апогее 200 тыс. км, в перигее — 2000 км, наклоном  $51^{\circ},5$  и периодом обращения 98 ч. (На подобную орбиту выводились автоматические станции «Прогноз».) В результате «Астрон» свыше 90% времени сможет вести измерения, находясь вне тени Земли и радиационных поясов.

«Астрон» создан на базе автоматических межпланетных станций «Венера». На его борту установлены два комплекса научной аппаратуры. Первый, массой около 400 кг, регистрирует УФ-излучение от небесных объектов. Он включает двухзеркальный УФ-телескоп, УФ-спектрометр и камеру опознавания поля.

УФ-телескоп с диаметром главного зеркала 0,8 м и фокусным расстоянием 8 м создан в СССР. Чтобы уменьшить влияние температурных перепадов на зеркала телескопа, их изготовили из сатилла — материала с практически нулевым коэффициентом линейного расширения, а в конструкции трубы был использован сплав инвар. Приняты специальные меры для сохранения у зеркал высокой отражательной способности, борьбы с рассеянным светом и «отсеки» света от очень ярких источников, например Солнца.

В фокальной плоскости телескопа установлен УФ-спектрометр, созданный специалистами СССР и Франции. Приемники света — три фотомножителя — позволяют изме-

рять излучение в диапазоне 115—350 нм с высоким (0,04 нм) и низким (1,4 и 2,8 нм) спектральным разрешением. Спектрометр имеет три отверстия для получения спектров трех типов объектов: ярких звезд (центрального отверстия размером 40 мкм), слабых звезд и внегалактических объектов (0,4 мкм), протяженных источников — туманностей и галактического фона (3 мкм). Система регистрации позволяет измерять интенсивность излучения с экспозицией от 0,5 с до десятков минут.

Камера опознавания поля, разработанная специалистами СССР и Франции, предназначена для отождествления звездных полей. Она представляет собой небольшой менисковый телескоп, передающий изображение на Землю, где на экране монитора видно звездное поле размером в  $1^{\circ}$ .

Второй комплекс научной аппаратуры массой около 300 кг включает рентгеновские спектрометры, разработанные и изготовленные в СССР и предназначенные для регистрации рентгеновского излучения от небесных объектов.

Основная задача станции «Астрон» — получение принципиально новой информации о природе звезд и других небесных объектов, в частности, для изучения химической природы звезд. Предполагается провести поиск сверхтяжелых элементов (ртути, платины и др.) у горячих звезд, короткоживущих элементов (технеция, пролитеума и др.), что важно для понимания процессов перемешивания вещества в звездах и уточнения механизма протекания в них ядерных реакций; будут исследованы также хромосферы и короны. Наконец, астрофизиков интересует роль межзвездной среды, в частности межзвездного газа, в процессах рождения и смерти звезд. УФ-наблюдения особенно информативны при определении химического состава, оценки общей массы,

динамики и особых состояний межзвездной среды.

3 апреля 1983 г. состоялся первый сеанс научных измерений: велись наблюдения звезды в созвездии Тельца.

**С. А. НИКИТИН**  
Москва

## Космические исследования

**Спутник «IRAS»**

25 января 1983 г. в 2 ч 17 мин по гринвичскому времени с Западного испытательного полигона (авиабаза Ванденберг, шт. Калифорния, США) был запущен спутник «IRAS» (Infrared Astronomical Satellite), предназначенный для астрономических исследований в инфракрасной области спектра. Спутник выведен на геоцентрическую, близкую к полярной орбиту с высотой в апогее 884 км, в перигее — 857 км, наклоном  $100^{\circ},1$  и периодом обращения 102,4 мин. «IRAS» изготовлен и запущен в рамках сотрудничества США, Нидерландов и Великобритании.

На борту спутника установлены два прибора: инфракрасный телескоп и прибор DAX (Dutch Additional Experiments).

Инфракрасный телескоп системы Ричи — Кретьена диаметром 57 см и длиной около 3,0 м создан в США вместе с системой охлаждения жидким гелием до температуры 2 К; запас гелия составляет 475 л (т. е. 250 ч работы телескопа). Масса телескопа с системой охлаждения 810 кг, в его состав входят также четырехканальный ИК-фотометр (8—120 мкм).

Прибор DAX расположен в фокальной плоскости и содержит, в частности, спектрометр с низкой разрешающей способностью и два ИК-фотометра.

В задачу спутника входит обнаружение точечных источников инфракрасного излучения, систематический обзор небес-

ной сферы с целью каталогизации подобных источников, изучение отдельных галактических и внегалактических источников ИК-излучения.

Ориентировочный срок работы спутника — 300 суток. За этот период предполагается провести сканирование примерно 95% небесной сферы. В сутки спутник совершает 14 оборотов, в течение 9 из них ведутся астрономические наблюдения. Суточный объем получаемой научной информации 900 Мбит; дважды в сутки она передается с борта спутника со скоростью 1 Мбит/с и принимается станцией слежения, расположенной на территории Великобритании. Центр управления полетом спутника находится в Чилтоне (Великобритания); там же, в Лаборатории им. Резерфорда — Эпплтона осуществляется первичная обработка научной информации.

В начале февраля во время проверочного сканирования небесной сферы с помощью ИК-телескопа было зарегистрировано свыше 2000 точечных источников ИК-излучения.

Aerospace Daily, 1982, v. 118, № 6, p. 46—47 (США); Interavia Air Letter, 1983, № 10182, p. 9; 1983, № 10194, p. 8 (Швейцария); Air et Cosmos, 1983, № 942, p. 34 (Франция).

#### Космические исследования

### **Обнаружен ионосферный полярный ветер**

В конце 60-х годов было высказано предположение, что должен существовать полярный ветер — поток заряженных частиц, движущихся из ионосферы в магнитосферу Земли. Однако отсутствие соответствующих приборов длительное время не позволяло экспериментально проверить эту гипотезу.

Недавно Дж. Джонсон и Ч. Чеппелл (J. Johnson, C. Chappell; Центр космических полетов им. Маршалла, Хантсвилл, США), а также П. Бенкс (P. Banks; Университет штата Юта, Логан, США) сообщили о первом наблюдении такого явления.

На борту спутника «Дайнамикс Эксплорер-1», запущенного на низкую эллиптическую орбиту, проходящую над полюсами Земли, были установлены три ионных масс-спектрометра замедленного типа, способные регистрировать потоки ионов с энергиями от нескольких электронвольт до нескольких сотен электронвольт при движении частиц «вверх» по силовым линиям магнитного поля Земли. С помощью этих спектрометров были обнаружены ионы кислорода, водорода и гелия, перемещающиеся в сторону внешней части магнитосферы вдоль открытых (незамкнутых) силовых линий, исходящих из полярных областей ионосферы Земли.

Параметры этого явления — низкая температура и малая, около 10 км/с, скорость — соответствуют тем, которые предсказывались теоретической моделью полярного ветра. Однако временами наблюдался также исходящий из полярной шапки Земли поток ионов со скоростями, достигающими 50 км/с; температура их также была выше, чем у первого потока. Подобное явление пока не объяснено.

Помимо полярного ветра, масс-спектрометры впервые зарегистрировали присутствие в магнитосфере Земли азота. Это первый случай обнаружения нового элемента в магнитосфере с тех пор, как в начале 70-х годов здесь были найдены ионы кислорода. Таким образом, примерно 10% магнитосферной плазмы, ранее считавшейся состоящей из ионов кислорода, в действительности образовано азотом.

Science News, 1982, v. 121, № 25, p. 408 (США).

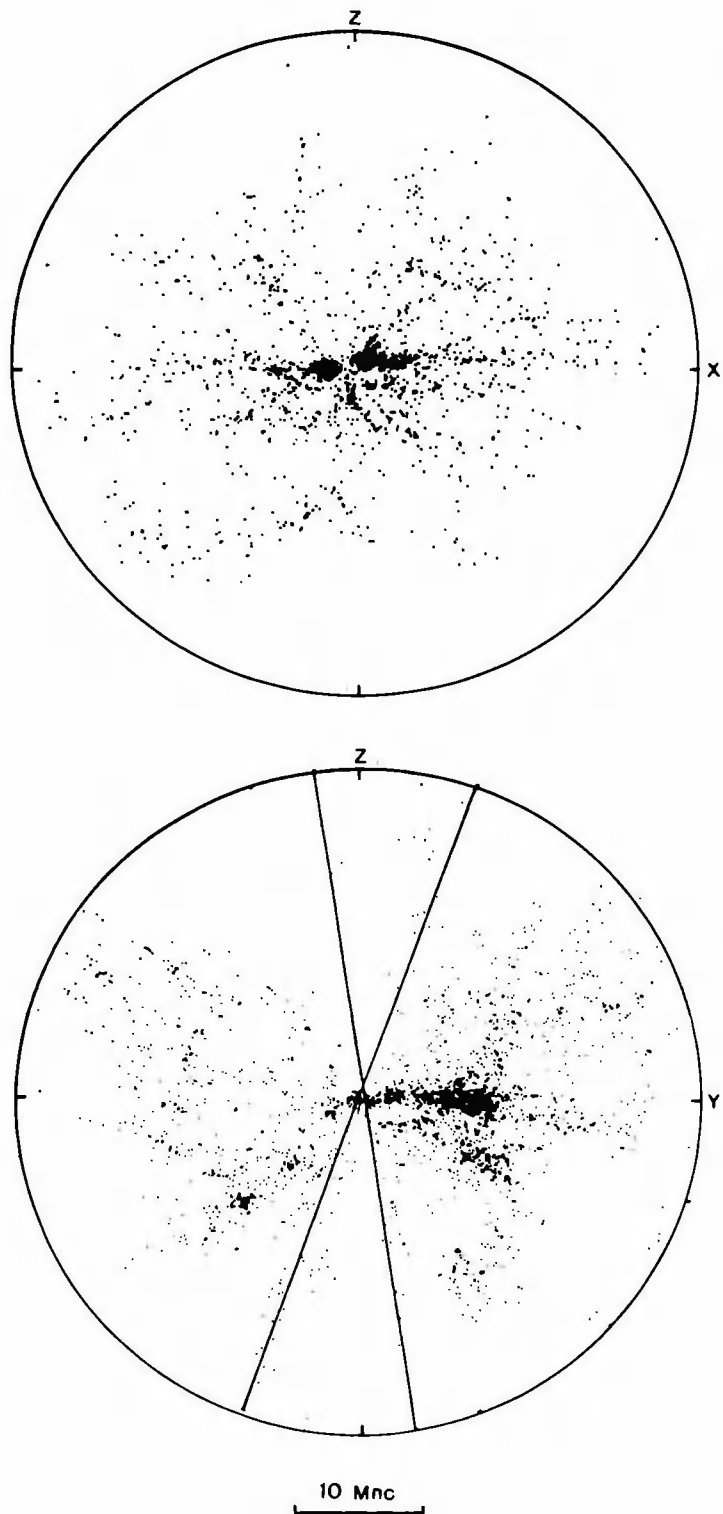
#### Астрофизика

### **Строение Местного сверхскопления галактик**

До сих пор считалось, что Местное сверхскопление галактик, скорее всего, имеет сплюснутую форму, но его детальное строение оставалось неизученным.

Б. Талли (B. Tully; Гавайский университет, США) определил красные смещения 2175 галактик в области радиусом 30 Мпс и с помощью этих данных построил объемную картину распределения галактик в Местном сверхскоплении. По внешнему виду сверхскопление напоминает галактику, такую, например, как наша. В нем также основная масса вещества собрана в тонком диске диаметром 12 Мпс и толщиной 2 Мпс. Этот диск включает 60% всех галактик, входящих в Местное сверхскопление, в том числе и нашу Галактику. Остальные 40% галактик находятся в гало, окружающем диск. Форма гало почти сферическая, но галактики рассеяны в нем не случайным образом, а объединены в своеобразные облака, которые нельзя называть скоплениями галактик, поскольку каждое облако порой состоит из нескольких скоплений. Таким образом, гало Местного сверхскопления очень неоднородно — большая часть его объема пуста, а почти все галактики собраны в сравнительно плотных и компактных облаках.

Облака вытянуты в направлении на центр Местного сверхскопления. Объяснить это явление не просто, и здесь нет единого мнения. Б. Талли считает, что на облака действует притяжение со стороны центра сверхскопления. Аналогичное явление часто наблюдается в системах двойных звезд, когда обе звезды вытягиваются под действием приливного ускорения друг к другу; то же происходит и в системе Земля — Луна. Но в случае облаков галактик ситуация не так проста. Во-первых, деформация облаков чрезвычайно велика: они скорее напоминают нити, чем приливо-деформированные сфероиды. Во-вторых, пространственный масштаб явления столь велик, что изменение формы облаков происходит за многие миллиарды лет. В процессе расширения Вселенной структура сверхскопления как бы застывает и остается такой, как на начальном этапе эволюции Вселенной. Существует мнение, что нитеобразные агрегаты галактик образовались очень рано, еще до того, как сформировались сами



Две проекции области пространства радиусом 30 Мпс вокруг нашей Галактики (она расположена в центре). Точками отмечено положение галактики. Вверху — вид пространства, если смотреть в направлении на центр Местного сверхскопления со стороны нашей Галактики. Внизу — вид «сбоку»; центр сверхскопления расположен справа в области наибольшей плотности галактик. Наличие конуса, в котором почти нет галактик, связано с тем, что эта область пространства практически недоступна для наблюдений из-за сильного поглощения света космической пылью, сконцентрированной в плоскости нашей Галактики.

галактики и их скопления<sup>1</sup>. Это явление связано с особенностями движения газа в расширяющейся Вселенной. Согласно теории, разрабатываемой группой Я. Б. Зельдовича в Институте прикладной математики АН СССР, первичный газ, уплотняясь под действием гравитации, собирается в гигантские плоские образования — «блины». В местах пересечения «блинов» плотность его увеличивается. Образовавшиеся из этого газа галактики «отмечают» сейчас в пространстве места наибольшей плотности газа. Там, где эта плотность была меньше некоторого критического значения, галактики, скорее всего, вообще не образовывались.

Разумеется, теория дает пока лишь общий подход к объяснению структуры Вселенной, и в частности Местного сверхскопления галактик. Еще далеко до объяснения «тонкой структуры» распределения галактик в пространстве, которая все более усложняется по мере получения новых наблюдательных данных.

*Astrophysical Journal*, 1982, v. 257, № 2, p. 389—422 (США).

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: Эйнасто Я. Э., Янисте Я. А. В поисках крупномасштабной структуры Вселенной. — Природа, 1982, № 12, с. 80.



## Астрофизика

**Компоненты около квазаров**

К настоящему времени вокруг всех исследованных относительно близких квазаров обнаружены туманности, линейные размеры которых превосходят даже гигантские галактики (их средний диаметр составляет 90 кпс).

А. Стоктон (A. Stocton; Институт астрономии Гавайского университета, США) около трех близких квазаров обнаружил компоненты размерами до 3 кпс, скорость движения которых друг относительно друга составляет около 200 км/с. По его мнению, объекты вблизи квазаров — это остатки галактик, разрушенных приливным воздействием. Вещество галактик могло послужить «топливом», поддерживающим активность квазара. По-видимому, здесь мы сталкиваемся с «канибализмом» в системе, центральным, самым массивным объектом которой является сам квазар.

К похожему выводу приходят и Г. Ботам с коллегами (G. Botham; Гарвардский центр астрофизики, США), исследуя самый близкий из известных квазаров — Q0351+026 ( $Z=0,036$ ), который был открыт в 1980 г. сначала в рентгеновском диапазоне и только потом в оптическом. Изучая этот объект в радиодиапазоне на длине волны 21 см, а также в оптическом диапазоне с помощью 3-метрового телескопа обсерватории Китт Пик (США), они обнаружили на расстоянии 7 кпс от квазара, являющегося ярким ядром галактики, компактный компонент. Галактика вокруг квазара по светимости схожа с Большим Магеллановым Облаком, а компонент — с Малым Магеллановым Облаком. Оба объекта погружены в общую туманность, и между ними виден «мост», излучающий на длине волны 5007Å; это линия OIII. Оба объекта довольно богаты водородом:  $7 \cdot 10^9 M_{\odot}$  и  $3 \cdot 10^9 M_{\odot}$  соответственно. Разность их скоростей составляет 450 км/с. Квазар является сильным рентгеновским источником: светимость



Радиодиаграмма квазара Q 0351+026 (вверху) и компонента, находящегося на расстоянии 7 кпс от квазара.

его в рентгеновском диапазоне в 2 раза больше оптической.

Таким образом, как свидетельствуют наблюдения, активность ядер часто бывает связана с процессами взаимодействия или даже слияния галактик. Подобные процессы идут интенсивнее в группах галактик и в небогатых скоплениях, где дисперсия скоростей их членов не так велика, как в богатых скоплениях. По-видимому, именно поэтому квазары чаще встречаются в небогатых скоплениях и избегают богатых скоплений.

Applied Journal, 1982, v. 257, p. 33; Astronomical Journal, 1982, v. 87, p. 1621 (США).

## Планетология

**Геологические процессы на Венере**

Советские автоматические станции «Венера» позволили получить детальные снимки участков поверхности в четырех районах Венеры, а с помощью американской станции «Пионер-Венера» выполнена радиолокационная съемка (с разрешением

около 100 км) 93% поверхности планеты, на основе которой составлены карты высот и шероховатости рельефа. Эти результаты были переданы Национальным управлением США по аэронавтике и исследованию космического пространства в Академию наук СССР для независимого анализа.

Группа исследователей из Института радиофизики и электроники АН УССР, Астрономической обсерватории Харьковского университета и Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР проанализировала данные, полученные станцией «Пионер-Венера» для района возвышенности Бета, в окрестностях которой расположены места посадок спускаемых аппаратов советских автоматических станций «Венера-9—14». Изучена связь между высотой местности и ее шероховатостью, которая характеризуется величиной крутизны склонов в диапазоне от нескольких до десятков метров.

Как правило, к горным сооружениям на Венере приурочены более крутые участки размером от нескольких до десятков метров, к холмистым равнинам — участки средней крутизны, а к низменным равнинам — наиболее пологие. Анализ данных для области Бета выявил отклонение от подобной зависимости. Вулканическая возвышенность Бета отличается большими уклонами, что соответствует общепланетной тенденции, однако и для сравнительно низко расположенных холмистых участков к югу и юго-востоку от Беты также характерен большой уклон поверхности. Основываясь на особенностях строения поверхностей Земли, Луны, Меркурия и Марса, исследователи предположили, что в условиях Венеры факторами, влияющими на расчленение поверхности в масштабе нескольких метров, могут быть тектонические движения, вулканические излияния, ветровое выдувание или накопление мелкого материала, а также процессы типа обвалов, оползней или каменных лавин.

Геологическая молодость вулканического сооружения Бета и связанного с ним рифтового каньона Деваны, располо-

женного южнее, позволяют считать, что эта область испытывает сейчас тектоно-вулканическую активизацию. Поэтому обнаруженные зоны повышенной шероховатости в холмистой местности следует связывать с действием тектонического и вулканического факторов. По-видимому, эти зоны соответствуют участкам, где в современной геологической эпохе происходит раскалывание и погружение блоков венерианской коры материкового типа и затопление их базальтами, т. е. процесс формирования низменных равнин.

Доклады АН СССР, 1982, т. 264, № 3, с. 591—595.

### Физика

## Обнаружена протонная радиоактивность

Большинство известных атомных ядер нестабильны, время их существования конечно, и они распадаются, испуская электроны, позитроны, нейтроны,  $\alpha$ -частицы и  $\gamma$ -лучи. Ядра тяжелых элементов могут, кроме того, делиться. Теоретически могут существовать не наблюдающиеся в естественных условиях типы распадов, например, с испусканием двух нейтронов, одного или двух протонов и т. д. Они, однако, становятся энергетически разрешенными лишь в экзотических ядрах — с аномально большим или малым числом нейтронов (нейтроноизбыточные или нейтронодефицитные ядра), время жизни которых чрезвычайно мало. Успехи в получении новых экзотических изотопов достигнуты в реакциях с тяжелыми ионами, а изучение распадов нейтроноизбыточных ядер, синтезированных в таких реакциях, привело недавно к обнаружению двух- и трехнейтронного распада ядра  ${}^{11}\text{Li}$ .

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: Гапонов Ю. В. Западывающая двухнейтронная активность ядер. — Природа, 1980, № 9, с. 110; Западывающая трехнейтронная активность ядер  ${}^{11}\text{Li}$ . — Природа, 1981, № 11, с. 107.

И вот открыт протонный распад; об этом сообщила группа специалистов Общества по изучению тяжелых ионов (Дармштадт, ФРГ). Строго говоря, излучение протонов ядрами уже наблюдалось. Прежде всего — это открытая в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) так называемая задержанная протонная радиоактивность; кроме того, в 1970 г. был обнаружен протонный распад изомерного состояния ядра  ${}^{53m}\text{Co}$ . Западногерманские специалисты впервые наблюдали протонный распад ядра, находящегося в основном, т. е. нижайшем по энергии, состоянии. Первым открытым излучателем протонов оказался крайне нейтронодефицитный изотоп  ${}^{151}\text{Lu}$ . Реакция  ${}^{58}\text{Ni} + {}^{96}\text{Ru}$  и была использована экспериментаторами из Дармштадта. Ионы  ${}^{58}\text{Ni}$  ускорились до энергий 200—400 МэВ на ускорителе тяжелых ионов UNILAC и направлялись на мишень, состоящую на 98% из изотопа  ${}^{96}\text{Ru}$ . В результате реакции слияния образовывалось сильно возбужденное ядро  ${}^{154}\text{Hf}$ , после испарения которого протона и двух нейтронов и получался  ${}^{151}\text{Lu}$ . Продукты распада  ${}^{154}\text{Hf}$  отделялись от ядер из падающего пучка и продуктов других реакций, происходящих в мишени, с помощью кинематического сепаратора (или сепаратора по скоростям) и детектировались поверхностно-барьерными счетчиками. Время жизни  ${}^{151}\text{Lu}$  составило  $85 \pm 10$  мс, а энергия вылетающих протонов равнялась  $1,231 \pm 0,003$  МэВ. Самым трудным было доказать, что обнаруженная протонная радиоактивность — результат распада  ${}^{151}\text{Lu}$  в основном состоянии. Проблема осложнялась тем, что практически ничего не известно о ядрах-соседах  ${}^{151}\text{Lu}$ , в том числе о дочернем ядре. Заключение ученых основывалось на имеющейся систе-

матике энергий вылетающих протонов, измеренных функций возбуждения ядра  ${}^{151}\text{Lu}$  и кинематике распада. Отсутствие аннигиляционного и рентгеновского КХ-излучения позволило утверждать, что наблюдающийся протонный распад — прямой, а не запаздывающий, уже известный ученым.

Разработанная методика эксперимента оказалась эффективной, и вскоре был открыт еще один протонный излучатель — изотоп  ${}^{147}\text{Tl}$ . Его время жизни  $420 \pm 100$  мс, а энергия вылетающих протонов —  $1,040 \pm 7$  кэВ. Чтобы синтезировать это ядро, была использована реакция  ${}^{58}\text{Ni} + {}^{92}\text{Mo}$ .

Zeitschrift für Physik A — Atoms und Nuclei, 1982, B. 305, S. 111—123 (ФРГ).

### Физика

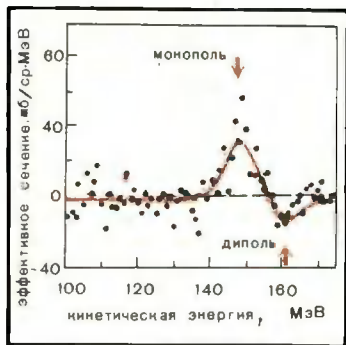
## Первое наблюдение изовекторного монополюсного резонанса

Интернациональный коллектив исследователей из Лос-Аламоса (США) получил данные, подтвердившие существование изовекторного монополюсного возбуждения в атомных ядрах.

Возбужденные состояния ядра характеризуются энергией, моментом количества движения, а также величиной изоспина (квантового числа, отличающего протонное и нейтронное состояния нуклонов в ядре). Изменение момента количества движения при взаимодействии ядра с налетающими частицами или излучением принято выражать числами 0, 1, 2 и т. д. Соответствующие возбуждения носят названия монополюсных, дипольных, квадрупольных. При рассмотрении любых из этих возбуждений величины, описывающие взаимодействие, можно разбить на две части, одна из которых вообще не зависит от изоспина, а зависимость другой сводится к суммированию по всем нуклонам ядра (при этом протону приписывается изоспин  $-1/2$ , а нейтрону  $1/2$ ). Возбуждения, порождаемые этими частями взаимодействия, называются соответственно изоскалярными

<sup>2</sup> В качестве возможного излучателя протонов  ${}^{151}\text{Lu}$  был назван еще в 1964 г. В. А. Карнауковым и Г. М. Тер-Акопяном (ОИЯИ); они же указали на реакцию  ${}^{58}\text{Ni} + {}^{96}\text{Ru}$  как на возможный способ получения этого ядра. См. напр.: Phys. Lett., 1964, №12, p. 339.





Зависимость разностного дифференциального сечения рассеяния на ядре  $^{120}\text{Sn}$  от энергии  $\pi^0$ -мезонов. Видны два пика, соответствующие дипольному и монополюсному резонансам.

ми и изовекторными резонансами.

При взаимодействии ядер с электромагнитным излучением среди всех возможных мод возбуждений доминирует так называемый изовекторный гигантский дипольный резонанс, связанный с «раскачкой» нейтронов и протонов, приводящей к их колебаниям в противоположных направлениях с некоторой резонансной частотой, определяемой характеристиками ядра. Однако, когда для возбуждения используются пучки электронов, мезонов или других частиц, спектр возбуждения ядра становится более сложным — отчетливо проявляются резонансы, отвечающие состояниям с различными моментами количества движения. Наиболее интересен монополюсный резонанс — возбужденное состояние с нулевым моментом, в котором ядро, совершая объемные колебания, как бы «дышит». Частота этих колебаний (или энергия резонанса) непосредственно связана с важнейшей характеристикой — сжимаемостью ядерной материи. Монополюсный резонанс, в отличие от возбуждений других мультипольностей, которые в основном имеют поверхностный характер, представляет собой колебания плотности нуклонов во всем объеме ядра.

Для выделения изовекторных возбуждений исследователи использовали реакцию пе-

резарядки пионов ( $\pi^-, \pi^0$ ). Измерения проводились на пучке  $\pi^+$ -мезонов с энергией 165 МэВ, получаемых с помощью линейного ускорителя протонов Лос-Аламосской мезонной фабрики (разброс по энергии не превышал 1 МэВ, интенсивность пучка была не меньше  $10^6$  частиц/с).

Согласно теории распределения продуктов реакции для монополюсных возбуждений приходится на малые углы рассеяния, отсчитываемые от направления падающего пучка. Однако из-за распада нейтрального пиона на два  $\gamma$ -кванта в эксперименте вместо  $\pi^0$ -мезонов непосредственно регистрировались фотоны, вылетающие под значительными углами к направлению первичного пучка.

Мишенями служили сферические ядра  $^{120}\text{Sn}$  и  $^{90}\text{Zr}$ , характеристики которых достаточно хорошо известны из других реакций. Продукты реакции детектировались спектрометром нейтральных пионов, специально приспособленным для изучения изовекторного монополюсного резонанса. Данные были получены для двух диапазонов углов рассеяния, соответствующих двум различным положениям спектрометра. Эти данные указывают на существование максимума в спектре распределения нейтральных пионов по энергиям при малых углах. Этот пик исчезал при переходе к большим углам рассеяния  $\pi^0$ -мезонов, что свидетельствует о наблюдении именно монополюсного резонанса.

CERN Courier, 1982, v. 22, № 9, p. 361.

Физика

**Хранение ультрахолодных нейтронов**

Ю. Ю. Косвинцев, В. И. Морозов и Г. И. Терехов сообщили о создании «чистого» сосуда с временем хранения ультрахолодных нейтронов<sup>1</sup>, равным

<sup>1</sup>Подробнее о теории и экспериментах с ультрахолодными нейтронами см.: Франк А. И. Ультрахолодные нейтроны.— Приро-

времени их жизни до  $\beta$ -распада, которое составляет  $\tau_p = (917 \pm 14)$  с, т. е. примерно 165 мин. Причина, не позволявшая ранее достигать этой величины, — уход нейтронов из сосуда в результате взаимодействия со стенками, что приводит к поглощению и нагреву нейтронного газа. Поэтому в течение десяти лет «проблема хранения» ультрахолодных нейтронов была предметом интенсивных исследований<sup>2</sup>. Рассматривалось влияние шероховатостей поверхности, роль колебаний стенок сосуда и т. д. Самым правдоподобным выглядело объяснение малого времени хранения загрязнением поверхности сосуда. Особенно велико должно быть влияние пленки загрязнений, состоящей из водородсодержащих веществ, в частности воды. Если эта гипотеза верна, то вероятность потерь нейтронов должна резко уменьшаться при охлаждении сосуда и при удалении с его стенок водородсодержащих примесей. Решению проблемы должно помочь также намораживание на стенки охлажденного сосуда веществ, обладающих свойством отражать нейтроны с достаточно высокой граничной скоростью, независимо от угла их падения.

В эксперименте Ю. Ю. Косвинцева с соавторами ультрахолодные нейтроны хранились в герметичном алюминиевом сосуде диаметром 52 см и высотой 28 см, который откачивался до давления  $10^{-6}$  торр. Средняя скорость нейтронов у дна сосуда составила 2 м/с. Стенки сосуда очищались различными методами; так, был применен кислородный отжиг. Измерение времени хранения производилось при охлаждении сосуда до 80 К. Для экранировки остатков поверхностного водорода использовалась тяжелая вода. Толщина слоя тяжелого льда,

да, 1981, № 1, с. 30. Идея накопления нейтронов в «банках» была высказана Я. Б. Зельдовичем (ЖЭТФ, 1959, т. 36, с. 1952).

<sup>2</sup>Первые прямые наблюдения длительного хранения ультрахолодных нейтронов были выполнены группами Ф. Л. Шапиро в Дубне и А. Штайерла в Мюнхене в 1969—1972 гг.

намороженного на стенки сосуда, равнялась 200 нм.

В результате время хранения ультрахолодных нейтронов составило  $950 \pm 60$  с, т. е. практически совпадало с временем жизни нейтрона. По мнению авторов, эксперимент показал принципиальную возможность хранения нейтронов до их  $\beta$ -распада, что снова открывает возможность применять ультрахолодные нейтроны в ряде фундаментальных экспериментов.

Письма в ЖЭТФ, 1982, т. 36, № 9, с. 346.

Физика

### Импульсное радиоизлучение при кристаллизации воды

Еще в 1960 г. было установлено, что быстрая взрывоподобная кристаллизация переохлажденной воды сопровождается разделением электрических зарядов, возникновением значительной разности потенциалов ( $10^2$  В) и резким (в 1000—10 000 раз) увеличением диэлектрической проницаемости в тонком слое на границе раздела фаз вода—лед<sup>1</sup>. Затем было обнаружено, что быстрые структурные превращения воды сопровождаются также электромагнитным излучением в радиочастотном диапазоне. Эффекты проявляются тем сильнее, чем интенсивнее идет порождающий их процесс, и могут наблюдаться не только в лабораториях, но и в естественных условиях при кристаллизации воды: при подвижке и растрескивании льдов, сходе снежных лавин и т. д.<sup>2</sup>

Лабораторное моделирование электромагнитного излучения, связанного с кристаллизацией воды и некоторых

диэлектриков (расплавы салолла и т. д.), проведенное в Ленинградском гидрометеорологическом институте, позволило выявить детали и понять природу обнаруженного явления. Водные растворы с концентрацией примеси от  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$  моль и расплавленные диэлектрики замораживались при изменении скорости движения фронта кристаллизации от 0 до 1,5 мм/мин. Измерение электрической и магнитной составляющих радиополя в диапазоне 20 Гц — 10 МГц показало, что радиочастотное излучение и сопровождающие его акустические сигналы следовали за изменением скорости движения фронта кристаллизации. Они возникали (или исчезали), если потенциал и диэлектрическая проницаемость на межфазной границе становились выше (или ниже) некоторых пороговых значений. Был сделан вывод, что радиоизлучение является следствием возникновения градиента потенциала ( $10^3$ — $10^4$  В/см) в области границы фаз жидкость — твердое тело, обусловленного электрокристаллизационным эффектом, а также следствием неравномерности (в микромасштабе) процессов кристаллизации. В результате в кристаллизующейся системе возникают импульсы давления и периодические микротрещины в твердой фазе. В зоне трещин диэлектрическая проницаемость среды скачкообразно уменьшается до значений, присутствующих в атмосферном воздухе. В микроконденсаторах, образованных краями трещин, возникают пробой воздушного промежутка, приводящие к радиоизлучению, причем радиоимпульс имеет характерную для газоразрядных процессов форму.

Обнаруженные эффекты могут использоваться не только для дистанционного контроля за лавинами, расколом и подвижкой льдов в горных районах, Арктике и Антарктике, но и при зондировании и прогнозировании ряда других океанологических и атмосферных процессов, связанных с фазовыми переходами воды. Кроме того, радиоизлучение, сопровождающее широкомащтабные атмосферные процессы такого типа, необходимо учитывать

при обработке результатов наблюдений за радиотепловым излучением астрономических объектов при наземных или спутниковых измерениях, поскольку кристаллизующаяся в атмосфере вода может быть источником радиопомех, особенно в метровом диапазоне радиоволн, а также в тех диапазонах СВЧ, в которых кристаллизующиеся аэрозоли выступают в качестве резонансных линейных излучателей.

Доклады АН СССР, 1982, т. 267, № 2, с. 347—350.

Физика

### Наблюдение эффекта Агаронова — Бома

Еще в 1959 г. было теоретически предсказано, что фаза волновой функции свободно летящего электрона несет информацию о наличии в пространстве вектора-потенциала магнитного поля, хотя само поле может отсутствовать (так называемый эффект Агаронова — Бома). Из теории, в частности, следовало, что фазы волновых функций электронов, летящих мимо намагниченного тороида, и электронов, пролетающих сквозь его центральное отверстие, должны различаться. Экспериментальное подтверждение эффекта означало бы, что вектор-потенциал магнитного поля — не только удобный математический параметр, но и реально существующая и наблюдаемая физическая величина. К сожалению, во всех проводившихся до сих пор экспериментах использовались солиноиды-катушки с неизбежными для них утечками магнитного поля в окружающее пространство. Поэтому результаты экспериментов оказывались либо противоречивыми, либо неоднозначными.

Группа физиков Центральной исследовательской лаборатории фирмы «Хитачи» (Япония) провела прецизионный эксперимент, полностью подтвердивший эффект Агаронова — Бома. Регистрировалась разность фаз волн де Бройля быстрых электронов, пролета-

<sup>1</sup> Качурин Л. Г., Бекре-ев В. И.— Доклады АН СССР, 1960, т. 130, № 1, с. 141; Mason B., Maubank J.— Quart. J. Roy. Met., 1960, v. 86, № 368, p. 176.

<sup>2</sup> Природа, 1981, № 3, с. 109.

ших мимо сверхминиатюрного намагниченного тороида из пермалоя. Поперечник тороида составлял 640 нм, а толщина — примерно 40 нм. Электроны пролетали как снаружи тороида, так и через его центральное отверстие. Разность волновых фаз электронов фиксировалась на электронных голограммах (их получали, просвечивая микротороиды в электронном микроскопе с энергией пучка от 80 кэВ до 125 кэВ); изображение тороидов создавалось при освещении голограмм светом от стандартного He-Ne-лазера.

Наличие у электронов, пролетавших мимо тора и сквозь его центральное отверстие, разности фаз приводило к тому, что интерференционные полосы имели наклон в области сечения тора. Величина наклона была тем больше, чем больше был магнитный поток, заключенный в тороиде, и была пропорциональна искомой разности фаз. Направление полос однозначно определялось направлением магнитного поля в торе.

Анализ интерференционных картин для электронов с энергией 125 кэВ показал, что наблюдаемой разности фаз соответствовала разность хода, равная  $5,5 \lambda$ , где  $\lambda$  — дебройлевская длина волны для данной энергии. Это значение весьма близко к теоретической величине  $6,0 \lambda$ . Магнитное поле в тороиде составляло около 9500 Э.

Успех эксперимента, по существу, был предопределен высокой технологичностью процесса изготовления микротороидов, в которых почти полностью отсутствовало рассеяние магнитного поля.

Physical Review Letters, 1982, v. 48, № 21, p. 1443 (США).

#### Физическая химия

### Новый вид хроматографии

Область применения существующих хроматографических методов анализа ограничена летучестью и раствори-

мостью анализируемых веществ. Кроме того, в современной научной и производственной практике встречается большое число задач по разделению высокомолекулярных веществ, микро- и макрочастиц, размеры которых значительно превосходят размер самых больших молекул; в частности, это относится к разделению биополимеров, клеток и клеточных компонентов.

Сотрудники Научно-исследовательского физико-химического института им. Л. Я. Карпова под руководством К. И. Сакодынского разработали новый вид хроматографического разделения и анализа — жидкостную хроматографию с полифазным элюентом. Основная особенность метода — использование в качестве подвижной фазы (элюента) гетерогенных систем. Перемещение анализируемых частиц, а также крупных молекул различных типов осуществляется потоком полифазного элюента. Разделяемые молекулы или частицы распределяются внутри подвижной фазы, вступая в сложные взаимодействия с поглотителем, подвижной и неподвижной фазами. Кроме сорбционных функций, подвижная фаза выполняет и транспортные функции, определяющие эффективность разделения. С помощью нового метода можно разделять как растворимые, так и нерастворимые вещества, в том числе коллоидные системы и суспензии, образованные частицами размером в несколько десятков микрон.

Исследования проводили с использованием как насадочных, так и капиллярных колонок различной длины и диаметра. Были исследованы водные суспензии клеток смеси четырех штаммов *E.coli* и частиц двух сорбентов: аминекса (аминокремнезем, размер частиц 5—15 мкм) и аминокорбкса (размер частиц 7 мкм). При хроматографировании водных суспензий сорбентов и смесей клеток штаммов *E.coli* в качестве полифазного элюента использовали водные растворы смесей полиэтиленгликоля (молекулярная масса 6000 Д),  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{NaCl}$ .

Наличие градиента концентраций полимера и соли в растворе повышало эффективность разделения.

Доклады АН СССР, 1982, т. 266, № 4, с. 910—914.

#### Биохимия

### Защитное действие синтетических антиоксидантов

Сотрудники Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова и Института химической физики АН СССР недавно выявили группу перспективных синтетических антиоксидантов — химических веществ, способствующих нормализации процессов в центральной нервной системе.

Испытания проводились на беспородных крысах. Под действием сильных звуковых раздражителей у крыс появлялись эпилептиформные припадки. Длительное, в течение 15 минут, воздействие прерывистым звуком сразу после припадка вызывало резкое возбуждение мозга. Это возбуждение, сопровождаемое двигательными и вегетативными нарушениями, приводило к развитию острой сердечно-сосудистой патологии и гибели около 15% животных от кровоизлияния в мозг. При введении крысам внутрибрюшинно синтетических антиоксидантов (фенозона, пэгинола или замещенных 3-оксипиридинов) у них усиливались процессы торможения, при этом течение эпилептиформной реакции на звуковое раздражение существенно изменялось: увеличивался латентный период, снижалась интенсивность судорог.

Из 37 животных, получивших за 1—1,5 часа перед этим фенозан в дозе 40 мг/кг (изменившей реакцию, но не снявшей ее полностью), ни одно животное не погибло, тогда как среди 30 контрольных крыс от кровоизлияния в мозг погибло 6 (т. е. 20%). Доза фенозона 120 мг/кг полностью снимала эпилептиформный при-

падок. Одинаковой эффективностью обладали литиевые и калиевые соли фенозана; значительную эффективность проявляли водорастворимые производные пэгнанола. Эффект защиты был пропорционален количеству введенного препарата.

Сравнение веществ, относящихся к различным классам и имеющих различное строение, показало, что они обладают равной эффективностью при одинаковой антиокислительной (антирадикальной) активности, равной произведению использованной дозы препарата на его удельную антиокислительную активность. Подтвердилось ранее высказанное предположение, что в основе защитного действия изученных веществ лежит их способность подавлять процессы перекисного окисления липидов, в которых основную роль играют радикалы. Задерживая реакции перекисного окисления липидов в мембранных структурах мозга, антиоксиданты нормализуют тем самым работу нервной системы.

Доклады АН СССР, 1982, т. 267, № 2, с. 469—471.

#### Биохимия

### Липосомы усиливают действие лекарств

Эффективность действия лекарств во многом зависит от того, в каком виде они вводятся внутрь организма. Так, для борьбы с возбудителями инфекционных заболеваний важно, чтобы препарат вошел в контакт с патогенными микроорганизмами, для чего он должен проникнуть внутрь клеток и тканей. В последние годы в этих целях пытаются использовать липосомы — жировые пузырьки, плавающие в цитоплазме клеток или приготовляемые искусственно. Они легко проникают внутрь клеток и вводят в них заключенные внутри липосом вещества.

М. А. Владимирский, Г. А. Ладыгина и А. И. Тенцова (Московский научно-исследовательский институт туберкулеза Минздрава РСФСР) исследовали химиотерапевтическую ак-

тивность стрептомицина, заключенного внутрь липосом. Опыты проводились на мышах. Липосомы готовились из мицеллярного раствора лецитина. Внутри пустых липосом вводили стрептомицин в количестве 250—300 мкг на 1 мг лецитина. Размер липосом, установленный с помощью электронного микроскопа, составлял 40—80 нм. Мышей внутривенно заражали бактериями туберкулеза. Стрептомицин, заключенный внутрь липосом, вводили внутривенно по двум схемам: 1) два раза — на 3-й и 4-й дни по 20—25 мкг/кг веса в день; 2) три раза — на 4-й, 7-й, 10-й или 12-й день по 50—67,5 мкг/кг веса в день. Контрольные животные получали те же дозы препарата, не заключенного в липосомы.

После двухкратного введения стрептомицина число туберкулезных колоний в селезенке животных уменьшилось, а после трехкратного его введения число этих колоний уменьшилось и в тканях легких. Трехкратное введение стрептомицина, заключенного в липосомы, продлевало длительность жизни зараженных животных и тормозило снижение их веса. В то же время у животных, получавших стрептомицин без липосом, не отмечалось его воздействие на ход заболевания.

Липосомы снижали также токсичность действия стрептомицина на организм мышей. Так, внутривенное введение этого препарата животному в дозах 2500 и 3000 мкг вызывало гибель от токсикоза. Введение стрептомицина, заключенного внутри липосом, в дозе 3000 мкг на мышью не вызывало острых признаков токсикоза.

Антибиотики, 1983, т. 28, № 1, с. 23—26.

#### Медицина

### Диета и здоровье

При исследовании эффективности различных схем питания животных исследователи ряда стран выработали рекомендации, которые сводятся к ограничению калорий-

ности пищи при высоком содержании в ней определенных ингредиентов. В частности, у крыс и мышей, если их кормить ограниченной по калорийности пищей начиная с грудного возраста, увеличивается продолжительность жизни и снижается число случаев возрастных заболеваний. Однако данные, полученные при использовании такой диеты в зрелом возрасте, оказались противоречивыми.

Р. Вайндрух и Р. Уолфорд (R. Weindruch, R. Walford; отдел патологии Калифорнийского университета, США) тщательно проанализировали условия постановки экспериментов со взрослыми животными и пришли к выводу о наличии ряда ошибок при их проведении. Ограничения в диете начинались обычно сразу, без постепенного к ним перехода; питание, получаемое животными, было недостаточно обогащено белками, солями и витаминами. Очень часто опыты проводились на животных, вес которых превышал норму. Поэтому у них диета в основном тормозила дальнейшее ожирение.

Для проверки полученных выводов авторы провели опыт на мышах двух долгоживущих линий. Опыт начали, когда мышам исполнилось 12 месяцев, т. е. в середине их жизни. Перевод животных на урезанную диету был осуществлен не сразу, а постепенно, в течение одного месяца, к концу которого и до самой смерти подопытные получали пищу, содержащую 90 ккал в неделю, а контрольные — 160 ккал в неделю. Однако урезанная диета была обогащена казеином, отваром дрожжей, солями и оксидом цинка. Спустя 2—2,5 месяца от начала опыта вес мышей, получавших ограниченную диету, вначале падавший, стабилизировался и почти не менялся до конца их жизни.

Результаты опыта показали, что как средняя, так и максимальная продолжительность жизни животных, которых недокормливали, была больше, чем у контрольных. У животных обеих линий в обычных условиях в определенном проценте случаев наблюдалось развитие спонтанных опухолей, однако процент этих заболева-

ний у мышей, находившихся на диете, был меньше.

Данные, полученные на животных, представляют несомненный интерес для врачей-диетологов. Подобные принципы построения диеты, по-видимому, можно использовать и при организации питания людей в целях удлинения их жизни и уменьшения числа возрастных заболеваний. Переход на новую диету может быть произведен практически в любом возрасте.

Science, 1982, v. 215, № 4538, p. 1415—1418 (США).

#### Психофизиология

### Психофизиологические изменения в течение менструального цикла

Психофизиологи Д. Ассо и Дж. Брайер (D. Asso, J. Braier; Лондонский университет, Англия) обследовали женщин в овуляционной и предменструальную фазы менструального цикла. Оказалось, что параметры, отражающие уровень активности коры головного мозга, имеют более высокие значения в овуляционной фазе. Это относится как к «субъективным» параметрам, измеряемым с помощью вопросника, так и к объективным, физиологическим (скорость двигательной реакции; пороговый интервал времени между двумя вспышками света, при котором они начинают восприниматься как одна и т. п.). С другой стороны, активность вегетативной нервной системы выше в предменструальной фазе, чем в овуляционной, что также проявляется и в психологической сфере (более высокая самооценка тревоги и общего напряжения), и в физиологической (более низкий уровень электрического сопротивления кожи).

Хотя гормональная динамика в течение менструального цикла изучена хорошо, попытки обнаружить закономерные связи психофизиологических функций с фазой цикла были до сих пор, как правило, неудачными. Причина этого может заключаться в неадекватности исполь-

зовавшихся прежде параметров, в которых отражались одновременно как корковая, так и вегетативная активация, а их динамика оказалась противоположной.

Biological Psychology, 1982, v. 15, p. 95—107 (Нидерланды).

#### Вирусология

### Новая вирусная инфекция

Коллектив московских, ленинградских и петрозаводских вирусологов изучил природу вспышек заболевания, возникшего в конце лета — начале осени 1981 г. в Карельской автономной республике. Заболевание характеризовалось внезапным началом, лихорадкой с высокой температурой, обильной сыпью и артритами, в основном голеностопного и коленного суставов. Обычно болезнь проходила через 1—2 недели. Однако повторное обследование, проведенное через 4—5 месяцев, показало, что в 50% случаев люди, перенесшие лихорадку, имеют хронический артрит.

Основная масса заболевших (в основном болели взрослые) зарегистрирована в районе южных отрогов возвышенности Манселья. Эта территория расположена на границе северной и среднетаежных областей. Все заболевшие побывали в тайге, а в 1981 г. количество кровососущих насекомых (комаров и мошек) там в 6—10 раз превышало обычную норму.

Исследователи высказали предположение, что возбудителем карельской лихорадки относится к арбовирусам, т. е. к вирусам, которые переносятся членистоногими. При сравнении возбудителя карельской лихорадки с вирусом Синдбис (вызывающим спорадическое заболевание с сыпью и суставными болями, известное в южной Африке), с вирусом лихорадки Росс-Ривер, распространенной в Австралии, вирусом западного Нила и рядом других сходных заболеваний, оказалось, что в сыворотке больных карельской лихорадкой присутствуют антитела только к вирусу Синдбис, т. е.

в антигенном отношении исследуемый вирус близок к вирусу Синдбис.

Известно, что вирус Синдбис экологически связан с птицами и комарами. Птицы участвуют в формировании сезонного очага заболевания; бекасы и лысухи могут переносить вирус во время весенних миграций. Так, установлена циркуляция вируса Синдбис на юге Европейской части СССР, в Закавказье и в Средней Азии. Этот вирус обладает определенной экологической подвижностью, что позволяет некоторым клещам, грызунам и лягушкам адаптироваться к нему.

Теперь предстоит выяснить пути заноса вируса на территорию, где отмечены вспышки карельской лихорадки (возможно, это связано с миграцией зимующих птиц, механизмы резервации с созданием стойких очагов, основных переносчиков, ареал возбудителя, его свойства, эпидемиология и клиника заболевания. Программа таких исследований уже разработана. Вопросы вирусологии, 1982, № 6, с 50.

#### Генетика

### Профилактика наследственных болезней

В высокоразвитых странах наследственные заболевания обуславливают ныне от 25 до 35% детской смертности. Мнения специалистов относительно системы оказания помощи людям,отягощенным наследственными болезнями или с высоким риском рождения больного потомства, расходятся. В связи с этим Совет по научным проблемам Американской медицинской ассоциации опубликовал материалы о современном состоянии таких основных мер по профилактике наследственных болезней, как генетическое консультирование и обследование новорожденных по так называемым просеивающим программам.

Генетическое консультирование предполагает: выяснение последствий, к которым

приведет возникновение генетического заболевания в семье; прогноз тяжести заболевания и риска его повторного возникновения; уточнение способов профилактики и их оптимальной коррекции. Показаниями к проведению генетического консультирования считаются: врожденные аномалии у членов семьи или у родственников; аномальное психическое или физическое развитие ребенка; беременность у женщины старше 35 лет; принадлежность к этнической группе, в которой особо высока частота какого-либо наследственного заболевания; длительное употребление лекарств или воздействие химических веществ; три и более самопроизвольных выкидыша или случая ранней детской смертности; бесплодие. Основные методы выявления наследственной патологии сводятся к распознаванию гетерозиготного носительства генов рецессивных заболеваний<sup>1</sup> и дородовой диагностике у перечисленных групп риска.

Одна из лучших возможностей предотвращения рождения больного ребенка — распознавание рецессивного носительства у родителей до зачатия. На сегодня можно выявить носительство генов талассемии, амавротической семейной идиотии, серповидноклеточной анемии, а в недалеком будущем, возможно, и кистозного фиброза. Успешное выявление гена амавротической семейной идиотии было проведено среди евреев ашкенази в Балтиморе; наличие носительства определялось по субнормальному уровню гексозаминидазы А. Однако попытка выявить носительство талассемии среди греков, а также серповидноклеточной анемии среди американских негров закончилась неудачей: она была воспринята как вторжение в личную жизнь, нарушение сабо

и проявление расизма. Несмотря на возникшие трудности, многие врачи считают такой скрининг весьма перспективным.

Некоторые генетические аномалии можно обнаружить уже с 15—16-й недель беременности. Так, по наличию повышенного уровня  $\alpha$ -фетопротеина в сыворотке крови матери можно с достаточно высокой вероятностью судить о незаращении нервной трубки у плода. На тех же сроках беременности в околоплодной жидкости можно обнаружить ряд соединений, сопутствующих определенным патологическим состояниям (например, ацетилхолинэстеразу — при дефектах нервной трубки). Кроме того, из околоплодной жидкости можно получить клетки, которые после культивирования исследуются на наличие биохимических или хромосомных аномалий. Такие тесты позволяют обнаружить болезнь Дауна и другие болезни, обусловленные изменением числа и конфигурации хромосом. После дополнительного культивирования на тех же клетках можно проводить более тонкий анализ биохимических ошибок обмена веществ, который в семьях с высоким риском позволяет определять некоторые липоидозы, мукополисахаридозы, расстройств углеводного и аминокислотного обмена, различные дефицитные состояния (дефицит кислой фосфатазы и др.).

К сожалению, не все генетические заболевания удается установить до рождения ребенка. Именно поэтому наряду с генетическим консультированием широкое распространение имеют просеивающие программы, по которым все новорожденные обследуются на какое-либо генетическое заболевание. Для этого отбираются такие наследственные дефекты, которые встречаются достаточно часто, хорошо диагностируются и поддаются коррекции с помощью диетических ограничений. Просеивающие программы по выявлению фенилкетонурии и гипотиреозидизма введены сейчас практически во всех штатах США; реже используются тесты на галактоземию, серповидноклеточную анемию и некоторые другие заболевания.

Что же предлагают спе-

циалисты наследственно отягощенным семьям? Многое зависит от степени риска возникновения заболевания. Если он невелик, можно либо отказаться от дородовых диагностических процедур (поскольку сами эти процедуры подчас могут привести к выкидышу), либо воспользоваться ими и при обнаружении патологии прервать беременность. Если отягощенность семьи очень велика, наилучшим выходом является стерилизация. В случаях, когда ген рецессивного заболевания обнаружен у супруга, рекомендуется искусственное оплодотворение.

В целях усовершенствования помощи подобным семьям Совет по научным проблемам Американской медицинской ассоциации предлагает ввести тесты на носительство рецессивных заболеваний среди новорожденных, а также значительно увеличить мощности лабораторий для проведения дородовой диагностики в желаемом масштабе.

Journal of American Medical Association, 1982, v. 248, № 2, p. 221—224 (США).

#### Генетика

### Хромосомная дивергенция севанских форелей

Знаменитая севанская форель образует несколько морфологически и экологически различных форм, отличающихся друг от друга размерами, темпами роста, сроками и местами нереста. Армянские рыбаки отлично различают каждую из этих форм, носящих местные названия: ишхан, гегаркуни, бахтак, боджак. Названия ишхан и гегаркуни были использованы крупным русским ихтиологом прошлого века К. Ф. Кесслером при описании самостоятельных подвидов форелей из Севана.

Поразительная дивергенция форелей в Севане привлекала и привлекает внимание ученых разных поколений. В 1896 г. они стали предметом исследования ихтиолога Ф. Ф. Кавратского; на протяжении всей своей жизни ими интересовался наш

<sup>1</sup> Каждая клетка организма содержит по два гена на каждую метаболическую функцию. Рецессивное заболевание возникает лишь в случае, если дефектны оба гена; если дефектен один ген — наличие гетерозиготное носительство рецессивного заболевания, внешне не проявляющееся.



выдающийся ихтиолог и географ Л. С. Берг; в 1927 г. систематике форелей Севана посвятил свою монографию крупнейший гидробиолог М. А. Фортунатов<sup>1</sup>, описавший еще один самостоятельный подвид — бахтака (или летнего ишхана).

Для эволюционистов проблема дивергенции севанских форелей представляет особый интерес в связи с дискуссиями о роли географической изоляции в видообразовании<sup>2</sup>. Если севанские форели достигли или достигнут в недалеком будущем видового ранга, то это может рассматриваться как свидетельство в пользу возможности симпатрического видообразования, т. е. образования разных видов на одной территории без пространственной изоляции. А пространственная изоляция у разных форм севанских форелей весьма относительна.

На протяжении последних 15 лет процесс формообразования у севанских форелей изучался в Зоологическом институте АН СССР Е. А. Дорофеевой. Еще в 1967 г. она попыталась сравнить кариотипы разных форм, пользуясь методикой анализа хромосомных наборов рыб, к сожалению, недостаточно совершенной в ту пору. Методический прогресс позволил исследователю совместно с Р. Г. Рухляном (Национальный парк «Севан» и Зоологический институт АН АрмССР) получить новые данные, которые говорят о становлении генетической изоляции между разными формами севанских форелей, обеспечиваемой различиями в хромосомных наборах.

Самая крупная из форелей — зимний ишхан — постоянно живет в озере и нерестится на галечниках и мелководьях Севана с ноября по март; у этой формы рыб 80 хромосом, в том числе 16 двулучных (метацентрических). Более мел-

кая форма — гегаркуни — нерестится в устьях рек с сентября по январь и также имеет 80 хромосом, но 18 двулучных. Бахтак, или летний ишхан, нерестится в низовьях рек с мая по июль и имеет 82 хромосомы, в том числе 18 двулучных. Боджак — мелкая озерная форма — нерестится в Севане в октябре и характеризуется изменчивостью хромосомных чисел: 80—82 хромосомы при 16 двулучных элементах.

Пока исследователям еще не удалось применить методов точной идентификации хромосом с помощью дифференциальной окраски — этот метод лишь начинает разрабатываться для хромосом рыб. Поэтому говорить достаточно четко, нет ли здесь случаев гибридизации между разными локальными формами севанских форелей, нельзя. Но уже из того, что получено, ясно, что дивергенция севанских форелей не только затронула размеры и внешний вид, привела к различиям в сезонности и местах размножения, вызвала распадение предкового вида на мигрирующие и немигрирующие стада, но и затронула хромосомные наборы, отличия в которых могут обеспечивать нескрещиваемость разных форм.

Роль генетического видообразования в биологической эволюции (которое индуцируется хромосомными мутациями и ведет к репродуктивной изоляции) оживленно обсуждается в современной литературе. Дальнейшее исследование хромосомных наборов севанских форелей с использованием дифференциальной окраски хромосом позволит установить степень гомологии хромосом разных форм, выявить возможную роль гибридизации и даст новые данные для теории видообразования.

**Н. Н. Воронцов,**  
доктор биологических наук  
Москва

## Идентифицированы мицелиальные грибы из ледников Антарктики

В период работы 20-й, 21-й, 22-й и 25-й советских антарктических экспедиций вблизи станции «Восток» были отобраны асептически — с помощью специально разработанной технологии — образцы ледяного керна из скважин, пробуренных до глубины 320 м. Выделенные из проб льда споры различных микроорганизмов оказались жизнеспособными и при высеве на питательные смеси прорастали. Возраст сохранившихся в состоянии анабиоза микроорганизмов соответствует, таким образом, возрасту исследуемого слоя ледника, который в зависимости от глубины залегания исчисляется от 160 до 12 000 лет.

С. С. Абызов (Институт микробиологии АН СССР, Москва) и Л. А. Белякова (Институт биохимии и физиологии микроорганизмов АН СССР, Пушкино) недавно завершили идентификацию мицелиальных грибов, выделенных из толщи антарктического ледника. Среди них преобладают представители рода *Penicillium* var. *cytoperium*, *P. simplicissimum*, *P. granulatum*, *P. roqueforti*, *P. raxilli*, *P. chrysogenum*, *P. ochrochloron*, *P. lanosum*. Идентифицированы также отдельные виды грибов, относящиеся к другим родам: *Aspergillus versicolor*, *Mucor circinelloides*, *Phialophora bubaki*. Видовой состав мицелиальных грибов из толщи ледника соответствует ассоциации этих грибов, выделенным другими исследователями из снега, грунта, воздуха Антарктиды и прилегающих к ней островов.

По сравнению с видами, живущими в умеренных широтах, у выделенных мицелиальных грибов несколько подавлено спороношение, а ряд других признаков выражен нечетко, что затрудняло идентификацию. Никакой определенной закономерности в распределении мицелиальных грибов ни по количеству, ни по видовому составу в толще ледника по вертикали не обнаружено. Это свидетель-

<sup>1</sup> Фортунатов М. А. Форели Севанского озера. Ч. 1. Систематика. — Тр. Севанской озерной станции, 1927, т. 1, вып. 2.

<sup>2</sup> Тимофеев-Ресовский Н. В., Воронцов Н. Н., Яблоков А. В. Краткий очерк теории эволюции. М., 1969.

<sup>3</sup> Рухлян Р. Г. — Цитология, 1982, т. 14, № 1, с. 66; Дорофеева Е. А., Рухлян Р. Г. — Во р. ихтиологии, 1982, т. 22, вып. 1, с. 36.

ствует о случайном характере попадания микроорганизмов, заносимых воздушными потоками на ледник. Следует, однако, отметить, что в молодых, более близких к поверхности ледника слоях грибы встречаются чаще, чем в более глубоких, древних слоях. Обнаружение мицелиальных грибов в древних слоях свидетельствует о том, что занос этих микроорганизмов воздушными потоками в центральные районы Антарктиды является естественной многовековой закономерностью и что описанные виды грибов существовали на материке и прилегающих островах задолго до появления здесь человека.

Микробиологические исследования толщи вечных ледников наряду с расшифровкой истории расселения микроорганизмов на нашей планете открывают большие перспективы и для изучения интереснейшего явления природы — анабиоза, вопрос о продолжительности которого до сих пор вызывает споры среди ученых.

Известия АН СССР, серия биологическая, 1982, № 3, с. 432—436.

#### Микробиология

### Профилактика диаррей

До момента рождения кишечник новорожденного ребенка или животного не содержит микроорганизмов и является стерильным. Однако после рождения кишечник быстро заселяется множеством различных микробов, среди которых обычно преобладает кишечная палочка. Некоторые виды бактерий, «колонизирующие» кишечник, способны вызывать у маленьких детей расстройства пищеварительного тракта. Лечение таких заболеваний часто наталкивается на большие трудности в связи с тем, что вызывающие их бактерии устойчивы к действию антибиотиков.

Сотрудники лаборатории экологии микробов совместно с группой врачей госпиталя им. А. Беклера (Франция) попытались создать условия, исклю-

чающие возможность заселения кишечника новорожденных патогенными микроорганизмами. С этой целью 22 новорожденным не позднее чем через два часа после рождения ввели специально подобранные штаммы бактерий кишечной палочки, которые не обладали патогенными свойствами и были чувствительны к действию антибиотиков, широко используемых в медицинской практике. Искусственно введенные штаммы быстро размножились в кишечнике и превратились в доминирующую флору.

Было установлено, что различные режимы питания детей на эти бактерии не влияют. Что же касается патогенных бактерий, вызывающих пищевые отравления, то они или совсем не появлялись в кишечнике, или обнаруживались в весьма небольших количествах. В то же время в кишечнике 24 новорожденных, служивших контролем и не получивших искусственно отобранных штаммов кишечной палочки, число патогенных бактерий, вызывающих расстройство кишечника, было весьма велико.

Хотя полученные результаты следует рассматривать как предварительные, они вызывают определенный интерес в плане создания новых способов борьбы с кишечными инфекциями новорожденных.

Annales Microbiologie, 1982, v. 133A, p. 393 (Франция).

#### Физиология

### Попытка получить азотфиксирующие высшие растения

Известно, что высшие растения не могут усваивать азот из атмосферного воздуха; они получают его в виде неорганических солей из почвы или от симбиотических клубеньковых бактерий. Сейчас делаются попытки вывести растения с азотфиксирующей функцией. Для этого искусственно создают симбиотическое сообщество. В качестве одного партнера в таком сообществе используют прото-

пласты высших растений, поскольку именно эти клетки способны давать начало новому растению; кроме того, в протопласты, которые лишены целлюлозной оболочки, могут проникать микроорганизмы. В качестве другого симбионта используют цианобактерии, поскольку эти микроорганизмы удачно сочетают фотосинтез и азотфиксацию.

Физиологи М. Н. Агафодорова, О. И. Баулина, Т. Г. Корженевская, Р. Г. Бутенко и М. В. Гусев (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) установили, что в растворе хлористого кальция (0,05 М) при pH 10,5 на изолированных протопластах табака *Nicotiana tabacum* (сорт Самсун) сорбируется от 90 до 100% клеток (или сферопластов) цианобактерии *Anabaena variabilis*. Ранее подобные эксперименты проводились в растворе полиэтиленгликоля, но при этом сорбировалось не выше 35% клеток цианобактерий. Однако оказалось, что и в тех и в других условиях повреждаются мембраны протопластов и они погибают. Но при снижении pH с 10,5 до 7,5 протопласты и клетки цианобактерий остаются жизнеспособными и в 60% случаев образуют ассоциации.

Авторы показали, что при pH 7,5 и 0,05 М CaCl<sub>2</sub> изолированные протопласты, на (или в) которых сорбированы клетки цианобактерий, восстанавливают клеточную стенку и делятся, образуя колонии. Такие колонии, пересеянные через две недели на питательную среду с агаром, образуют каллус (плотное скопление клеток), в котором через 1,5 месяца развиваются клетки цианобактерий.

Результаты экспериментов, по мнению авторов, показывают, что уже сейчас имеются предпосылки для получения ассоциаций азотфиксирующих цианобактерий на протопластах высшего растения. Выяснение природы (внутри- или внеклеточной) такой ассоциации на ультраструктурном уровне, изучение взаимоотношений цианобактерий *A. variabilis* и клеток табака — задача дальнейших исследований физиологов.

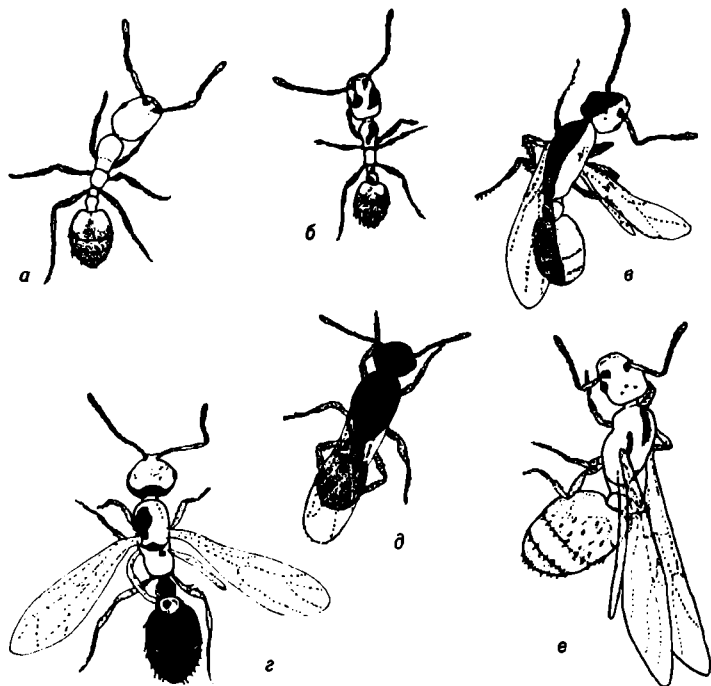
Доклады АН СССР, 1982, т. 265, № 3, с. 758.

## Искусственное выращивание гинандроморфов у муравьев

Гинандроморфизм<sup>1</sup> — частный случай генетической мозаичности, когда клетки разных участков тела имеют различные генотипы; в данном случае они различаются по полу. Гинандроморфы обладают признаками самки в одних частях тела и самца — в других. Особый интерес представляет изучение гинандроморфизма у общественных насекомых, поскольку у них он сочетается с кастовым полиморфизмом и приводит к возникновению совершенно своеобразных форм. Так, у муравьев самка может быть плодовитой (царица) и бесплодной (рабочая особь), причем царицы и рабочие сильно различаются по строению тела, самцы же не разделяются на касты. Поэтому и гинандроморфы у муравьев могут быть двух типов: обычные, представляющие собой мозаику тканей самцов и плодовых самок — цариц, и эргатандроморфы<sup>2</sup>, сочетающие признаки самцов и рабочих самок.

Найти гинандроморфов у муравьев — дело редкого случая. Но вот недавно энтомологи из ГДР К. Берндт (К.-Р. Berndt) и Г. Кремер (G. Kremer) разработали простой и эффективный способ получения гинандроморфов у фараонова муравья<sup>3</sup> (*Mopolotium pharaonis*) — обычного объекта исследований во многих лабораториях мира.

Муравьев подвергали воздействию высокой температуры (54° С) в течение 15—80 мин в термостате. При такой температуре муравьи почти сразу погибали, если в садке не было



Гинандроморфы и эргатандроморфы у фараонова муравья: а — нормальный рабочий муравей, б — эргатандроморф (рабочий с пятнами темной кутикулы, характерной для самца), в — классический «половинный» гинандроморф (левая половина тела — самца, правая — самки), г — обычный гинандроморф с мозаикой признаков самца (темный цвет) и самки (светлый), д — нормальный самец, е — нормальная самка (царица).

обильно смачиваемой водой поверхности (фильтровальной бумаги), на которую они быстро переносили личинок и где оставались во время теплового воздействия. Выжили лишь те муравьи и личинки, которые могли охлаждаться за счет испарения воды с влажной поверхности. При содержании выживших после теплового шока муравьев при 28° С наблюдалось появление большого числа гинандроморфов — до 18% среди развивающихся личинок. Интересно, что обычное воздействие высоких температур без доступа к влажной поверхности, а также

содержание после теплового шока при температуре ниже +20° С вообще не приводило к появлению гинандроморфов. Оптимальная длительность теплового шока для получения максимального количества гинандроморфов — 60—80 мин.

Чтобы получить настоящих гинандроморфов, необходимо сразу же после теплового воздействия удалить из группы плодовитую царицу — в противном случае развиваются эргатандроморфы. Таким методом Берндту и Кремеру удалось за два года вырастить около 3000 эргатандроморфов и около 700 гинандроморфов.

Изучение гинандроморфов и эргатандроморфов с точки зрения морфологии, физиологии, генетики и поведения представляет огромный научный интерес. Теперь это становится вполне реальным благодаря найденному методу целенаправленного выращивания таких форм. Берндт уже начал изучать поведение гинандроморфов и эргатандроморфов при социальных взаимоотношениях с другими муравьями в колонии. Он уста-

<sup>1</sup> От греч. *gyné* — женщина и *andros* — мужчина.

<sup>2</sup> От греч. *ergate* — рабочий и *andros* — мужчина.

<sup>3</sup> Berndt K.-P., Kremer G.— *Experientia*, 1982, v. 38, p. 798.

новил<sup>4</sup>, что поведение тех эргатандроморфов, у которых имеются лишь небольшие участки тела с признаками самца, не отличается от поведения нормальных рабочих. Поскольку участки самцовой кутикулы имеют темный цвет, такие насекомые оказываются мечеными естественным путем и очень хорошо заметны, причем эта метка, в отличие от наносимой экспериментатором, не может исчезнуть. Берндт рекомендует поэтому использовать при наблюдениях за поведением фараоновых муравьев именно таких генетически меченых особей, метод получения которых хорошо налажен.

**В. Е. Кипятков,**  
кандидат биологических наук  
Ленинград

#### Биология

### Малярия у ящериц

Американские ученые Дж. Скалл (Jos. J. Schall; Вермонтский университет), А. Беннет и Р. Патхэм (A. F. Bennett, R. W. Putham; Калифорнийский университет) изучали роль паразитарных инфекций в экологии животных на примере ящериц вида *Sceloporus occidentalis* в Северной Калифорнии, которые часто подвергаются воздействию паразита *Plasmodium mexicanum*, вызывающего малярию.

При анализе распространенности заболевания малярией у этих ящериц обнаружилось, что ею заражено около 25% взрослых особей. Считается, что малярия у ящериц — относительно безобидная инфекция, однако исследование крови больных животных показало, что содержание в ней гемоглобина примерно на 25% ниже, а количество незрелых эритроцитов в 30 раз выше, чем у здоровых особей, что свидетельствует о ярко выраженной анемии. Следствием анемии является снижение способности крови больных животных насыщаться

кислородом и преобладание в обмене веществ анаэробных процессов.

Физическая активность больных животных также оказалась сниженной. В качестве показателей активности поведения ящериц авторы выбрали такие параметры, как «стартовая скорость» (расстояние, преодолеваемое животными за первые 1—2 секунды бега) и способность к длительному бегу (дистанция, пробегаемая за 30 секунд и 2 минуты). Было установлено, что инфекция практически не влияет на стартовую скорость, зато способность к длительному бегу, или «двигательная сила», была значительно более высокой у незараженных животных. Поскольку ящерицы редко бывают вынуждены быстро бегать дольше нескольких секунд, даже скрываясь от хищника, экологическое значение этого показателя, по мнению исследователей, невелико. Более важным для выживания является сохранение животными способности быстро исчезать в случае опасности.

Влияние малярийной инфекции на организм ящериц не ограничивается развитием анемии. Обнаружено, что у больных животных нарушается также жировой обмен, частично редуцируются половые железы и репродуктивная способность в целом снижается на 20—25%.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что малярийный паразит оказывает существенное влияние на физиологию и поведение изученного вида ящериц.

Science, 1982, v. 217, № 4564, p. 1057—1059 (США).



Охрана природы

### Африканские слоны: их настоящее и будущее

Слоны обитают на территории 34 африканских государств, расположенных южнее Сахары: площадь их ареала более 7 млн. км<sup>2</sup>. Перепись, проведенная в 1975—1980 гг. по инициативе Международного

союза охраны природы и природных ресурсов, показала, что в саваннах восточной и южной Африки их насчитывается около 600 тыс., в других районах, включающих экваториальные тропические леса, по приблизительным оценкам, живет от 500 до 3 млн слонов. Таким образом, поголовье африканских слонов достигает по крайней мере 1,1 млн особей.

По мнению специалистов, прямой угрозы исчезновения африканского слона сейчас нет. Однако нельзя оставлять без внимания неизменную тенденцию к сокращению их поголовья почти во всех странах. Исключение составляет Зимбабве, где численность слонов с начала века возросла с 10 до 47 тыс., но величина здешней популяции никогда не играла существенной роли в общей картине. В то же время из 20 тыс. слонов, населявших 10 лет назад Уганду, ныне осталось не более 2 тыс. Неуклонное уменьшение числа слонов заставляет проявлять беспокойство прежде, чем это могучее животное постигнет судьба бизонов, 70 млн которых паслись в американских прериях еще в XIX в., или полностью исчезнувших ныне странствующих голубей, численность которых в прошлом веке достигала сотен миллионов.

Уничтожению слонов способствует высокая цена слоновой кости, самыми крупными покупателями которой являются Гонконг и Япония. В 1976 г. общее число импортированных из Африки слоновых бивней превышало 100 тыс.; к 1980 г. их число снизилось до 70 тыс. По оценкам, для получения такого количества бивней было убито в 1976 г. 54 тыс., а в 1980 г. — 37 тыс. животных. Самые тяжелые потери понесла популяция слонов в Уганде — 90%.

Помимо браконьерства, существенную роль играют и другие факторы. По данным специалистов, ареал слонов в Африке ежегодно уменьшается на 2%, уступая место пахоту и выпасам скота. Это послужило причиной сокращения численности слонов за последние 30 лет на 20%. Если такой процесс продолжится, поголовье слонов

<sup>4</sup> Berndt K.-P. — Biol. Rdsch., 1982, В. 20, S. 298.

ежегодно будет снижаться по меньшей мере на 20 тыс.

В Руанде последние слоны саванн были перебиты в 1975 г. по распоряжению властей, мотивированному тем, что в перенаселенной стране нет места для их обитания. В Кении существенное сокращение ареала слонов вызвано широким развитием туризма, строительством дорог и отелей; вкуче с браконьерством и семилетней жестокой засухой это привело к потере более половины популяции. Лучшее положение сложилось в Малави, Ботсване и особенно в Зимбабве, Южной Африке и Заире, где экспорт слоновой кости полностью запрещен. Этот товар все еще в больших масштабах вывозится из Камеруна, Центральноафриканской Республики, Чада, Конго и Габона: 60% слоновой кости, обследованной в Гонконге, принадлежало лесному слону (*Loxodonta africana cyclotis*), который в основном встречается именно в этих странах.

Международные природоохранительные организации призывают власти африканских стран принять более действенные меры против падения численности слонов. Национальные парки, резерваты должны лучше охраняться от браконьеров и получить более квалифицированный персонал. Во многих случаях расширение сельскохозяйственных территорий может осуществляться без ущерба для местных популяций слона. Странам-импортерам слоновой кости, присоединившимся к Конвенции о международной торговле представителями фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения, необходимо принять эффективные меры для контроля за поступлением этого товара только по законным каналам.

*Ambio*, 1982, v. XI, № 4, p. 202—205 (Швеция).

#### Охрана природы

### Комплексный контроль нефтяных загрязнений

В 1976 и 1977 гг. в районе банки Нефтяные камни на Каспийском море проводились

эксперименты по изучению с воздуха загрязненности морской поверхности нефтепродуктами. В этих экспериментах использовались одновременно активные и пассивные средства зондирования — радиолокационная станция «Торос» на самолете АН-24 и многочастотный радиотеплолокационный комплекс на борту самолета-лаборатории ИЛ-18. С помощью радиолокационной съемки в сантиметровом диапазоне (полеты проводились на высоте 1500 м) удалось построить карты-схемы, на которых отчетливо выделяются загрязненные участки моря и чистая поверхность. Результаты радиотепловых экспериментов (полеты на высоте 200 м) представляются в виде карт-схем, где содержится информация о радиояркостной температуре при различных метеоусловиях.

Сотрудники Института космических исследований АН СССР обработали данные экспериментов на Каспии. Анализ радиолокационных и радиотепловых карт говорит о наличии сложной внутренней структуры нефтяного поля. В нем существуют по крайней мере три зоны: относительно стабильное «горячее» ядро, площадь которого составляет примерно 4% общей площади поля (здесь сконцентрировано около десяти части нефти и, вероятно, локализован сам источник загрязнения); по мере удаления от ядра в направлении действия ветра и волнения наблюдается вторая зона — с быстрым спадом толщины нефтяной пленки; затем следует третья зона — «плато», занимающее 70% общего поля, с медленным изменением толщины пленки. В зоне «плато» сконцентрировано более 52% общей массы нефти.

Таким образом, одновременные радиолокационные и радиотепловые исследования позволяют изучать как общую динамику загрязнения моря, так и внутреннюю структуру нефтяных полей. В итоге легче обнаружить место расположения источника загрязнений и оценить общий объем разлитой нефти.

Водные ресурсы, 1983, № 1  
с. 154—162.



### Экологические последствия использования драг

Очередной обзор литературы, подготовленный Объединенным комитетом по разработке научных критериев качества окружающей среды при Национальном научно-исследовательском совете Канады, посвящен влиянию на водные экосистемы землечерпальных работ, проводимых с целью добычи полезных ископаемых и обеспечения судоходства в реках, озерах и прибрежных морских зонах. Объем таких работ в Канаде довольно велик: за год со дна водоемов извлекается около 19,6 млн м<sup>3</sup> грунта. При этом драгирование ведет к ряду неблагоприятных последствий: разрушению прибрежных зон водоемов, повреждению водных экосистем.

Малышки рыб и другие мелкие обитатели водоемов, особенно многочисленные на мелководьях, попадают в драги вместе с грунтом и погибают. Так, в бункере одной из драг, использовавшейся для очистки дна в низовьях р. Фрейзер, при подсчете количества попавших с грунтом беспозвоночных и мальков рыб было обнаружено: 98 384 талейхтов (рыбы из семейства корюшковых), 74 074 тихоокеанских песчанок, 26 598 креветок, 15 730 экземпляров кеты, 9438 камбал, 9152 лосося, 6006 налимов, 2860 крабов, 572 осетра, 286 мерлуз.

К вредным последствиям землечерпальных работ относится также загрязнение воды илом и грунтовыми породами, которые насыщены осевшими на дно токсичными химическими веществами, в том числе солями тяжелых металлов, фосфорорганическими и хлорорганическими соединениями, попавшими в водоемы со сточными водами и в результате использования пестицидов и удобрений. В экспериментальных условиях был изучен токсический эффект взвесей ила, взятого с одного из участков проведения землечерпальных работ, на лососей вида *Oncorhynchus nerca*. Оказалось, что

ил в концентрации 1—2% вызывает стопроцентную гибель рыбы за 15—25 мин. По данным некоторых авторов, в зоне работы драги радиусом до 40 м наблюдается массовая гибель рыбы и беспозвоночных жителей водоемов.

Недостаточная изученность этого вопроса не позволяет в полной мере оценить ущерб, наносимый водным экосистемам драгами и другими землечерпальными устройствами.

National Research Council Canada, 1982, Publications № 18130 (Канада).



Экология

## Метан в окружающей среде

Присутствие метана как постоянного компонента атмосферы было установлено более 30 лет назад. Хотя метан дает очень небольшой вклад в цикл углерода, он крайне важен для химии атмосферы. Считается, что основным путем его превращений является реакция с гидроксильными радикалами ( $\text{OH}^-$ ) в нижней тропосфере. Ряд оценок продукции метана был сделан в последние годы Д. Х. Эхальтом (D. H. Ehhalt, ФРГ) на основе литературных данных. Американские исследователи Дж. Шепард, Х. Вестберг, Дж. Хоппер, К. Ганезан, П. Циммерман (J. C. Sheppard, H. Westberg, J. F. Hopper, K. Ganesan, P. Zimmerman) подчитали новый глобальный баланс продукции метана, исходя из экспериментальных данных П. Циммермана.

По собственной оценке авторов, ошибка их определения для разных экосистем составляла 20—60% со средним значением 30%, что объясняется значительным варьированием потоков метана в зависимости от условий. Так, для болот эти значения меняются на два порядка. Поскольку продукция метана существенно зависит от температуры и влажности, было сделано допущение, что сезонный ход продукции метана

Таблица

### Продукция метана в разных экосистемах

Экосистема	Площадь, $10^{12}$ м <sup>2</sup>	Эмиссия метана, $10^{14}$ г/год
Тропический дождевой лес	13,5	3,17
Тропический сезонный лес	6,0	0,8
Умеренный смешанный лес	9,0	0,79
Бореальный лес	11,3	0,62
Степи, саванны	18,8	1,37
Луга	10,8	0,15
Тундры	8,8	0,07
Пустыня	19,5	0,08
Болота	2,0	0,39
Озера	2,0	0,51
Скалы, льды	24,0	0,0
Океан	332	0,04
Шельф	26,6	0,003
Рифы	0,6	0,04
Эстуарии	1,4	0,06
Культурные земли	13,6	0,34
Рисовые поля	1,4	0,39
<b>Всего из естественных экосистем</b>		<b>9,10</b>
<b>Животные, люди</b>		<b>0,9</b>
<b>Сжигание биомассы</b>		<b>0,6</b>
<b>Органические отходы</b>		<b>0,5</b>
<b>Всего биогенного метана</b>		<b>11,1</b>
<b>Ископаемый метан из разных источников</b>		<b>1,0</b>
<b>Всего (глобальная продукция метана)</b>		<b>12,0</b>

следует сезонному ходу первичной продукции фотосинтеза. Рассчитанные авторами потоки метана из разных экосистем представлены в таблице. Из приведенных в ней данных видно, что антропогенные потоки составляют лишь около 10% от общей биогенной продукции в естественных экосистемах, однако следует учитывать, что эти данные относятся к метану, ускользающему в атмосферу. Во многих водных экосистемах метан эффективно используется метанооксиляющими бактериями и поэтому до атмосферы не доходит. Общая биогенная продукция метана, за которую отвечает высокоспециализированная группа метановых бактерий, может быть заметно выше для ряда экосистем.

Согласно заключению американских исследователей, более 1/3 годовой эмиссии метана в атмосферу составляет метан, поступающий из лесных

экосистем. Этот вывод является неожиданным.

Journal of Geophysical Research, 1982, v. 87, № C2, p. 1305—1312 (США).

Океанология

## Спрединг и полосовые магнитные аномалии в океанах

Представления о формировании современных океанов, происходящем на протяжении последних 160 млн лет, во многом опираются на гипотезу последовательного расширения океанического дна (спрединга). При этом существенное значение придается магнитометрическим исследованиям: после того как в 1963 г. Ф. Вайн и Д. Метьюз указали на существ-



вание линейных полосовых магнитных аномалий вдоль срединно-океанических хребтов, такие же аномалии были выделены и над обширными пространствами других областей океанов.

В концепции тектоники литосферных плит наращивание новых участков океанического ложа и соответствующих им полосовых магнитных аномалий происходит в узкой осевой зоне срединно-океанических хребтов. В стороны от этой зоны новообразованные участки океанического ложа и полосовые аномалии отодвигаются с некоторой переменной скоростью, но непрерывно, подобно транспортной ленте. Такие представления, как полагают А. В. Пейве и А. А. Савельев (Геологический институт АН СССР), полностью объясняют ряд важных геологических явлений либо требуют специальных допущений.

Авторы обращают внимание на то, что полосовые аномалии приурочены к тем участкам дна, которые сформированы в эпохи спада тектонической активности на Земле. Эпохам ее повышения, сопровождавшимся обширными поднятиями дна и покровными излияниями базальтов, соответствуют перерывы в образовании аномалий и (или) их пространственная переориентировка. Опираясь на эти наблюдения, авторы подчеркивают, что спрединг протекает в отчетливо выраженном пульсирующем режиме тектонической активности. В истории формирования современных океанов было несколько таких пульсаций, соответствующих определенным фазам термально-тектонической активности на континентах.

В периоды тектонической активности, вызванной приближением к поверхности дна высоконагретой мантии, поверхностный слой быстро расплазился в горизонтальном направлении, передавая часть своего движения окружающим областям, в том числе — материкам. Это расплавление дна сопровождалось обширными его поднятиями, излияниями базальтов на значительных площадях и — как следствие всего — разрушением в породах оке-

анической коры предшествующей намагниченности и (или) образованием новой, но однородной, не создающей контрастных полосовых аномалий.

В периоды спада тектонической активности спрединг затухал в связи с уменьшением подтока высоконагретой мантии; снижался теплопоток и нарастала вязкость пород в поверхностном слое — от периферии к центральной части ранее активной области. Одновременно сокращались интенсивность и площади излияния базальтов, шло общее опускание дна и преобладающими становились вертикальные, блоково-волновые движения коры. По мере сокращения площади термально-тектонической активности от периферии к центру (оси) ранее активной области все новые и новые участки ее коры с новообразованной намагниченностью как бы вмораживались в малоподвижную кору и, причленяясь к ней, формировали последовательный ряд полосовых магнитных аномалий.

Общее погружение дна океанов за последние 40 млн лет и приуроченность термально-тектонической активности к приосевой зоне срединно-океанических хребтов характеризуют, по мнению авторов, конечный этап стадии затухания спрединга.

Геотектоника, 1982, № 6, с. 5—24.

#### Океанология

### Необычное течение в Черном море

Летом 1981 г. участники черноморской экспедиции, проводившейся на экспедиционном судне «Муксун» Морского гидрофизического института АН УССР, наблюдали в западной части Черного моря, недалеко от мыса Калиакра, весьма необычное течение.

Судно совершало переход из порта Варна к центральному сектору шельфовой зоны северо-западного региона Черного моря при слабом ветре и волнении, не превышавшем 1—2 баллов. На рас-

стоянии 10—15 км к востоку от мыса Калиакра нами было замечено небольшое отклонение от проложенного курса, позволившее установить, что судно вошло в струю течения. Ширина струи оказалась около 5—6 км. Вид морской поверхности был удивительным: течение состояло из большого числа узких (шириной 20—30 м) полос мутновато-зеленоватой воды, чередующихся со столь же узкими полосами более прозрачной вод глубокого зелено-голубого оттенка. Полосы были ориентированы с севера на юг, что соответствовало основному переносу вод в этом районе. Сколько-нибудь четких границ между соседними полосами не наблюдалось, цветовые переходы были размытыми, хотя различия в цвете, а особенно в мутности центральных участков каждой из соседних полос были очень заметными.

Температура воды в чередующихся струях различалась на несколько десятых градуса, а соленость — на несколько промилле (даже на вкус можно было различить, что в некоторых пробах вода почти пресная — и это в открытом море!). Одновременное изменение температуры и солености показывает, что наблюдавшееся течение является своеобразной термохалинной<sup>1</sup> структурой, обязанной своим происхождением пресноводному речному стоку. Мощностю последнего в северо-западном регионе очень велика и составляет около 3/4 всего речного стока в Черное море, поэтому гидрологическая структура здесь отличается пониженной соленостью по сравнению с другими областями, причем распределение воды с соленостью менее 10—12‰<sub>00</sub> летом занимают приповерхностный слой моря (обычно до глубин порядка 10—15 м), а ниже располагаются более плотные и более соленые (до 16—18‰<sub>00</sub>) воды основной поверхностной водной массы. Таким образом, необычным здесь ока-

<sup>1</sup> От термо- и греч. ἅλς (хальс) — соль. Расслоение водных масс, обусловленное различиями их температуры и солености.

залось то, что переслоенность морской воды, проявляющаяся, как правило, в вертикальном направлении, в данном случае проявлялась по горизонтали.

Представляется справедливым высказанное К. Н. Федоровым мнение о том, что наблюдавшиеся нами полосы могли быть так называемыми ячейками Ленгмюра. Однако это не были обычные ленгмюровские полосы, возникающие, как правило, при усилении скорости ветра до 4—5 баллов в результате взаимодействия дрейфового течения с поверхностными волнами. Такие ячейки Ленгмюра (назовем их ветро-волновыми) характеризуются появлением сликовых полос, вытянутых по ветру, скоплением мелкого мусора, водорослей, пены и т. п. в параллельных друг другу полосах конвергенции, ориентированных вдоль ветра. В нашем случае ориентация полос была связана совершенно явно не с ветром, а с течением, сликовых полос и водорослевых «цепочек» не наблюдалось. Наконец, скорость ветра была заметно ниже той, при которой возникают ветро-волновые ленгмюровские ячейки.

В последние годы океанографы обнаружили многочисленные разновидности неизвестных ранее механизмов, приводящих к формированию различных термохалинных структур, таких как ламины, интрузии, микроскачки и инверсии температуры, солености и плотности. Мы узнали о «солевых пальцах», «ископаемой турбулентности», волно-вихревой турбулентности, «двойной диффузии» и т. п.<sup>2</sup> Обнаруженное в Черном море «полосатое» течение наводит на мысль о том, что этот перечень новых явлений еще далеко не исчерпан. Вероятно, «полосатое» термохалинное течение со столь резкими контрастами температуры, солености, а также оптических характеристик, представляет собой достаточно редкий, если не уникальный феномен (в противном случае в литературе уже было бы не одно сообщение о

таких наблюдениях). Тем не менее можно предположить, что аналогичные термохалинные полосчатые структуры, только менее контрастные, могут встречаться и в других областях Мирового океана.

**Г. Н. Христофоров,**  
кандидат  
физико-математических наук  
Севастополь

#### Палеоокеанология

### Казахстанско-Сибирский ископаемый океан

Существует мнение, что океаны на Земле появились не так давно — в конце палеозойской эры, т. е. около 300 млн лет назад или меньше. Но большинство геологов находят признаки образования океанов в очень далекие геологические времена.

Убедительные доводы в пользу существования океана 650—550 млн лет назад там, где ныне находятся Казахстанская складчатая страна, Западно-Сибирская плита и горы юга Сибири, привели А. А. Моссаковский и А. Б. Дергунов (Геологический институт АН СССР). Этот Казахстанско-Сибирский океанический бассейн в поперечнике занимал 1600—2000 км (подобно Северной Плататлантике, существовавшей примерно в то же время). Он представлял собой глубоководную впадину со слабо расчлененным рельефом, которая на юге открывалась в обширный Центрально-Азиатский палеоокеан. С запада, севера и востока бассейн окаймляли древние континентальные окраины, похожие по строению на современные.

Казахстанско-Сибирский океан имел субстрат, состоящий из ультраосновных, основных и других пород, типичных для мантии и нижних частей земной коры нынешних океанов. На этом субстрате в вендское — раннекембрийское время формировались такие же толентовые базальты, какие характерны для последнего периода геоло-

логической истории, а также толщи кремнистых пород, отлагавшихся, по данным авторов, в глубоководных условиях. Кремнистые породы состоят из яшм, фтанитов, радиоларитов и кремнистых сланцев. Все упомянутые породы — от ультраосновных до кремнистых — вследствие более поздних тектонических движений оказались сильнее всего деформированными, разбитыми надвигами, по которым отдельные пластины земной коры смещены друг относительно друга, образуя запутанные по строению тектонические ансамбли. Породы субстрата выжимались по разломам и крошились и теперь присутствуют лишь в виде пестрых по составу смесей отдельных кусков и истертого материала. В связи с этим расщифровка первичной структуры бассейна требует специальной методики и больших усилий.

Первоначально простое строение Казахстанско-Сибирского палеоокеана в середине кембрийского периода начало усложняться. Он распался на два продольных частных бассейна, а затем в ряде мест начал формироваться гранитно-метаморфический слой. В позднесилурийскую эпоху складчатости (около 400 млн лет назад) от Казахстанско-Сибирского океана уже ничего не осталось и на его месте образовались крупные континентальные массивы Центрального Казахстана, Южной Сибири и Монголии. Геотектоника, 1983, № 2, с. 16—33.

#### Палеонтология

### «Биологические часы» в верхнем докембрии!

О возможности использовать остатки некоторых организмов (кораллов, брахиопод и др.) в качестве своеобразных «часов» прошлых эпох уже сообщалось<sup>1</sup>. Американские ис-

<sup>2</sup> Федорова К. Н. Тонкая термохалинная структура вод океана. Л., 1976.

<sup>1</sup> См.: Кузьмичева Е. И. Кораллы как «геологические часы». — Природа, 1982, № 10, с. 18.

следователи Дж. Ваньо (J. P. Vanuо) и С. Аврамик (S. M. Awramik) из Университета штата Калифорния (Санта-Барбара) попытались применить подобный подход к некоторым столбчатым верхнерифейским строматолитам из формации Биттер Спрингс (Центральная Австралия), имеющим возраст около 850 млн лет.

Строматолиты — скорлуповатые слоистые структуры, образующиеся в результате жизнедеятельности колоний низших организмов, преимущественно синезеленых водорослей и бактерий. Природа строматолитовой слоистости и закономерности их роста не выяснены до конца, но многие исследователи склонны считать эту слоистость суточной, т. е. связанной с различными условиями роста водорослей в течение дня и ночи.

Среди строматолитов формации Биттер Спрингс найдены относительно тонкие (5—20 мм) волнисто изогнутые строматолитовые столбики, сложенные выпуклыми слоями толщиной от 0,1 до 1,0 мм. Авторы предположили, что закономерная волнообразная изогнутость столбиков обусловлена относительным положением Солнца в разные времена года. Применение точных палеомагнитных методов и соответствующих расчетов показало, что наклон земной оси в верхнем рифее был близок к современному и составлял около 20°. Если считать, что слои в «годичных» отрезках строматолитовых столбиков являются суточными, то среднее их число может показать число дней в году. Проведенные подсчеты в четырех образцах верхнерифейских строматолитов из Центральной Австралии дали следующие результаты: 376, 417, 446 и 400. Следовательно, если исходные предположения верны, то 850 млн лет назад год продолжался немногим более 410 суток. Напомним, что аналогичные подсчеты по кораллам для среднего девона (360 млн лет назад) показали, что в ту эпоху год длился 385—410 суток.

Авторы считают, что их выводы сугубо предварительны и нуждаются в проверке в различных частях Земли

с соблюдением четырех строгих правил: точная ориентировка собранных образцов; достаточное количество образцов для статистической обработки; достаточная длина столбиков (не менее полугодовой волны); детальные палеомагнитные исследования, показывающие точное направление палеомеридиана во время роста строматолитов.

Geophysical Research Letters, 1982, v. 9, № 10, p. 1125—1128 (США).

#### Вулканология

### Реконструкция истории камчатских вулканов

Группа специалистов Института вулканологии ДВНЦ АН СССР, проведя обширные тефрохронологические исследования<sup>1</sup> с использованием метода радиоуглеродного датирования, реконструировала историю нескольких действующих вулканов с момента их возникновения.

Вулкан Малый Семячик, например, действовал в пульсационно-циклическом режиме в течение последних 20 тыс. лет. Три его конуса сформировались последовательно 20—11,5; 11—8 и 7,4—0 тыс. лет назад. В каждый из циклов длительностью по 3—3,5 тыс. лет возникали конусы объемом по 4,5 км<sup>3</sup>.

История вулкана Карымского прослежена начиная с образования его кальдеры 8 тыс. лет назад. Современный вулканический конус начал расти 5,3 тыс. лет назад.

В истории Толбачикской группы вулканов выделены два этапа (10—2 тыс. лет назад и от 2 тыс. лет назад по настоящее время), отличающихся по характеру вулканических проявлений, распределению центров извержений и интенсивности в выносе вещества.

В пределах восточной вулканической зоны Камчатки выделены и датированы главные маркирующие горизонты тefры голоценового возраста. Пеплы крупнейших взрывных извержений разного минерального состава (андезитового и дацитового) прослежены на расстояниях до 300 км от центров извержения.

Маркирующие горизонты пеплов голоценового возраста используются как стратиграфические реперы при датировании голоценовых вулканитов, ледниковых форм рельефа, сейсмотектонических обвалов и археологических стоянок.

XI Конгресс ИНКВА (Международный союз по изучению четвертичного периода; INQUA — International Union for Quaternary Research). Тезисы докладов, т. 1. М., 1982, с. 39—40.

#### Метеорология

### Температура воздуха на Южном полюсе

Национальный научный фонд США сообщил, что зимовщики, работающие на Южном полюсе, зарегистрировали здесь самую низкую температуру воздуха за весь период наблюдений: — 83°С. Эта ледяная температура была отмечена при безоблачном небе и слабом ветре 23 июня 1982 г. на станции Амундсен-Скотт. Ранее температурный «рекорд» этой станции, расположенной на географическом Южном полюсе, приходился на июль 1965 г. и был равен — 81°С.

Однако столь низкие температуры — еще не предел для Антарктического материка: 24 августа, 1960 г. на советской станции «Восток» было зарегистрировано — 88,3°С.

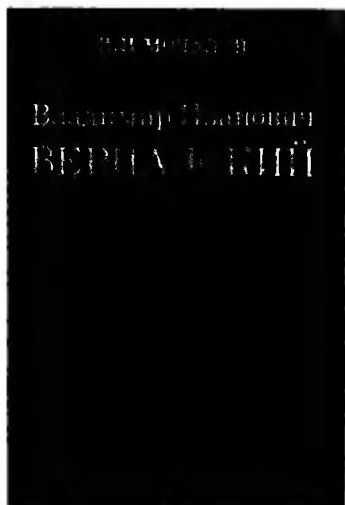
Bulletin of American Meteorological Society, 1982, v. 63, № 12, p. 1439 (США).

<sup>1</sup> Тefра (от греч. tephra — пепел, зола) — выбросы рыхлого материала при извержении; тефрохронологические исследования — исследования возраста отложений, содержащих тefру.



## Жизнь и творчество В. И. Вернадского

Е. Д. Никитин,  
кандидат биологических наук  
П. В. Смирнов,  
кандидат философских наук  
Москва



И. И. Мочалов. ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ ВЕРНАДСКИЙ (1863—1945). М.: Наука, Научно-биографическая сер., 1982, 488 с.

Без преувеличения можно сказать, что научное наследие Владимира Ивановича Вернадского необъятно и непреходяще. Оно поражает любого исследователя, и невольно возникает вопрос: как одному человеку удалось поднять такие глыбы, взойти на такие вершины, многие из которых до сих пор остаются не покоренными человеческим разумом.

Время не просто сохранило прижизненный высокий авторитет Вернадского, но раскрыло в оставленном им наследии много таких моментов, которые оказались первостепенно значимыми для всего научно-технического развития наших дней и которые были тем не менее либо непонятными, либо вовсе не замеченными его современниками.

Обращение к творчеству Вернадского в таких условиях становится насущной потребностью дальнейшего развития не только истории, но и теории науки.

Многие годы кропотливо и напряженно исследует творчество великого русского ученого доктор философских наук И. И. Мочалов<sup>1</sup>. И вот перед нами результат его вдумчивого труда — первая достаточно полная научная биография Вернадского. Дело в том, что до сих пор в литературе отражалась, как правило, одна какая-то сторона его жизни: или биографическая, или научная. Феномен же Вернадского невозможно понять без взаимосвязанного параллельного рассмотрения его научных открытий и соответствующих этапов жизненного пути.

Собственно жизнеописательная составляющая книги исполнена И. И. Мочаловым с подлинным знанием личности Владимира Ивановича как человека со сложной судьбой, жившего в удивительно напряженное время, наполненное эпохальными событиями.

Еще в 1915 г., принимая близко к сердцу тяжелое экономическое положение страны, Вернадский с группой ученых-патриотов создал Комиссию по

изучению естественных производительных сил России (КЕПС) и возглавил ее. Однако только после Великой Октябрьской социалистической революции по-настоящему могли выявиться его колоссальная активность, его организаторские таланты. Он с успехом продолжает руководить работой КЕПС, организует Академию наук на Украине и становится первым ее президентом, создает и возглавляет Радинский институт.

Сегодня мы имеем все основания благодарно вспомнить, что многолетние труды Вернадского и его учеников в области изучения урановых месторождений, свойств урановых руд способствовали тому, что наша страна сумела достойно ответить на атомный вызов милитаристов США.

Великими были не только события, формировавшие личность ученого. Великими были и люди, жившие в то время и непосредственно влиявшие на его миропонимание и образ жизни. Особое место среди них принадлежит, конечно, основоположнику генетического почвоведения Василию Васильевичу Докучаеву, под прямым воздействием которого сложилось научное кредо Вернадского. Далеко не всем известно, что Вернадский начинал свою деятельность в науке как почвовед. Больше того, И. И. Мочалов убедительно показывает, что влиянием творческого метода Докучаева можно во многом объяснить органически присущий Вернадскому генетический и динамический взгляд на природу в целом и на отдельные ее явления. Развивая эту мысль, автор книги пишет: «...точно так же, как для почвоведения Докучаева базисным объектом послужил русский чернозем, так для биогеохимии и учения о биосфере Вернадского таким объектом стала почва» (с. 64).

Вторая главная составляющая монографии — анализ

<sup>1</sup> См., напр.: Мочалов И. И. В. И. Вернадский — человек и мыслитель. М., 1970. Рецензия: Одынец А.— Природа, 1971, № 2, с. 110.

самих трудов ученого, выполненный, на наш взгляд, на высоком профессиональном уровне. Хотелось бы, однако, чтобы некоторые основополагающие труды ученого были рассмотрены более основательно. Это касается, прежде всего, книги «Биосфера» (1926), которая, несомненно, занимает особое место среди других прижизненных публикаций ученого. П и переиздании труда И. И. Мочалова (со временем это необходимо сделать, поскольку тираж книги мал) потребуются также пополнить списки трудов Вернадского философскими его работами, такими как «Размышления натуралиста», что, конечно, предполагает и специальный их анализ.

В рассматриваемой книге отчетливо выражены подходы великого ученого к реализации одной из фундаментальных проблем — синтезу накопленного знания с целью построения объективной научной картины мира в целом. Автору удалось убедительно показать, что эта задача являлась лейтмотивом всего жизненного пути и творчества Вернадского. Наиболее ярко она была развернута в учении о биосфере ноосфере.

Другим важным аспектом книги является полноценное освещение забот Вернадского о развитии конкретных областей естествознания, повышении их отдачи народному хозяйству. Эти заботы и проекты ученого актуальны и сегодня, их необходимо использовать при усилении исследований в целом ряде наук — геохимии и минералогии, биогеохимии и экологии, почвоведении и т. д. Особое внимание следует обратить на отношение Вернадского к почвоведению и его главному объекту — почве.

Существует немало других познавательных высот, покорение которых прямо-таки «предусмотрено» теоретическим наследием Вернадского. Возьмем понятие «живое вещество». Как ученый-новатор, В. И. Вернадский особенно часто сталкивался с терминологическими трудностями: выразить качественно новое в старой терминологии принципиально невозможно. Ему приходилось

создавать новую терминологию. Это особый и большой разговор. Здесь обратим только внимание на термин «живое вещество», который можно рассматривать как результат поисков биологического эквивалента системному понятию «целого» и который послужил своего рода противовесом чрезмерно индивидуализированному и статичному восприятию биологических объектов.

Остановимся на еще одном принципиальном понятии, введенном Владимиром Ивановичем, — понятие «ноосфера». Ноосфера — это синтез «исторического и природного процессов»; это — становление деятельности человека непосредственно планетарным, «небывалым по мощности и глубине» процессом (с. 382); это «проявление нашей планеты как целого, которое выразится в уничтожении войн, с одной стороны, и, с другой — в направлении социального строя на научное искание, как основной задачи» (с. 382); это, наконец, превращение «области жизни — биосферы в царство ума» (с. 353). «Мы живем, — прозорливо писал Вернадский, — в замечательное геологическое время в истории нашей планеты — антропогенной эре... когда стихийно человек... неуклонно становится геологической силой, меняющей лик нашей планеты: От нас зависит сделать стихийный процесс сознательным...» (с. 353).

В отличие от понятия «живое вещество», стимулирующего поиски биологических форм массы, энергии их взаимодействия, понятие «ноосфера» ориентирует на исследование функций Разума — высшего вида фундаментального свойства природы — свойства отражения, информации, а равно и на исследование функций других ее эволюционных форм — в преобразованиях массы и энергии.

Иван Иванович Пущин («мой первый друг, мой друг бесценный», — А. С. Пушкин) на закате своих дней, чувствуя неотвратимое приближение смерти, как-то сказал: «Очень

жалко не только себя, но (не смейтесь!) и тех людей, и тех листьев, что вяжутся уже без Пущина. Как же им, бедным, одиноко будет без меня!»<sup>2</sup>. Эти некогда пронзившие душу ирричные слова вспоминаются невольно снова, когда закрылась книга о Вернадском.

Жизнь ученого нарисована в ней не только научно достоверно, что необходимо для любой биографии, но чувственно достоверно. Абстрактные понятия, их различные комбинации — рациональная ткань биографического текста — конкретизируется в ней до такой степени, что, как бы преодолевая себя, она переходит в художественный образ. Поэтому, читая книгу, нередко забываешь об авторском тексте, начинаешь видеть и слышать самого Владимира Ивановича Вернадского. И возникший образ его так захватывает, так притягивает своим благородством и умом, что вдруг чувствуешь горечь от того, что никогда не ощутишь тебе непосредственно его обаяния, которым так щедро одаривал он при жизни тех, кто его окружал, кто имел счастье с ним встречаться, кто мог, как П. Л. Драверт, ему сказать: «Вашу дружбу ценю более всего на свете» (с. 372).

И это чувство — верный знак того, что настоящей книге о В. И. Вернадском суждена долгая и благородная жизнь.

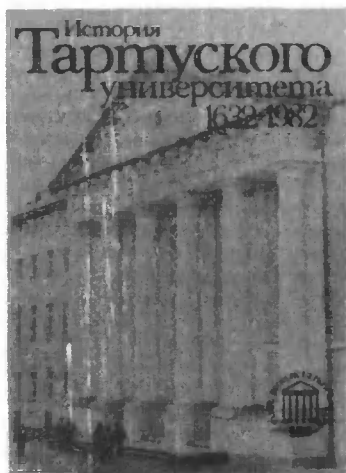
И в заключение два слова о кратком предисловии к ней. Блестящее по форме, глубокое по содержанию, вдохновенно написанное Ю. А. Ждановым, оно приглашает читателя войти в храм высоких мыслей и богатых идей великого русского ученого. И мы горячо поддерживаем это приглашение.

<sup>2</sup> Эйдельман Н. Большой Жанно. М., 1982, с. 293.

## Один из старейших в нашей стране

Г. К. Церава

Бокситогорск



ИСТОРИЯ ТАРТУСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. 1632—1982. Под ред. К. Сийливаска. Таллин: Периодика, 1982, 279 с.

В прошлом году широко отмечалось 350-летие Тартуского государственного университета (ТГУ), который в ретроспекции называют Дорпатским, Дерптским, Юрьевским. Празднование юбилея подтвердило и узаконило непреложность того, что возраст ТГУ следует отсчитывать не со времени его возобновления Александром I в 1802 г., как это было принято ранее, а с открытия в 1632 г. в Дорпате шведско-латвийской *Academia Gustaviana*. Согласно нашим изысканиям, это был 114-й по счету европейский университет после первого — Болонского.

За 825 лет, прошедших с основания в 1158 г. в Болонье *Studium generale*, становлению и развитию университетов посвящена необозримая литература. По-прежнему практикуются конференции и симпозиумы по этой проблематике, как,

например, конференция по истории университетов, состоявшаяся в 1978 г. в Кракове, XII и XIII Прибалтийские конференции по истории науки, проводившиеся соответственно в 1979 г. в Вильнюсе и 1982 г. в Тарту и приуроченные к 400-летию Вильнюсского и 350-летию Тартуского университетов. Юбилейные даты служили и служат подходящим поводом для издания монографий о вузах-юбиларах. К такого рода публикациям принадлежит и рецензируемая книга — плод многолетнего коллективного труда группы эстонских ученых. Они же выпустили в 1982 г. на эстонском языке фундаментальный труд — трехтомную «Историю ТГУ», которая была положена в основу настоящего издания.

После выхода в свет в начале века двухтомной истории университета<sup>1</sup>, не потерявшей значения по сей день, на русском языке были опубликованы лишь небольшие работы, отражающие отдельные стороны деятельности ТГУ. Поэтому выход в свет рецензируемой книги надо считать крупным явлением в историографии университета, достойным подарком всеоюзному читателю. Следует подчеркнуть, что авторам книги повезло в том смысле, что войны и другие невзгоды сравнительно мало отразились на сохранности университетской документации, которая находится в эстонских архивах, а также в Швеции.

За три с половиной века своего существования ТГУ прошел несколько исторических этапов — шведский (1632—1710), российский императорский (1802—1917), эстонский буржуазный (1918—1940); в 1940 г. начался период советского национального университета. Соответственно этим четырем периодам книга разбита на четыре части. Структура каждой из них примерно одинакова: исторические предпосылки, особенности периода, учебная и на-

учная деятельность, кадры и студенческая жизнь, вклад в науку и культуру. Даже краткое обозрение всех 18, емких по содержанию, снабженных исчерпывающей библиографией и набранных уборым шрифтом глав книги заняло бы слишком много места, поэтому ограничимся рассмотрением наиболее важного.

Во «Вступлении» утверждается: «Преподаватели и воспитанники *alma mater Tartuens* вписали множество ярких страниц в историю науки нашей страны и всего мира» (с. 5). Действительно, достаточно назвать имена биологов К. М. Бэра и А. Н. Северцова, врача и филолога В. И. Даля, астронома В. Я. Струве, физиков Э. Х. Ленца и Б. С. Якоби, основоположника современной армянской литературы Х. Абовяна, медиков Н. И. Пирогова и Н. Н. Бурденко, метеорологов Л. Ф. Кеуца и Б. И. Срезневского, химиков Г. Таммана и Л. В. Писаржевского, математиков П. Боля и Л. С. Лейбензона, геолога Ф. Ю. Левинсона-Лессинга. В другом месте книги подчеркивается преемственность в деятельности вуза: «Университет перенял и сохранил все то прогрессивное, что включало в себя высшее образование в прошлом, а за годы Советской власти обогатил это наследие и способствовал его дальнейшему развитию» (с. 264).

В разгар Тридцатилетней войны шведский король Густав Адольф, идя навстречу желанию генерал-губернатора Лифляндии и своего воспитателя Ю. Шютте, 30 июня 1632 г. в лагере вблизи Нюрнберга подписал грамоту об основании университета. Университет был создан на базе тартуской гимназии с целью подготовки административных, медицинских и педагогических кадров, а также лютеранского духовенства для завоеванных Шведцией территорий. После гибели короля в бою под Лютценом в ноябре того же года университет стал называться Академией Густавиана. Войны, голод и эпидемии, опустошавшие южную Прибалтику, отнюдь не способствовали стабильности университета. Были и

<sup>1</sup> Петухов Е. В. Императорский Юрьевский, бывший Дерптский, университет за сто лет его существования. Т. 1, Юрьев, 1902; т. 2, СПб, 1906.



перерывы в работе, и переезды в Таллин и обратно, наконец, перед Северной войной — в Пярну. Несмотря на все это и вопреки тому, что писали о шведском периоде ТГУ остзейские историки, преподавание в университете было на уровне передовых естественно-научных взглядов эпохи. Об этом, а также о просветительской роли университета в истории культуры Эстонии и соседних народов подробно говорится в главе 3. Отметим лишь, что С. Димберг, читавший лекции в Тарту в 1690—1697 гг., был пионером в ознакомлении студентов с «Математическими началами натуральной философии» Ньютона, в чем Димберг опередил не только профессоров старшего собрата ТГУ Угсалы, но и английских университетов.

Свое подлинное лицо храма науки и просвещения ТГУ обрел после его возобновления в начале прошлого века, чему предшествовала длившаяся более полувека подготовительная работа, отличавшаяся драматическими моментами, вызванными классовыми и националистическими амбициями остзейского рыцарства. Авторы воздали должное мужеству и просветительским идеалам первого ректора Е. И. Паррота. В период становления университета и выработки уставов он, опираясь на передовую профессуру, успешно противоборствовал верховодам из местного дворянства, по мнению которых университет должен был стать опорой «остзейского особого порядка». К счастью, он не стал таковым. Благодаря своей автономии и демократическим установлениям и несмотря на то, что первоначально обучение велось на немецком языке, университет в Дерпте быстро стал центром притяжения как для передовой профессуры, так и российской молодежи. Ведь неспроста даже в привилегированных кругах московского студенчества, к которым принадлежали персонажи «Юности» Л. Н. Толстого, студент из Дерпта был объектом плохо скрываемой зависти. Между тем авторы рецензируемой книги показывают, что далеко не все шло гладко в университете, где

социальный климат оставлял желать лучшего. Отрицательно скрывались антирусские и по существу реакционные, «давно пережившие свою эпоху» настроения остзейцев, выступления которых находили достойную отповедь со стороны передовой общественности России, и в частности таких людей, как А. И. Герцен и Ю. Ф. Самарин.

С неослабевающим интересом читаются главы 5—7, которые повествуют об огромном вкладе тартуских профессоров в развитие наук — естественных и гуманитарных — в XIX в. Не будет преувеличением утверждать, что Дерптский (Юрьевский) университет являлся своеобразным филиалом Петербургской Академии наук, школой, где пестовались будущие российские академики. Среди членов, членов-корреспондентов и почетных членов Академии наук СССР за все время ее существования 80 были преподавателями ТГУ и 61 — его воспитанниками<sup>2</sup>. Значительная была роль организованного в 1828 г. по инициативе того же Паррота профессорского института при университете, призванного готовить педагогов высокой квалификации для Московского и открытых в России новых университетов — Петербургского, Казанского, Харьковского. В этом институте прошли курс наук физиологи Ф. И. Иноземцев и А. М. Филомафитский, историк М. С. Курторга, астроном А. Н. Савич.

Возможно, не все знают, что Воронежский университет обязан своим зарождением Юрьевскому, который летом 1918 г. был эвакуирован из захваченной кайзеровской Германией Прибалтики в Воронеж. Ректором нового вуза стал тартуский ученый В. Регель. После ухода немцев, пытавшихся создать «ландесуниверситет», и непродолжительного правления Эстляндской Трудовой Коммуны, с декабря 1919 г. началась очередная полоса в истории ТГУ — период эстонско-

го буржуазного вуза. Как это видно из главы 10, научная жизнь в ТГУ в 1919—1940 гг. протекала с приоритетом так называемых национальных наук — эстонского языка и литературы, истории и археологии Эстонии и т. п., а в области естественных наук предпочтение отдавалось изучению территории республики.

С восстановлением в 1940 г. Советской власти в Эстонии началось обновление ТГУ на новой социально-политической основе. В минувшую войну временная оккупация немецко-фашистской армией прервала этот процесс. В 1944 г. пробил час освобождения города. Вот как об этом сказано в книге: «25 августа 1944 г. в ходе ожесточенных боев части наступавшей с юга Советской Армии освободили Тарту... Фашисты были выбиты подразделениями сформированной в Казани 146-й стрелковой дивизии, в составе которой воевали также преподаватели и аспиранты Казанского государственного университета. Командир дивизии генерал-майор С. Карапетян сформировал специальную группу, чтобы освободить центр университета с наименьшими разрушениями» (с. 203). И это удалось. Главное здание университета, построенное в 1805—1809 гг., было спасено от гибели.

С основанием в 1945 г. республиканской Академии наук определенная часть научных учреждений, включая астрономическую и геофизическую обсерватории, была передана Академии, в связи с чем в первые послевоенные годы наблюдался некоторый спад научно-исследовательской деятельности ТГУ. Однако с середины 60-х годов положение коренным образом изменилось. В настоящее время в нашей стране немного высших учебных заведений, представляющих столь разнообразную область наук, как ТГУ. Важнейшими направлениями в области естествознания являются обогащенные новыми импульсами и стимулируемые новыми задачами: дифференциальная геометрия и вычислительная математика, теория упругости, астрофизика и космонавтика, физика твердого тела. Важное место занимают проб-

<sup>2</sup> По состоянию на 1976 г. См.: Петербургская Академия наук и Эстония. Таллин, 1978, с. 3.

лемные лаборатории. К юбилею вошло в строй новое здание Научной библиотеки ТГУ вместимостью 5,5 млн книг. В заключение нескольких цифр, которыми характеризуется ТГУ в наши дни: 9 факультетов, 83 кафедры, 780 преподавателей, из

них 94 профессора и 274 доцента, почти 11 тыс. студентов.

Рецензируемую книгу отличают высокий профессиональный уровень историографии, большой массив сведений, зачастую впервые вводимых в научный оборот, четкая архитек-

тоника. Богатый набор иллюстраций помогает лучшему восприятию текста. Здесь стоит упомянуть еще об одном юбилейном издании — роскошном цветном четырехязычном альбоме "Alma mater Tartuenssis".

## НОВЫЕ КНИГИ

### Физика

Л. В. Тарасов. ЭТОТ УДИВИТЕЛЬНО СИММЕТРИЧНЫЙ МИР. Пособие для учащихся. М.: Просвещение, 1982, 176 с., ц. 1 р. 20 к.

Симметрия присутствует везде, где наблюдается какая-либо упорядоченность. Она обнаруживается в структуре ДНК, цветке и здании, при распаде нейтрона. Симметрия проявляется в неизменности свойств объекта (явления) по отношению к разнообразным операциям: поворотам, отражениям, переносам и т. д. На многочисленных примерах из различных областей окружающего нас мира автор показывает всеобщность симметрии. Большое внимание уделено объяснению важнейших физических законов на основе принципа симметрии.

Идея симметрии пронизывает всю историю научного познания мира. Достаточно вспомнить гипотезу пифагорейцев о сферичности Земли и движении ее по сфере или схему Иоганна Кеплера, который объяснял строение Солнечной системы с помощью сферы и правильных многогранников. Но особенно важную роль понятие симметрии играет в современной науке. Академик В. И. Вернадский писал: «Принцип симметрии в XX веке охватывает все новые области. Из области кристаллографии, физики твердого тела он вошел в область химии, в область молекулярных процессов и в физику атома».

В книге раскрывается эволюция понятия симметрии от чи-

сто геометрического представления, связанного с симметрией форм и положений, к симметрии физических явлений. Объясняется взаимосвязь симметрии и асимметрии.

### Физика

ПЕРСПЕКТИВЫ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ. Пер. с япон. И. П. Дзюбы. Под ред. А. С. Давыдова. Киев: Наукова думка, 1982, 551 с., ц. 7 р. 20 к.

Этот сборник, приуроченный к 50-летию со времени возникновения квантовой механики, содержит статьи видных японских физиков, посвященные различным аспектам квантовой теории.

В первой части книги дан краткий обзор истории развития квантовой механики. Во второй обсуждаются результаты, полученные в различных областях: в квантовой химии, физике сверхпроводимости и сверхтекучести, теории твердого тела, квантовой оптике и теории ядерной материи. Здесь же публикуется хорошо известная физикам статья С. Томонаги «О расходимостях в теории элементарных частиц», написанная в период создания теории перенормировок и дающая ясное представление об одной из принципиальных и самых сложных проблем квантовой теории поля. В третьей части рассматриваются методы квантовой механики. Сюда вошли работы, освещающие роль симметрий и теории групп в квантовой физике, мно-

гочастичных задачах, физике конденсированного состояния вещества и элементарных частиц. Внимание читателей привлечет обзор литературы о термодинамической устойчивости вещества, легшей в основу нового метода квантовой статистики, который получил большое развитие.

Последняя часть книги посвящена фундаментальным проблемам квантовой теории — вопросам теории измерений и интерпретации квантовой механики, аксиоматической квантовой теории поля, взаимосвязи пространства-времени и материи. Здесь помещены две статьи Х. Юкавы, содержащие пространственно-временное описание элементарных частиц, работа Й. Намбу, в которой анализируются современные представления о физике элементарных частиц и единой теории фундаментальных физических взаимодействий. Завершает книгу работа Р. Утиямы, где последовательно и подробно рассматривается проблема объединения квантовой теории и общей теории относительности.

Книга представляет интерес для физиков, химиков, биологов и историков науки.

### Физика

ФИЗИКА ЗА РУБЕЖОМ. 1982. Пер. с англ. М.: Мир, 1982, 220 с., ц. 60 к.

Физикам давно известен издаваемый Американским институтом физики журнал «Phy-

sics Today» («Физика сегодня»), который является хорошим примером научной «популяризации для профессионалов». Десять статей из этого журнала, написанные в основном профессорами ведущих американских университетов и опубликованные в 1980—1981 гг., составили настоящий выпуск сборника «Физика за рубежом».

Семь статей относятся к физике твердого тела, главным образом к физике низких температур. Ситуацию в этой области удачно характеризуют слова одного из лидеров направления, Б. Пиппарда, бывшего директора Кавендишской лаборатории (Англия): «Старый пес еще жив, и мы можем ожидать, что физика будет еще некоторое время привлекать изрядную долю наших самых блестящих молодых умов». Статья Б. Пиппарда носит также достаточно примечательное название: «Чистая физика — дорогостоящая жизнеспособность и ограниченная престижность».

Остальные три статьи (представляющие собой подборку из одного номера журнала) — о химических реакциях, вызываемых действием лазерного излучения, длина волны которого эквивалентна энергии соответствующих химических связей.

#### Минералогия

Б. Андерсон. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ. Пер. с англ. Л. В. Булгака под ред. В. П. Петрова. М.: Мир, 1983, 456 с., ц. 2 р. 10 к.

Геммология — исследование ювелирных камней — относится к числу областей, которые интересуют не только специалистов, но и гораздо более широкий круг лиц. «Данная книга не является академическим исследованием, а представляет собой практическое руководство для ювелиров и минералогов», — говорит автор, бывший директор лаборатории по определению драгоценных камней Лондонской торговой палаты. Можно добавить также, что книга будет увлекательным чтением для минералогов, кол-

лекционеров, самодеятельных художников, работающих с камнем, которых в последнее время становится все больше, а также многочисленных любителей этого вечного искусства. Книга написана с чисто английским практицизмом и содержит множество полезных рекомендаций, начиная от способа складывания бумажных пакетиков для камней и пользования карманной лупой и кончая применением новейших достижений оптического приборостроения. Много внимания автор уделяет важному вопросу «номенклатуры драгоценных камней, основанной на здоровых принципах и направленной на то, чтобы каждый драгоценный камень имел правильное, вполне определенное собственное название, не применяемое к камням других видов».

С особенным интересом читаются разделы, посвященные достижениям в области выращивания ювелирных кристаллов, техническим имитациям и комбинациям камней, а также их химической и тепловой обработке и т. д.

#### Охрана природы

ЛЕС И ЧЕЛОВЕК. Ежегодник, 1983. М.: Лесная промышленность, 1983, 192 с., ц. 2 р.

Этот ежегодник уже много лет привлекает внимание широкого круга читателей — как практических работников лесоохранительных организаций, лесной и деревообрабатывающей промышленности, так и многочисленных любителей лесов нашей страны. Здесь можно встретить публицистические и научно-популярные статьи и заметки и чисто литературные произведения — рассказы, очерки, стихи и т. д. В сборнике много рисунков и фотографий, как правило, цветных. Все материалы имеют небольшой размер — в основном не более 2-3 страниц крупного формата и распределены по десяти тематическим разделам: «Наука и практика», «Юный натуралист», «Вокруг света», «Места заповедные», «В мире животных», «Среди растений» и др. Обраща-

на себя внимание публикации о заповедниках, о рекультивации земель и безотходной технологии, о редких и исчезающих видах животных и растений, интересные статьи по истории природоохранительной деятельности.

#### Философия естествознания

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ. Ежегодник 1982. М.: Наука, 1982, 402 с., ц. 2 р. 50 к.

Это уже четырнадцатый по счету выпуск ежегодника. Наиболее общие методологические проблемы освещаются в первом разделе. Его открывает статья Д. М. Гвишиани «Теоретико-методологические основания системных исследований и разработка проблем глобального развития». Важные вопросы поднимаются в статьях В. Г. Афанасьева «Моделирование как метод исследования социальных систем», И. В. Блауберга, Э. М. Мирского, В. Н. Садовского «Системный подход и системный анализ» и других. Во втором рассматриваются методологические проблемы изучения социально-экономических систем. «Принятие решений и системы деятельности» — так озаглавлен третий раздел, в котором затрагиваются многие острые проблемы современной психологии и эргономики. Опыт применения системного подхода в различных конкретных областях научного знания представлен в статьях четвертого раздела, где речь идет об иерархии живых и биосферных систем, о системно-структурном изучении водных животных, о системно-семантических инвариантах культуры.

#### История науки

ЛЕНИНГРАДСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ В ВОСПОМИНАНИЯХ СОВРЕМЕННОКОВ. Под ред. В. В. Мавродина, В. А. Ежова, Т. 2. Л.: Изд-во Лен. ун-та, 1982, 223 с., ц. 2 р. 10 к.

В России существовало уже пять университетов (Московский, Дерптский, Виленский,

Казанский и Харьковский), когда в 1819 г. на базе Главного педагогического института был основан шестой — Петербургский (Петроградский — Ленинградский), занявший видное место в истории отечественной культуры и науки. В 1963 г. вышел в свет первый выпуск трехтомного собрания мемуаров, в котором отражена деятельность университета в 1819—1895 гг. Настоящая книга охватывает отрезок времени с 1895 по 1917 г., вмещающий в себя период трех русских революций.

Воспоминания, представленные в книге, переносят нас в эпоху, когда «вопреки обскурантистской политике самодержавия» профессора и питомцы университета на Неве вписали «яркие страницы в летопись естествознания начала XX в.». Опубликовано более двадцати воспоминаний, из них многие печатались в редких теперь изданиях, а три документа впервые вводятся в научный оборот. Среди мемуаров, касающихся истории естествознания, опубликованы: «Демонстрация первой радиотелеграфной установки» В. В. Миткевича; «В лаборатории Фаворского» В. М. Толстопятова; воспоминания А. П. Остроумовой-Лебедевой о ее муже С. В. Лебедеве. Книга иллюстрирована и содержит хороший справочный аппарат.

#### История науки

В. К. Луцкий. ИСТОРИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СССР (1868—1941). Отв. ред. Д. Я. Мартынов. М.: Наука, 1982, 264 с., ц. 2 р. 90 к.

Изучив многочисленные документальные материалы, автор прослеживает все основные направления, по которым развивалась деятельность астрономических общественных организаций, начиная с первого научно-астрономического общества России — Нижегородского кружка любителей физики и астрономии, открытого в 1888 г. «В астрономии чаще, чем в других науках,— пишет автор,— встречается серьезное недилетантское любительство». Поэтому в тексте встречается

немало имен талантливых русских «самоучки», наблюдавших небесные светила.

В книге показано, как в России второй половины XIX в. на смену ученым-одиночкам приходят крупные научные школы, а вместе с ними и общественные научные организации. Читатель познакомится с историей Русского астрономического общества, Русского общества любителей мирведения, Московского общества любителей астрономии и многих других обществ, кружков, народных астрономических обсерваторий. Наиболее подробно описана деятельность Всесоюзного астрономо-геодезического общества при АН СССР (ВАГО), созданного в 1932 г. на базе ранее существовавших обществ и кружков.

К уникальным документам, использованным в книге, относятся находящиеся в архиве автора записи воспоминаний видных советских астрономов и различных деятелей науки, участвовавших в организации и работе астрономических общественных организаций.

#### История науки

Е. Л. Немировский. АНДРЕЙ ЧОХОВ (около 1545—1629). М.: Наука, сер. «Научные биографии», 1982, 112 с., ц. 40 к.

Общезвестно, что русская история сохранила ничтожно мало имен древнерусских (до XVII в.) ученых, строителей, художников. Тем бережнее мы должны относиться к немногим неанонимным произведениям, тем внимательнее исследовать дошедшие до нас сведения об их авторах. Е. Л. Немировский, известный своими работами в области истории русской техники, справедливо ставит имя своего героя, Андрея Чохова, в один ряд с такими прославленными мастерами эпохи Ивана Грозного и «смутного времени», как первопечатник Иван Федоров и «государев мастер» Федор Конь, строитель московского Белого города и Смоленского кремля. Однако рассматриваемая книга — всего лишь первая биография знаменитого

«пушечного и колокольного литца».

Читатель книги, которому Чохов известен прежде всего как создатель всемирно знаменитой Царь-пушки Московского кремля, узнает множество любопытных фактов о других его орудиях, находящихся в кремле, в ленинградском Артиллерийском музее и даже... в Грипсгольмском замке в Швеции и носящих колоритные собственные имена «Волк», «Троил», «Соловей», «Царь Ахиллес». Оказывается, что их сохранилось не менее десятка, а всего известно 27 орудий Чохова (в знаменитом словаре Брокгауза и Ефрона говорится лишь о трех пушках Чохова). Оказывается, что помимо пушек он отлил многие знаменитые в русской истории колокола, и в частности первой, несохранившийся Царь-колокол. Оказывается, что Царь-пушка — это, собственно, не пушка, а мортира, и что легенда о ее неспособности к стрельбе несостоятельна.

Пушки, пищали и другие орудия Чохова участвовали в походах Ливонской войны, освобождении родины от польско-литовских интервентов, свыше ста лет стояли на стенах крепостей Смоленска, Пскова, Новгорода, Москвы. Чохов прожил долгую жизнь, которая пришлась на богатый событиями отрезок русской истории. Со страниц книги он предстает (если транспонировать на 400 лет назад нашу терминологию) как выдающийся военный инженер и ученый, металлург, изобретатель новых видов вооружения (например, многоствольной пушки «о сте зарядов», предка наших «катюш»), главный конструктор артиллерии всего Московского государства, видный организатор производства, незаурядный дизайнер и скульптор (изображение царя Федора Ивановича на стволе Царь-пушки — это первый русский скульптурный портрет), создатель целой школы русских оружейников.

## Как ссылаться на других авторов!

Л. М. Михайлов

Под рубриками типа «Ученые шутят» часто печатаются разного рода «инструкции». Например: как выступать на семинарах, как защищать диссертацию, как демонстрировать слайды, как писать научные статьи и т. д. Но при этом почему-то не принято подкреплять установленные правила документальными примерами. Я решил пойти по другому пути. Моя заметка, посвященная проблеме ссылок в научной литературе, будет содержать больше примеров, чем обобщений.

Итак, в каких случаях и каким способом авторы научных публикаций должны ссылаться на других авторов?

Возьмем, например, книгу Я. М. Нюссика и И. Л. Комова «Электрохимия в геологии», подготовленную к печати Коми филиалом АН СССР (Л.: Наука, 1981). В ней на с. 29 можно прочитать следующее:

«Нами установлено, что высококачественный природный бразильский кварц обладает более низким удельным сопротивлением ( $1,5 \cdot 10^{14}$ ) по сравнению с синтетическим ( $1,5 \cdot 10^{15}$ ), содержащим неструктурную примесь. Такая закономерность кажется противоречащей теории диэлектриков, но это связано с уменьшением подвижности носителей тока, обусловленным блокировкой структурных каналов кварца электрически неактивными агрегатами «неструктурной примеси» (Колодиева и др., 1969). Сравнение удельного объемного сопротивления природного флюопита ( $2,6 \cdot 10^{12}$ ) и синтетиче-

ского ( $1,9 \cdot 10^{15}$ ) показало, что сопротивление гидроксильной слюды уступает этому показателю фтористой слюды. Это объясняется более прочной кристаллической структурой синтетической слюды.»

А вот что написано в статье Б. Н. Колодиева и И. В. Дзюбенко «Частотная зависимость электропроводности минералов-диэлектриков на инфранизких частотах», помещенной в журнале «Записки Всесоюзного минералогического общества», 1977, ч. 106, с. 322—330:

«Данные для самых низких частот, приведенные в таблице, показывают, что высококачественный природный бразильский кварц обладает более низким удельным объемным сопротивлением по сравнению с синтетическим кварцем, содержащим «неструктурную примесь» (Цинюбер и др., 1965) и что, чем хуже качество разновидностей кварца в смысле чистоты и однородности, тем выше у них значение  $R_{001}$ »

Сравнивая  $R_{001}$  природного флюопита (см. таблицу), видим, что сопротивление гидроксильной слюды намного уступает сопротивлению слюды фтористой. Такое превосходство синтетической слюды наблюдается во всем исследованном диапазоне частот и обусловлено ее энергетически более прочной кристаллической структурой».

Если принять во внимание, что в упомянутой таблице указаны те же численные значения, которые фигурируют у Я. М. Нюссика и И. Л. Комова, то данные у той и у другой пары соавторов совершенно одинаковые. При этом Я. М. Нюссик и И. Л. Комов оговаривают, что содержащиеся в приведенном отрывке положения установ-

лены ими. Так ли это? Их книга вышла в 1981 г., а указанная выше статья опубликована в 1977 г. Даже если допустить, что Я. М. Нюссик и И. Л. Комов самостоятельно получили эти данные, то и тогда приоритет остался бы за Б. Н. Колодиевым и И. В. Дзюбенко, и это следовало бы оговорить. Ссылка на работу С. В. Колодиевой и др. (1969) не меняет существа дела, так как в этой работе нет численных значений удельного сопротивления.

Итак, описанный случай позволил нам продемонстрировать первый способ использования ссылок на предыдущих авторов. Он сводится к тому, что этими ссылками можно просто пренебречь даже в том случае, когда они обязательны.

Второй способ не менее интересен и поучителен. Это вариант, когда ссылки есть, но они не соответствуют действительности. Например, Б. Н. Колодиев и И. В. Дзюбенко, авторы вышеуказанной статьи, пишут так:

«По температурным изменениям  $\rho$  рассчитывают энергию активации токоносителей, которая является типоморфным признаком минерала (Хетчиков и др., 1974)... Величина энергии активации процессов электропроводности или диэлектрических потерь ...может достоверно характеризовать анизотропию электрических свойств кристаллов (Гаврилко, Колодиева, 1975), определять тип и форму вхождения в минералы примесей при концентрациях до  $10^{-7}$  вес. % и т. д.» (с. 323—324).

А Я. М. Нюссик и И. Л. Комов, авторы тоже названной выше книги, пишут таким образом:

«По температурным изменениям удельного сопротивления определяется энергия ак-

тивации токоносителей, которая является типоморфным признаком минерала. Величины энергии активации процессов электропроводности или диэлектрических потерь могут быть использованы при изучении анизотропии электрических свойств и определении типа и формы вхождения в минералы примесей при концентрации их до  $10^{-7}\%$  (Пархоменко и др., 1972)» (с. 29).

Цитаты, как видите, очень близки по тексту, но ссылки, обратите внимание, различны. Попробуйте теперь догадаться, какая из них правильна. Пораспутывайте. Поищите. Это будет настоящая интеллектуальная игра. И поувлекательней, чем кубик Рубика, и очень познавательная для тех, кто в нее играет. Ведь стремясь отыскать истину, много просмотрите, прочтете, поймете и узнаете. И хотя мы не будем здесь приводить других подобных примеров, каж-

дый научный работник знает, насколько они часты.

Третьей формой распространения употребления ссылок является вариант, когда ссылка на предыдущих авторов приводится, но с намеком на второстепенное значение их результатов. Всем попадались в научных публикациях такие случаи, когда автор, изложив свои результаты, пишет, что другие, предыдущие авторы, получили данные, «согласующиеся с его результатами», хотя его «результаты» получены много позже, вместо того чтобы написать, что его результаты согласуются с описанными раньше. Пример такого типа ссылки приведем хотя бы из статьи Л. Н. Хетчикова и Э. М. Ташкера, опубликованной в книге «Синтез и экспериментальные исследования. Геология месторождений пьезооптического сырья» — Труды ВНИИСИМС, 1970, т. 13, с. 69:

«При изучении образцов месторождений Центрального Казахстана установлена разница в химическом составе водных вытяжек между кварцем из гидротермальных жил и кварцем из пегматитов. В первом определены сравнительно высокие содержания магния, во втором этот элемент, как правило, отсутствует. Это подтверждается и микрохимическими анализами водных вытяжек, проведенными А. И. Захарченко и др. (6).» Корректнее было бы написать наоборот, что именно микрохимические анализы авторов работы (6) подтверждаются данными Л. Н. Хетчикова и Э. М. Ташкера, более поздними.

И, наконец, последним вариантом является случай, когда ссылки употребляются так, как и должно быть. К счастью, примером последнего варианта является все же подавляющее большинство научных работ.



В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., БЕСПАЛОВА Ю. В., ДЮРГЕРОВА М. Б., КОЖЕВНИКОВА Ю. П., МАШАТИНА В. Н., МУХИНА И. А., РУХКЯНА Р. Г.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

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

Сдано в набор 5.05.83  
Подписано к печати 15.06.83  
Т—09570  
Формат 70×100 1/16  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. тыс.  
Уч.-изд. л. 15,4  
Бум. л. 4  
Тираж 58 996 экз. Зак. 1256

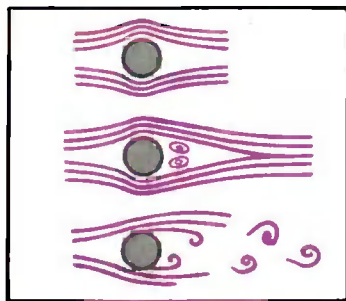


— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere).

Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. г. Чехов Московской области.





## В следующем номере

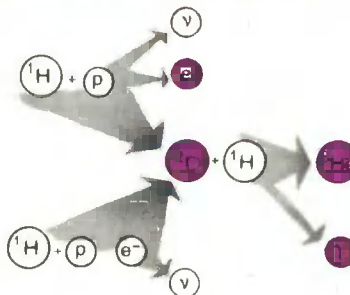
Многие науки — от социологии и биологии до физики и астрономии — имеют дело с процессами возникновения определенного порядка из первоначального хаоса и затем усложнения и развития образовавшихся упорядоченных структур. Новая дисциплина — синергетика — ставит своей целью поиск таких процессов и выяснение вопроса, нет ли у них сходных черт, которые позволят выработать общий подход к их изучению.

**Кадомцев Б. Б., Рязанов А. И.** Что такое синергетика?



В 1925 г. 17-летний Алексей Окладников приехал на учебу в Иркутск с двумя мешками: в одном были замороженные впрок на долгую зиму пельмени, в другом — коллекция каменных орудий древних людей, собранная им в верховьях Лены. Сегодня с именем академика А. П. Окладникова связаны многие археологические открытия, доказывающие древность происхождения коренного населения Сибири, своеобразие и самобытность его культуры. 75-летию со дня рождения А. П. Окладникова посвящена подборка статей

**ГЛАВНЫЙ АРХЕОЛОГ СИБИРИ.**



Экспериментальное значение потока солнечных нейтрино меньше теоретически ожидаемого. Выдвинуты многочисленные гипотезы для объяснения наблюдаемого расхождения; в СССР и США готовятся новые крупномасштабные эксперименты по поиску нейтринного излучения Солнца. Различным аспектам проблемы солнечных нейтрино посвящена подборка материалов

**ЗАГАДКА СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО.**



Куршская коса — эта северная Сахара — не только уникальный памятник природы, но и памятник упорного человеческого труда. Для сохранения специфических биоценозов уже сейчас необходимо заповедание ее территории.

**Кученева Г. Г., Кученева А. Е.** Куршская коса.



На севере хребта Кугитангтау в Туркмении обнаружены многочисленные следы динозавров. Побывавшие там геологи рассказывают об этом уникальном памятнике природы.

**Седлецкий В. И.** По следам динозавров.

Цена 80 коп.  
Индекс 70707



Природа, 1983, № 7, 1—128.