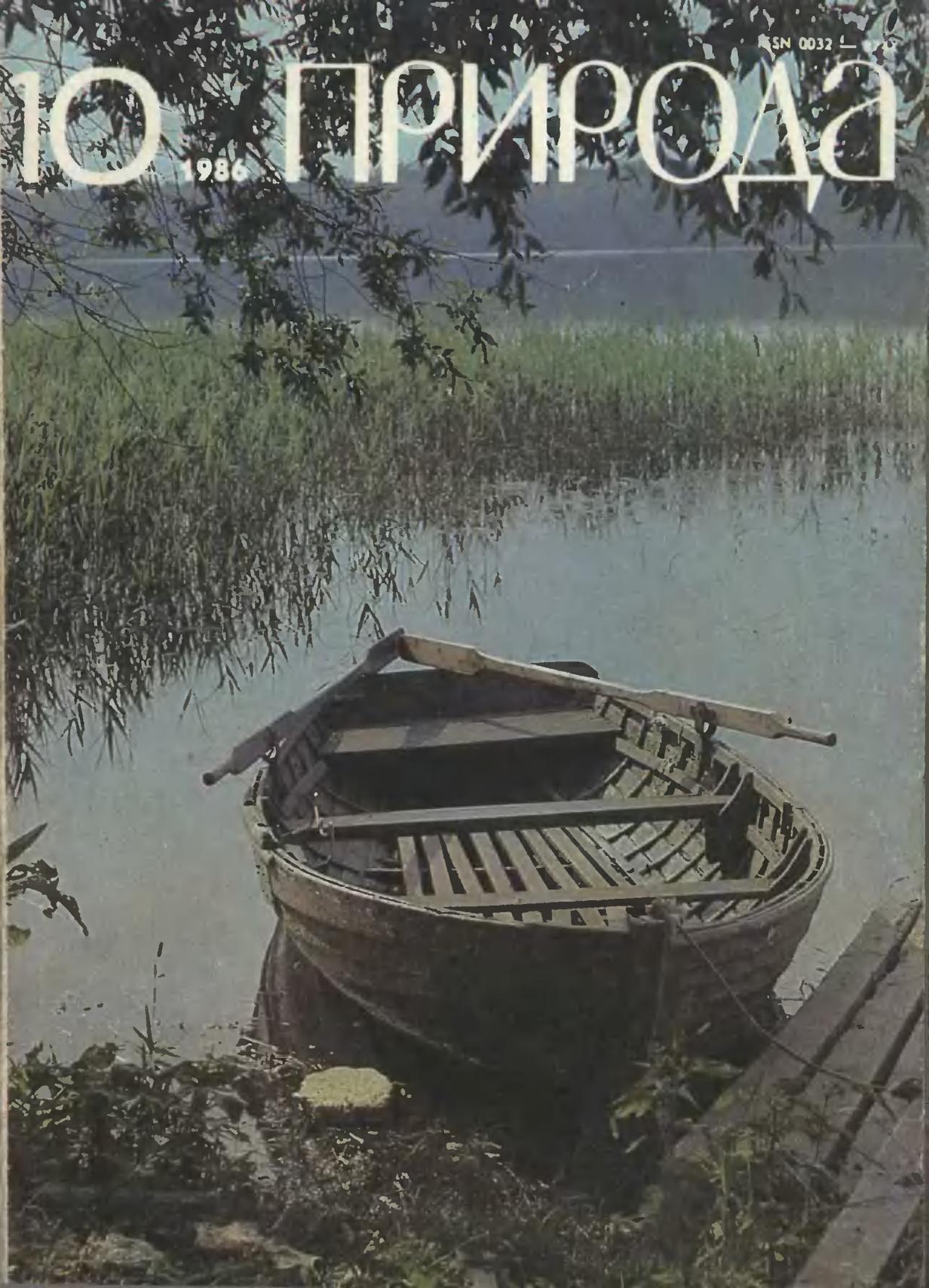


ISSN 0032

# Ю П Р И Р О Д А

1986





## 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

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик  
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  
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

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

Ответственный секретарь  
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук  
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора  
академик  
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

Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАШЦУК

Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Озеро Глубокое.

На четвертой странице обложки. Кувшинка розовая душистая (*Nymphaea odorata* Ait. var. *rosea* Pursch), интродуцированная на озере Глубоком в 1960 г. См. в номере: Коровчинский Н. М. «Глубокое озеро». Фото Е. Г. Любинского.

## В НОМЕРЕ

- Свердлов Е. Д.** Генная инженерия на службе здравоохранения 3  
 Благодаря успехам генной инженерии уже сегодня стали возможны ранняя диагностика наследственных заболеваний и производство жизненно важных биологически активных препаратов.
- Шрейдер Ю. А.** ЭВМ как средство представления знаний 14  
 Одно из важнейших применений современных ЭВМ — представление профессиональных знаний в экспертных системах. Это привело к возникновению новой области деятельности — когнитологии, которая занимается методами интервьюирования специалистов-экспертов.
- Незлин М. В.** Большое Красное Пятно Юпитера и его экспериментальное моделирование 23  
 Этот грандиозный вихрь наблюдается в атмосфере Юпитера уже около 300 лет, а недавно удалось создать его физический аналог в лабораторных условиях.
- Чумаков Н. М.** Какой климат типичен для Земли? 34  
 Получены геологические доказательства, что на Земле неоднократно происходили сильные похолодания и потепления, коренным образом изменявшие климатическую зональность.
- Малеев С. В., Окорочков А. И.** Поляризованные нейтроны и исследование свойств вещества 46  
 Пучки нейтронов с успехом применяются в самых различных областях науки и техники, но оказывается, с их помощью удается получать и уникальную информацию о свойствах вещества, недоступную для других средств исследования.
- Коровчинский Н. М.** «Глубокое озеро» 57  
 Озеро Глубокое стоит в перечне особо охраняемых памятников ЮНЕСКО. Биостанция на нем замечательна своей исторической ролью в отечественной биологии.
- Цигельницкий И. И.** Воздушные реки 70  
 Струйные течения — потоки воздуха, несущиеся с огромной скоростью, обнаружены не только на больших высотах, но и в нижнем слое атмосферы Антарктиды.
- Дзаттиаты Р. Г.** Тайны городища царциатов 76  
 До недавнего времени считалось, что аланы, предки осетин, проникли в Закавказье в XIII—XIV вв. Однако раскопки могильника у селения Едыс позволяют отодвинуть дату появления алан в этих местах на 6—7 столетий назад.
- Гинзбург В. Л.** Заметки по поводу юбилея 80  
 Эти заметки — не воспоминания, но в них затрагиваются вопросы, которые волновали их автора. Поэтому они преломляются сквозь призму его собственной жизни. В них он касается трех важных этапов в судьбе человека, причем в применении к сравнительно узкому кругу людей — к тем, кто хочет посвятить, а затем и посвящает свою жизнь естественным наукам, в первую очередь физике. Речь идет о выборе профессии, затем — узкой специальности в вузе и о специфических проблемах, которые встают перед научными работниками пожилого возраста.

**Мокшин Н. Ф. Происхождение мордовского народа** 95

Мордва относится к финно-угорской языковой группе. Прародиной ее, вероятно, было пограничье Европы и Азии. Затем древнемордовские племена расселились по долинам Волги, Оки, Цны и Мокши. Будучи издавна соседями русского народа, они в XV в. вошли в состав Российского государства.

**ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ**

**Кулик Л. В., Тимошин А. А. Необычные вкусы колорадского жука** 98

**Бондаренко Д. А. Яды против грызунов опасны для муравьев и ящериц** 99

**Аппак Б. А., Чернов А. В. Сорока гнездится на Южном берегу Крыма** 99

**ДИАЛОГ С ЧИТАТЕЛЕМ**

**Загадки наскальной живописи** 101

**НОВОСТИ НАУКИ** 102

Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1986 г.) [102] • Экспедиция на двух орбитальных станциях [102] • Ионные фонтаны в полярных каспах [103] • Механизм образования кометных лучей [104] • Падение метеоритов на людей и здания [105] • Куда исчез ксенон Земли? [105] • Резонанс в осциллирующих нейтрино [106] • Световоды «вдуваются» в кабель [107] • Крупногабаритные зеркала из пористых материалов [107] • Диагностика опухолей по свечению [108] • Механизм включения онкогена [108] • Каталитические свойства РНК [109] • Механизм действия канцерогенов [110] • Новый вид вакцин [110] • Необычное формирование гена [111] • Сердце обезьяны — ребенку [111] • Ранняя диагностика болезни Паркинсона [111] • Скорость нервного импульса у правой и левой [112] • Клетки человеческих надпочечников пересажены в мозг крыс [112] • Исчезновение иллюзий при утомлении [113] • Ориентация пльвущего сверчка [113] • Серый журавль зимует в Ставрополье [114] • К истории динозавров [114] • Безвредные дозы сточных удобрений [115] • Орикс возвратился в пустыню [115] • Земная кора поднимается [115] • Редкие металлы и драгоценные камни Гималаев [116] • Океанографические суда оригинальной конструкции [116] • Глубоководные исследования в желобе Нанкай [117] • Предсказано землетрясение в Паркфилде [118] • Эрозия берегов Западной Африки [118] • Озеро-убийца в Камеруне [119]

**РЕЦЕНЗИИ**

**Алексеев И. С. Квантовая механика в исторической перспективе (на кн.: Джеммер. Эволюция понятий квантовой механики)** 120

**НОВЫЕ КНИГИ** 122

Вайнберг С. Открытие субатомных частиц [122] • Ядерная астрофизика [122] • Вершинский Н. В. Энергия океана [122] • Петров В. П. Рассказы о драгоценных камнях [123] • Нейбурген М., Эдингер Дж., Боннер У. Познание окружающей нас атмосферы [123] • Кренделев Ф. П. Легенды и были о камнях [123] • От глубин океана до просторов Вселенной [124] • Лымарев В. И. Морские берега и человек [124] • Агеева Р. А. Происхождение имен рек и озер [124] • Levi-Strauss С. La Potiere jalouse. (Левин-Строс К. Ревнивая горшечница) [125] • Кабо В. Р. Первообытная доземледельческая община [125] • Археология Венгрии. Конец II тысячелетия до н. э. — I тысячелетие н. э. [125]

**В КОНЦЕ НОМЕРА**

**Шингарева К. Б. На Луну 348 лет назад!** 126

**Разрабатывать научные основы... биотехнологии... Развивать физико-химическую биологию, научные основы получения физиологически активных веществ для медицины... методы и средства профилактики, диагностики и лечения наиболее распространенных заболеваний.**

**Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года**

## Генная инженерия на службе здравоохранения

Е. Д. Свердлов



Евгений Давидович Свердлов, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией биотехнологии нуклеиновых кислот Института биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР. Специалист в области химии, структуры и функциональных свойств нуклеиновых кислот. Последнее время занимается генной инженерией. Лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР.

Количество болезней, с которыми всем нам приходится сталкиваться, постоянно растет. И причина, по-видимому, здесь одна — научно-технический прогресс, благодаря которому, с одной стороны, совершенствуются методы медицинской диагностики, а с другой — ухудшаются условия внешней среды, увеличивается ее загрязнение, изменяется состав пищи, уменьшаются площади, занятые зелеными растениями, и, наконец, резко растут контакты между ранее изолированными популяциями. Все вместе это и создает впечатление, что с прогрессом общества лавинообразно растет и число болезней, его поражающих. Но с развитием науки расширяются и наши знания о природе той или иной патологии, совершенствуются методы профилактики и терапии. И очень большие надежды в этой борьбе за здоровье человека связаны с молекулярной биологией, а точнее, с одной из наиболее стремительно развивающихся ее отраслей — генной инженерией.

### ГЕНЫ И БОЛЕЗНИ

Прежде чем уничтожить врага, его надо знать. Что же представляют собой болезни, от которых страдает современное общество? С генетических позиций все существующие болезни можно расположить в виде непрерывного спектра, на одном конце которого лежат заболевания, не зависящие от внешних условий и определяемые наследственностью (наследственные болезни), а на другом — заболевания, вызванные внешними факторами.

Наследственные болезни, как правило, связаны с повреждением одного-единственного гена (однофакторные генетические заболевания), что часто вызывает непоправимые сдвиги в обмене веществ и, как следствие, тяжелейшие поражения организма. Классическим примером таких заболеваний могут служить болезни, связанные с появлением аномальных гемоглобинов, такие как серповидно-клеточная

анемия и талассемии. Всего в настоящее время известно свыше 3 тыс. однофакторных генетических нарушений. В 207 таких случаях причина заболеваний кроется в изменении определенного фермента, примерно в 100 случаях обнаружены дефекты в неферментных белках, природа остальных нарушений неизвестна.

На другом конце спектра находятся заболевания, которые, вероятно, очень мало зависят от генов и определяются условиями существования: т. е. различные инфекционные болезни, такие как чума, холера, сыпной тиф, или такие болезни, как лучевая, алкоголизм, силикоз.

Промежуток между этими двумя крайними случаями заполняют болезни, возникновение которых связано с внешними условиями, и с генетической структурой организма. Сюда можно отнести так называемые болезни современного общества — диабет, атеросклероз, болезни коронарных сосудов, гипертонию, различные врожденные уродства. Известно: что одному — хорошо, то другому — яд. Кто-то не заболевает среди эпидемии, а кто-то нездоров при малейшем дуновении ветра — каждый из огромного множества генов у одного человека работает немного не так, как у другого, и все они создают неповторимую индивидуальную предрасположенность к заболеваниям. Курение, например, может вызвать рак. Имеется ферментная система, которая разрушает определенные полициклические углеводороды, входящие в состав табачного дыма, и образует при этом весьма активные канцерогены. Работа этой системы, находящаяся под сложным контролем, ассоциируется с возникновением рака, но у разных индивидуумов она различна, а выводы каждый читатель должен сделать сам.

Охрана здоровья — глобальная задача здравоохранения, которую прямо или косвенно решают все биологические науки. Это и понятно. Чтобы найти рациональные пути лечения той или иной патологии, необходимо знать природу генетических нарушений и понять их механизм. Эти проблемы и решаются сегодня в рамках биоорганической химии, молекулярной биологии, молекулярной генетики, и в том числе генной инженерии. Но у каждой науки есть свои методы. Есть они и у генной инженерии.

#### КЛОНИРОВАНИЕ — ОСНОВНОЙ МЕТОД ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ

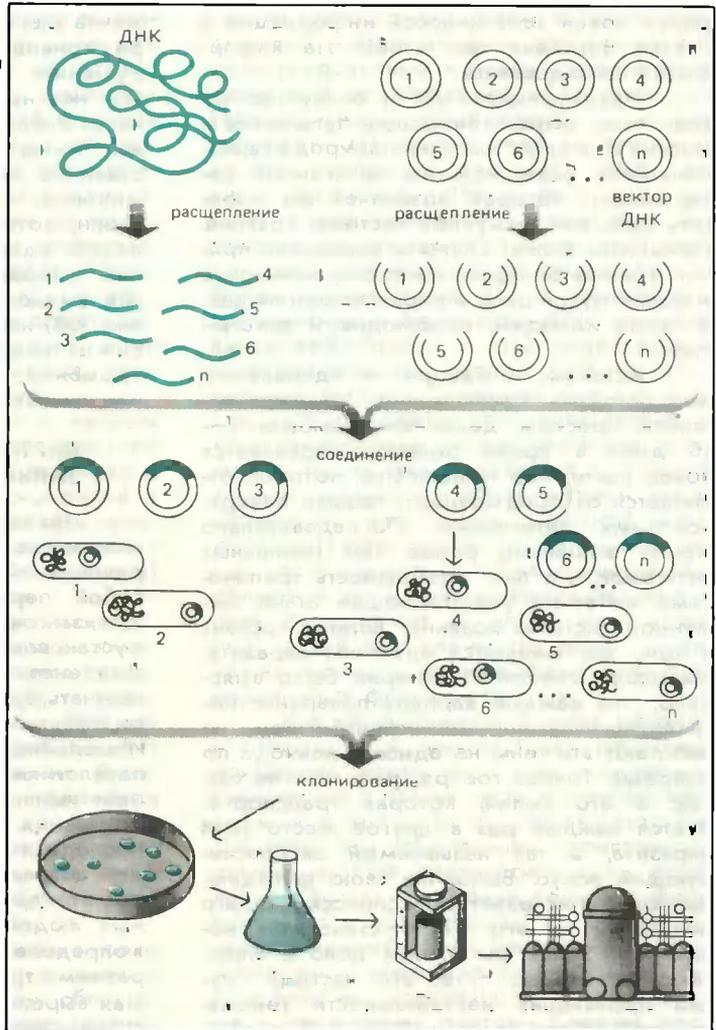
Все успехи генной инженерии стали возможны с появлением новых совершен-

ных методов, среди которых главным можно с уверенностью назвать клонирование.

Любую доступную ДНК, в том числе, конечно, и ДНК человека, можно расщепить с помощью ферментов рестрикции на фрагменты и соединить их с так называемыми векторными молекулами, которые способны проникать в клетки и далее существовать в них, передаваясь из поколения в поколение. Соединенные молекулы также сохраняют эту способность и называются рекомбинантными ДНК. Каждая рекомбинантная молекула состоит из одного определенного фрагмента ДНК и одной векторной молекулы. Рекомбинантные ДНК вводят в клетку-хозяин так, что в одну клетку попадает одна рекомбинантная молекула. Далее эти клетки высевают на твердую питательную среду. Клетки оказываются распределенными по поверхности отдельно друг от друга. Каждая клетка начинает делиться и дает многочисленное потомство, которое все собрано в том месте, куда попала исходная клетка. Это семейство называется клоном, отсюда и название самой операции — клонирование. Клон можно еще более размножить и выделить из него рекомбинантную ДНК. Таким образом, в процессе клонирования автоматически происходит разделение фрагментов исходной ДНК и создается возможность получать их в сколь угодно больших количествах, что обеспечивает основу для структурных исследований этих фрагментов.

Фрагменты ДНК содержат гены. Если получено достаточно большое число клонов, то они в сумме могут содержать все гены, характерные для данной ДНК. Такая сумма клонов называется банком генов. Банк генов, получаемых непосредственно из геномной ДНК, называют геномным банком. Кроме того, открытие обратной транскрипции позволило создавать банки структурных генов, т. е. тех последовательностей нуклеотидов, которые считываются (транскрибируются) и дают в клетке информационную, матричную, РНК. Эти банки называются библиотеками комплементарных ДНК (кДНК). Используя специальные приемы, в банке генов можно найти клон, содержащий интересующий нас ген. Эта принципиально простая, но технически сложная методика открыла необъятные возможности как для фундаментальных, так и для прикладных наук.

Схема клонирования генов. Любую молекулу ДНК можно расщепить с помощью специальных ферментов — рестрикционных эндонуклеаз — на отдельные фрагменты. Этими же ферментами расщепляют и ДНК вектора, т. е. ДНК вирусов или плазмид, которые могут существовать в клетке и передаваться из поколения в поколение. Разрезанный рестриктазой вектор затем соединяют с фрагментами ДНК с помощью другого фермента — ДНК-лигазы. При этом образуются рекомбинантные молекулы, способные существовать в клетке и наследоваться. С помощью специальных приемов рекомбинантные ДНК вводят в бактериальные клетки, причем в одну клетку попадает, как правило, одна рекомбинантная молекула, и каждая клетка становится носителем нового генетического признака. Если в клетку введена вся сумма рекомбинантных ДНК, то получают всю сумму присутствующих в исходной ДНК генов, т. е. банк генов. Смесь рекомбинантных бактерий высевают на твердую питательную среду так, что каждая бактерия попадает на отдельный участок среды и начинает там размножаться, образуя скопления бактерий — потомков исходной бактерии — клоны. Каждый клон можно перенести в жидкую питательную среду и размножить в сколь угодно большом количестве.



## ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ К ПРАКТИКЕ

Развитие методов молекулярной биологии позволило выделять индивидуальные нуклеотидные последовательности и идентифицировать их. Это — первая ступень на пути к пониманию генетических механизмов той или иной патологии.

Знание последовательностей, соответствующих определенному гену у разных индивидуумов, из разных органов и тканей в норме и в патологии послужило основой для революционных изменений в наших представлениях о структуре генома и механизмах его функционирования, а также о механизмах многих патологических явлений. Эта область исследований —

одна из фундаментальных основ здравоохранения, давшая сегодня уже большой практический выход.

Сейчас уже известна структура геномов многих вирусов, поражающих человека, и зачастую поняты основы их патогенности. Изучены ретровирусы, их жизненный цикл и механизмы вызываемых ими опухолевых трансформаций. Открытие вирусных и клеточных онкогенов, понимание механизма активации клеточных онкогенов при превращении нормальной клетки в опухолевую породило множество идей о лечении злокачественных опухолей. Интересно отметить, что именно понимание механизма функционирования ретровирусов и их взаимодействия с клеточным геномом натолкнуло на мысль использовать ретровирусы как векторы для внед-

рения новой генетической информации в клетки человека так, чтобы эта информация наследовалась.

Идентифицированы и охарактеризованы гены, обуславливающие патогенность многих бактерий, выяснена природа вариабельности бактериальных антигенных детерминант, которая позволяет им избегать действия иммунной системы хозяина. Примером может служить раскрытие причин сонной болезни, распространяемой в Африке мухой цеце и поражающей людей, а также лошадей, верблюдов и рогатый скот.

Источник инфекции — одноклеточный паразит трипаносома, размножающийся простым делением. Каждые 7—10 дней в крови больного появляется новое поколение трипаносом, которое отличается от предыдущего своими поверхностными антигенами. Последовательно может возникать более 100 различных антигенов, что дает возможность трипаносоме избежать уничтожающей атаки иммунной системы хозяина. Вопрос состоит в том, как меняются антигены паразита. Методами геной инженерии было выяснено, что каждый вариант поверхностного антигена кодируется своим геном, но работают эти гены не одновременно, а по очереди. Точнее говоря, работает не сам ген, а его копия, которая транспортируется каждый раз в другое место ДНК паразита, в так называемый экспрессирующий локус. Выполнив свою функцию, данный ген исчезает из экспрессирующего локуса, и на его место становится новый ген. Здесь мы имеем дело с «прыгающим» геном, т. е. это частный случай проявления нестабильности генома, которая играет чрезвычайно важную роль как в возникновении патологий, так, и, возможно, в эволюции. В частности, многие виды рака крови связаны или сопровождаются перестройками хромосом.

Благодаря клонированию и определению первичных структур генов расширились наши знания о механизмах специфического иммунного ответа организма на практически бесконечное число чужеродных веществ, вторгающихся в его пределы.

Наконец, исследованы изменения структур генов, приводящие к наследственным заболеваниям. В качестве примера можно привести заболевание, связанное с наследуемым дефектом метаболизма — нарушением синтеза ингибитора протеаз антитрипсина  $\alpha_1$ , который в норме блокирует разрушительное действие фер-

мента эластазы. Отсутствие этого ингибитора приводит к прогрессирующему разрушению легких и развитию эмфиземы. По неясным причинам в этом случае часто наблюдается цирроз печени в детстве. Это нарушение вызывается одной-единственной аминокислотной заменой глутаминовой кислоты (в положении 342) на лизин, которая, в свою очередь, определяется единственной нуклеотидной заменой в гене. Интересно, что замена другой аминокислоты метионина (в положении 358) на аргинин превращает антитрипсин  $\alpha_1$  из ингибитора эластазы в ингибитор тромбина, что служит причиной серьезных неостанавливаемых кровотечений.

### КАРТИРОВАНИЕ ГЕНОМА И ПРЕНАТАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА

До сих пор речь шла о фундаментальных исследованиях в области здравоохранения. Следующий этап представляет собой переход от теории к практике, и связан он с картированием геномов, т. е. с установлением места генов в хромосомах. Для генетического понимания болезни важно знать, где локализован данный ген и как он расположен относительно других генов. Изменение этого порядка часто связано с патологиями. Картирование генов позволяет выявить некоторые генетические заболевания. Дело в том, что нуклеотидные последовательности ДНК у различных людей, совпадая в принципе, часто отличаются друг от друга в деталях. Например, у разных людей одна и та же аминокислота в определенном белке может кодироваться разными тройками оснований (так называемая вырожденность кода) или нуклеотиды в некодирующих областях ДНК могут заменяться.

Благодаря такому явлению, называемому полиморфизмом ДНК, при расщеплении одной и той же рестриктазой из ДНК двух индивидуумов могут получиться фрагменты разной длины. Этот частный случай проявления полиморфизма ДНК называется полиморфизмом длин рестрикционных фрагментов. Этот полиморфизм проявляется и в том, что в каждой из 23 пар хромосом человека гомологичные хромосомы несколько отличаются друг от друга, так что каждая из них может дать для данного генетического участка характерную индивидуальную картину расщепления рестриктазами.

Читатель, конечно, помнит, что в каждой паре одна из хромосом происходит от матери, другая от отца. Когда владелец

этого набора хромосом обзаводится потомством, то его потомок в свою очередь получает по одной хромосоме из каждой пары. Другой полный набор хромосом наследуется от другого родителя. И любая индивидуальная хромосома приносит с собою свою специфическую картину распределения участков расщепления рестриктазами. Здесь мы рассматриваем простейший вариант без учета многих факторов, искажающих эту идеальную картину. Однако эта картина очень близка к истинной, если следить за передачей от родителей к потомкам не целых хромосом, а их небольших участков, и тем ближе, чем меньше рассматриваемый участок.

Во многих случаях удается связать определенное распределение участков рестрикции с генетическим заболеванием и проследить его передачу от родителей к детям, что позволяет предотвращать генетические заболевания путем генетических консультаций и дородовой (пренатальной) диагностики.

У многих уже возник, вероятно, вопрос: при чем же здесь генная инженерия и клонирование. Ответ на него становится очевидным, если представить себе, что получается при расщеплении ДНК человека рестриктазами. Наша ДНК состоит примерно из  $3 \cdot 10^9$  пар оснований. В зависимости от используемого фермента можно получить от 70 тыс. до 10 млн фрагментов. Как разделить такое множество фрагментов и как определить, какие из них происходят из нужной области нужной хромосомы?

Эта задача была неразрешима, пока не было в распоряжении клонированных фрагментов ДНК из исследуемой области. С их помощью решение задачи становится довольно простым: всю сложнейшую смесь фрагментов подвергают электрофорезу в плоской пластинке агарозного геля<sup>1</sup>. При этом фрагменты движутся тем медленнее, чем больше их длина, и каждый фрагмент занимает в соответствии со своей длиной определенное место в пластинке. Однако фрагментов так много, что они образуют в геле непрерывную полосу. Для того чтобы найти нужный фрагмент, используют специальные генети-

ческие маркеры, или зонды, которые представляют собой заранее клонированный, денатурированный и радиоактивный фрагмент ДНК из требуемой области генома. Предварительно необходимо создать «портрет» агарозного геля на нитроцеллюлозе, разделив обе цепи ДНК. Для этого фрагменты ДНК в геле денатурируют и прикладывают к гелю лист нитроцеллюлозной бумаги, после чего денатурированные фрагменты переносятся на бумагу. Цепи зонда (т. е. известные и радиоактивные фрагменты ДНК) способны взаимодействовать с комплементарными одноцепочечными цепями ДНК на листе нитроцеллюлозы. Следовательно, в том месте, где находятся последовательности, комплементарные клонированному фрагменту, после взаимодействия с радиоактивным зондом мы обнаруживаем радиоактивность. Так, среди огромной массы фрагментов различают те, которые содержат последовательности из клонированной области, и по месту, занимаемому ими на геле, определяют их длину. Если у разных людей эти длины различны — значит имеет место полиморфизм длин рестрикционных фрагментов.

Как же используется такая методика в пренатальной диагностике? Наглядным примером могут быть так называемые сцепленные с полом наследственные заболевания, в частности мышечная дистрофия Дюшенна. Это заболевание проявляется в раннем детстве прогрессирующим ослаблением мышц, и в конце концов ребенок оказывается прикованным к постели. Болезнь приводит к очень ранней гибели больного. Ген, с повреждением которого связана болезнь, локализуется на X-хромосоме и рецессивен, поэтому болезнь поражает только представителей сильного пола. Ведь мужчины имеют только одну X-хромосому, и неполноценность гена у них обязательно проявляется. У девочек, имеющих две X-хромосомы, одна из которых нормально функционирует, действие поврежденного гена компенсируется полноценным геном. Женщина может быть здорова, но нести в одной из своих X-хромосом катастрофу. Здоровый же мужчина заведомо имеет в X-хромосоме только полноценные гены. При браке здорового мужчины и женщины, носительницы поврежденного гена, возможно появление как здоровых, так и больных сыновей, получивших от матери поврежденную X-хромосому. Анализ распределения рестрикционных фрагментов из определенной области X-хромосомы позволяет выявить по-

<sup>1</sup> Электрофорез — физико-химический метод, основанный на разной скорости движения заряженных частиц в электрическом поле. Широко используется для анализа, разделения и очистки биополимеров, для диагностики многих заболеваний (иммунный электрофорез).

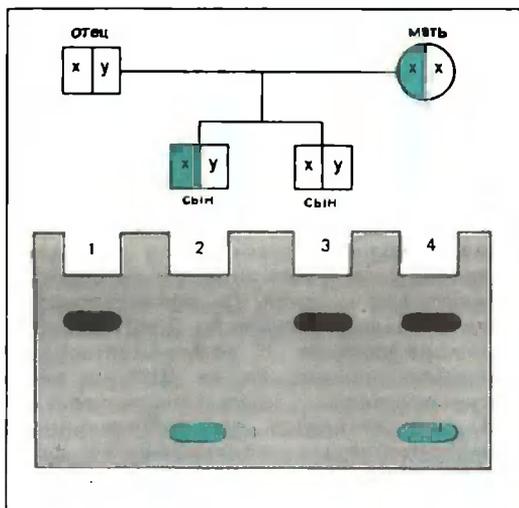


Схема диагностики наследственного заболевания, связанного с повреждением X-хромосомы матери. Если в геноме матери имеется одна здоровая и одна поврежденная X-хромосома (выделена цветом), то в браке со здоровым отцом возможно появление как здоровых, так и больных сыновей: в зависимости от того, какая X-хромосома [нормальная или поврежденная] достанется сыну. ДНК каждого из родителей и сыновей расщепляют рестрикционной эндонуклеазой, наносят в отдельные в параллельные лунки на пластине из агарозы и подвергают электрофорезу. После перенесения на нитроцеллюлозную бумагу и гибридизацию с радиоактивным зондом в дорожке, где разделялась смесь фрагментов, полученных из ДНК отца, оказывается одна радиоактивная полоса, а в дорожке матери — две. Очевидно, дополнительная полоса, далеко отстоящая от своего обычного места в геле, соответствует поврежденной хромосоме. По расположению радиоактивной полосы сыновей можно установить наличие поврежденной хромосомы. Если в образцах из ДНК сына радиоактивная метка располагается в геле на том же месте, что и у отца, значит, сын имеет здоровую X-хромосому, если же на месте дополнительной материнской, он болен.

поврежденный ген у матери и у детей. Обнаружение такого гена в ДНК сына означает, что он поражен болезнью. Это может быть осуществлено пренатально, и родители могут заблаговременно решить, хотят ли они иметь неизлечимо больного ребенка.

До сих пор речь шла о генетическом анализе, не связанном прямо с локализацией гена в хромосоме. Генная инженерия позволяет проводить и такую операцию: для этого предварительно клонированный меченный радиоактивными изотопами ген гибридизуют со специально приготовленными препаратами хромосом. С помощью автордиографии можно установить, с какой именно хромосомой и с

какой ее областью связывается меченый ген-зонд.

## ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ФАРМАЦИЯ

Доступность индивидуальных генов, возможность их неполового переноса в различные клетки, знание их структуры, понимание механизмов экспрессии в сочетании с доступностью регуляторных элементов ДНК, участвующих в функционировании генов, и, наконец, широкий арсенал средств, позволяющих модифицировать последовательности ДНК по заданной программе, начиная с химического синтеза фрагментов ДНК и кончая ферментативными методами расщепления ДНК в определенных участках, дали возможность добиться функционирования генов в чужеродных для них клетках. Выбирая клетки, достаточно легко культивируемые в промышленном масштабе, и вводя в них нужные гены, сегодня можно получить высокие выходы различных продуктов, производство которых иными способами пока невозможно.

Прежде чем продолжить рассказ о получении труднодоступных биологических препаратов с помощью генно-инженерных методов, напомним, что производство клеток того или иного продукта — процесс довольно сложный. Для синтеза белка необходимо не только наличие структурного гена, т. е. нуклеотидной последовательности, непосредственно кодирующей определенную аминокислотную последовательность, но и присутствие участков, осуществляющих регуляцию синтеза. Говоря иными словами, чтобы ген работал, нужен так называемый сигнал начала транскрипции, промотор, отвечающий за синтез матричной РНК (мРНК), а также сигнал начала трансляции, отвечающий за синтез белка в рибосоме.

Ген, продукт которого требуется получить в новой клетке-хозяине, вводят в векторную ДНК, которая способна к воспроизведению (репликации) в этом хозяине. Это может быть ДНК вируса или внехромосомный наследуемый элемент, например плаزمид. К гену присоединяются регуляторные элементы, обеспечивающие его транскрипцию и трансляцию в этой клетке. Полученную рекомбинантную ДНК вводят в клетку, где она может реплицироваться, транскрибироваться и транслироваться, обеспечивая наследуемую из поколения в поколение способность синтезировать требуемый продукт.

К таким препаратам, в которых остро нуждается современная медицина, безус-

ловно, относится интерферон. Именно в таких случаях особенно большие надежды возлагаются на генную инженерию.

Напомним, что интерфероны представляют собой сравнительно небольшие белки, вырабатываемые клетками в ответ на вирусную инфекцию или на обработку некоторыми другими агентами и обуславливающие первичную неспецифическую защитную реакцию организма.

Известны три типа интерферона: лейкоцитарный ( $\alpha$ ), фибробластный ( $\beta$ ) и иммунный ( $\gamma$ ). Первые два типа интерферона, хотя и различаются структурно, но в значительной мере функционально подобны, тогда как активность  $\gamma$ -интерферона существенно иная<sup>2</sup>.

Если говорить о проблемах здравоохранения, то, по-видимому, первые два типа интерферона наиболее эффективны в борьбе против заболеваний, обусловленных вирусными инфекциями, тогда как  $\gamma$ -интерферон обладает более выраженной иммуномодулярной активностью и перспективен при лечении ряда опухолей.

Препараты интерферона весьма эффективны, но малодоступны. Дело в том, что эти белки очень видоспецифичны, т. е. для лечения людей нужны интерфероны, продуцируемые клетками человека. Например, лейкоцитарный и иммунный интерфероны получают из крови доноров. Это очень дорогое и дефицитное сырье, которое в принципе не может обеспечить всех потребностей в интерфероне.

Обычно клетки не синтезируют интерферон, они начинают его вырабатывать только в ответ на определенные внешние воздействия. Индукция синтеза интерферонов связана с активацией их генов, в результате которой образуются соответствующие информационные, или матричные, РНК (мРНК) вместе со множеством других мРНК, обычно продуцируемых этими клетками. Доля мРНК, кодирующих иммунный интерферон в этой смеси, невелика (около 0,01 %).

В нашей лаборатории были клонированы, идентифицированы и экспрессированы в *E. coli* гены лейкоцитарных интерферонов<sup>3</sup>. Выработанная в этих исследованиях стратегия была потом использована при получении иммунного интерферона<sup>4</sup>.

Для индукции синтеза интерферона был использован энтеротоксин А из стафилококка, которым обрабатывали клетки из селезенки человека. Затем всю смесь мРНК, выделенную из индуцированных клеток, с помощью фермента обратной транскрипции превращали в соответствующую смесь комплементарных ДНК. Встроив эту смесь в плазмиду *E. coli*, мы получили набор клонов, среди которых только немногие содержали последовательности, кодирующие иммунный интерферон. Проблема заключалась в том, чтобы эти последовательности идентифицировать.

Эта чрезвычайно сложная задача облегчалась тем, что последовательность нуклеотидов в гене иммунного интерферона была к этому времени уже известна. Поэтому был использован метод, очень похожий на тот, о котором мы уже рассказывали, когда речь шла о диагностике наследуемых заболеваний. Эта техника универсальна и стоит того, чтобы остановиться на ней подробнее.

Представим себе чашку Петри с твердой питательной средой, на которой после клонирования в случайных местах выросло, скажем, 1 тыс. бактериальных клонов, очень похожих друг на друга. Есть ли среди них нужный, а если есть, то какой?

Если осторожно положить на поверхность чашки лист нитроцеллюлозной бумаги, затем его снять и переложить на другую чашку Петри с твердой питательной средой, можно получить точный «портрет» распределения клонов. На нитроцеллюлозном листе в том месте, где он соприкасался с клонами, окажутся бактерии из соответствующих клонов. Они начнут размножаться, образуя новые клоны, идентичные первичным. Таким образом получают так называемые реплики, количество которых может быть очень велико. Понятно, что распределение клонов на реплике однозначно соответствует их распределению на исходной чашке. Одну из реплик обрабатывают щелочью. При этом бактерии разрушаются, ДНК в них денатурирует и сорбируется на нитроцеллюлозе в тех местах, где находились клоны.

Затем синтезировали радиоактивный одноцепочечный фрагмент гена иммунного интерферона. Химический синтез полинуклеотидов сегодня так хорошо развит, что позволяет это сделать легко. Фильтр

<sup>2</sup> Свердлов Е. Д. // Журн. Всес. хим. об-ва. 1984. Т. 29. № 2. С. 205—209.

<sup>3</sup> Овчинников Ю. А., Свердлов Е. Д., Царев С. Д. и др. // Доклады АН СССР. 1982. Т. 262. № 3. С. 725—728.

<sup>4</sup> Арсенян С. Г., Свердлов Е. Д. и др. // Тезисы XI Всес. биохим. съезда. М., 1986. С. 153. В этой работе участвовал также коллектив авторов из АМН СССР.

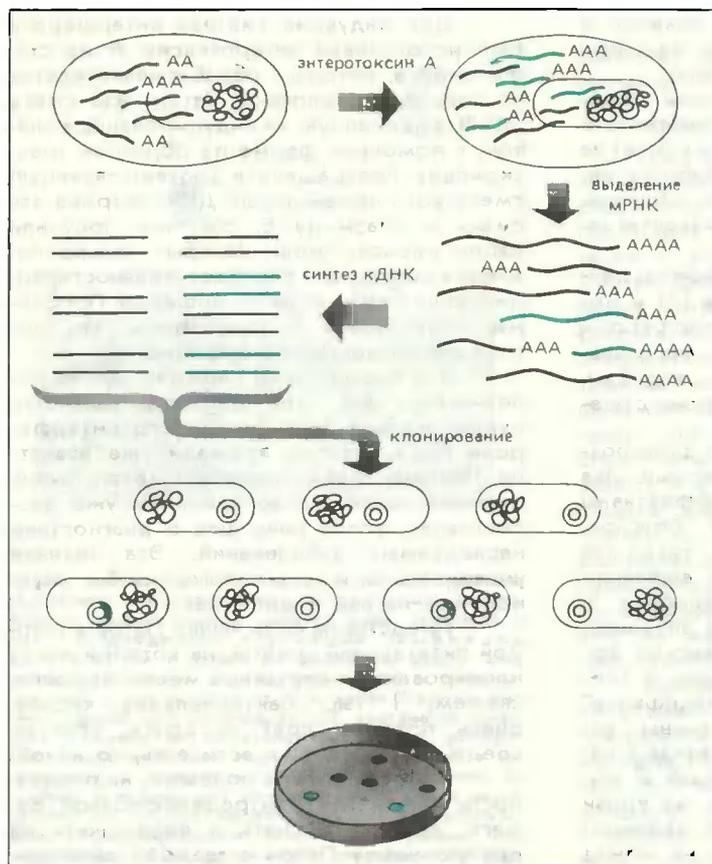


Схема клонирования структурного гена  $\gamma$ -интерферона человека. Каждая клетка, в том числе и клетки Т-лимфоцитов, синтезирует множество информационных, матричных, РНК (мРНК), содержащих на одном из концов мононуклеотидную последовательность из аденозинов, так называемую поли[А]последовательность, благодаря которой мРНК можно отделить от других РНК. В норме Т-лимфоциты не синтезируют кодирующую интерферон мРНК, но под действием энтеротоксина А такой синтез можно индуцировать (мРНК интерферона — цветные линии). С помощью фермента обратной транскриптазы с мРНК получают ее ДНК-копии, так называемые комплементарные ДНК, или кДНК, которые встраивают в векторные молекулы и клонируют. Клоны, содержащие последовательности, кодирующие  $\gamma$ -интерферон, обнаруживают с помощью гибридизации [обозначены цветом].

с денатурированными клонами помещали в раствор с радиоактивным фрагментом, который может находить комплементарные последовательности ДНК на фильтре и связываться с ними. В результате такого взаимодействия те участки фильтра, на которых расположились клоны, содержащие ген иммунного интерферона, становятся радиоактивными. По их положению теперь легко найти требуемые клоны на исходной чашке. Из идентифицированного клона был выделен ген интерферона и была установлена его первичная структура (для окончательного подтверждения «личности»).

Ген иммунного интерферона клонирован в бактериальной клетке. Но чтобы получить продукт, соответствующий нужному нам белку с помощью этого гена, его нужно перестроить. Дело в том, что в природе ген интерферона кодирует синтез не зрелого интерферона, а белка-предшественника, включающего в себя сигнальный пептид, кодируемый сигнальной последовательностью. Этот небольшой пеп-

тид нужен для того, чтобы после синтеза внутри клетки интерферон смог выделяться из клетки в окружающую среду. В процессе такой секреции сигнальный пептид отщепляется, давая зрелый белок. Этот процесс осуществляется только в животной клетке, а у бактерии иные законы, и она, как правило, неспособна правильно отрезать сигнальный пептид от белков-предшественников животных.

Поэтому, чтобы получить зрелый интерферон в бактериальной клетке, ген нужно заранее подготовить: отрезать от него фрагмент, отвечающий за синтез сигнального пептида, и присоединить часть, кодирующую зрелый белок, к регуляторным элементам бактериальной клетки, осуществляющим транскрипцию и трансляцию гена<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Овчинников Ю. А., Сverdlov Е. Д., Царев С. Д. и др. // Доклады АН СССР. 1982. Т. 265. № 1. С. 238—242.

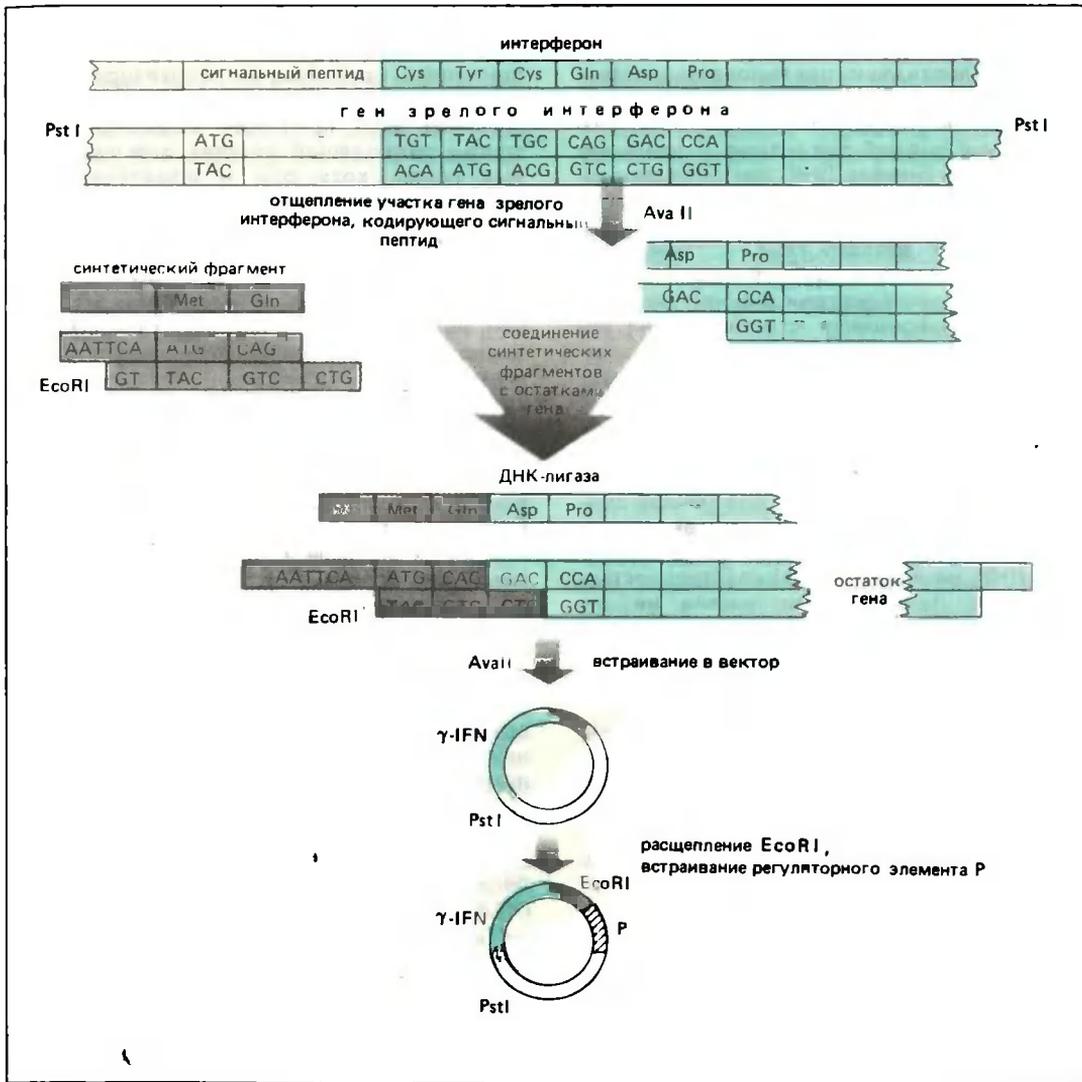


Схема реконструкции гена  $\gamma$ -интерферона. После клонирования фрагмента ДНК, содержащего ген интерферона, сам ген отщепляют с помощью фермента рестрикционной эндонуклеазы *Ava*II. Для того чтобы этот ген в бактериальной клетке работал, от него нужно отделить нуклеотидную последовательность, кодирующую так называемый сигнальный пептид. Однако рестрикционная эндонуклеаза *Ava*II отщепляет не только сигнальную последовательность, но и участок зрелого гена, кодирующий четыре аминокислоты: цистеин — Cys, тирозин — Tyr, цистеин — Cys, глутамин — Gln. Чтобы восстановить нужную последовательность, синтезировали недостающий фрагмент, добавив к нему триплет [ATG], кодирующий метионин (Met), необходимый для начала синтеза интерферона (кодон инициации). Еще одна особенность синтетического фрагмента заключается в том, что на одном конце он содержит последовательность, образующуюся при расщеплении ДНК эндонуклеазой *Eco*RI, кото-

рая необходима для встраивания фрагмента в векторную молекулу. Затем с помощью фермента ДНК-лигазы синтетический фрагмент соединили с остатком гена интерферона. Соединенные фрагменты содержат на одном конце участок, образующийся при расщеплении эндонуклеазой, — *Pst*I, а на другом — *Eco*RI. Это необходимое условие для встраивания реконструированных генов в специально подготовленный вектор. И последний этап реконструкции — это добавление регуляторного элемента P и соединение его с векторной молекулой с помощью фермента ДНК-лигазы. [A — аденин, T — тимин, G — гуанин, C — цитозин.]

Для этого необходимо воспользоваться ферментами рестрикации, разрезающими нуклеотидную последовательность в нужном месте. Правда, при этом отщепляется и часть зрелого гена. Восстановить целый зрелый ген можно с помощью химического синтеза ДНК. Мы синтезировали два фрагмента ДНК, которые содержат в себе кодоны, отрезанные при рестрикации от зрелого гена, а также сигнал начала трансляции. Расщепляя ген предшественника рестрикционной эндонуклеазой и присоединяя к остатку гена недостающий синтетический фрагмент с помощью фермента ДНК-лигазы, мы получили два варианта зрелого гена.

Теперь к гену нужно присоединить сигнал начала транскрипции (промотор) и дополнить кодон инициации трансляции еще одним необходимым для начала синтеза белка в рибосомах элементом — сравнительно короткой последовательностью ДНК, названной последовательностью Шайна — Дальгарно, по имени ее открывателей. Вся полученную конструкцию необходимо встроить в молекулу-вектор, способную размножаться в бактериальной клетке и передаваться из поколения в поколение. В качестве такой молекулы мы использовали одну из плазмид.

Собранная рекомбинантная ДНК, состоящая из элементов, обеспечивающих ее размножение, транскрипцию и трансляцию гена иммунного интерферона, была введена в клетки *E. coli*. Полученные клетки способны синтезировать очень большое количество иммунного интерферона — свыше 30 % от всех белков, синтезируемых клеткой. Легко сопоставить: из 1 л крови доноров можно получить не более 1 мкг интерферона, а из 1 л бактериальной суспензии — сотни миллиграммов, и это не предел. Иммунный интерферон, синтезированный в бактериях, по биологическим свойствам не отличается от природного, и мы надеемся, что скоро начнутся его клинические испытания.

Тот факт, что иммунный интерферон по своим биологическим свойствам идентичен природному, можно рассматривать как удачу. Этого могло не быть, поскольку бактериальные клетки не только не способны правильно отщеплять сигнальные пептиды от белков млекопитающих, они не могут также осуществлять такие процессы, как процессинг и модификацию<sup>6</sup> эукариотических белков, а в тех случаях, если белок имеет большие размеры или состоит из нескольких субъ-

единиц, бактериальные клетки могут ошибаться при создании требуемой пространственной организации синтезированных полипептидных цепей.

По этим причинам бактерии — не всегда подходящие хозяева для чужеродных генов, хотя они и привлекательны простотой обращения и своей неприязнательностью, что особенно важно для промышленности. В таких случаях, т. е. когда бактериальные клетки не могут справиться с поставленной перед ними задачей, на помощь приходят клетки дрожжей, поскольку они значительно ближе к животной клетке (дрожжи — это одноклеточные эукариоты). Однако совершенно адекватной системой для экспрессии генов млекопитающих могут быть только клетки млекопитающих. И для дрожжей, и для клеток млекопитающих уже сегодня разработаны эффективные системы внедрения чужеродных генов в клетки, их транскрипции и трансляции. Это направление генной инженерии очень быстро прогрессирует. Принципы же создания условий для синтеза чужеродных белков здесь такие же, как и в бактериях.

В настоящее время уже осуществлен синтез многих белков с помощью генно-инженерных методов. Некоторые из них проходят клинические испытания. На рынке уже имеются два генно-инженерных продукта: инсулин и гормон роста. Они прошли клинические испытания и показали себя отличными заменителями дорогих и дефицитных продуктов.

Большинство полученных сегодня генно-инженерных фармацевтических средств объединяет одно общее свойство — все они природные продукты человеческого организма, которые служат ему защитой от разнообразных неприятностей. Иногда их не хватает для того, чтобы организм самостоятельно справился с болезнью. Тогда введение присутствующих человеку белков с минимальным вредом поможет справиться с недугом или облегчить его.

## ТЕРАПИЯ ГЕНОВ

Самой молодой и наиболее привлекательной, но пока еще не осуществлен-

<sup>6</sup> Процессинг белка заключается, в частности, в расщеплении белка-предшественника ферментами протеазами. Иммунный интерферон теряет в результате процессинга три N-концевые и несколько C-концевых аминокислот. Модификация включает в себя присоединение к белку различных химических групп, например остатков сахара или фосфора.

ной областью применения генной инженерии в медицине можно считать терапию генов. Не успев родиться, это направление уже имеет довольно скандальную историю. Так, в 1980 г. в США 21-летняя девушка, болевшая талассемией, была подвергнута генной терапии и неудачно. Эта операция проводилась без разрешения различных комиссий, экспериментатор не смог доказать, что его попытка была обоснованна, и ему пришлось уйти в отставку. Тем не менее идея терапии генов не снята с повестки дня. Так, в октябре 1985 г. в США после семимесячных дискуссий приняты правила, которых должны придерживаться исследователи, занятые вопросами терапии генов. При этом разрешается только соматическая терапия и запрещаются операции, которые могут привести к наследственным изменениям. Первые применения терапии генов ожидаются в ближайшее время и, скорее всего, будут направлены на исправление некоторых дефектов, связанных с нарушением иммунитета.

В широком смысле терапия генов включает в себя как предотвращение, так и лечение генетических заболеваний. О предупреждении генетических заболеваний путем генетического консультирования и пренатальной диагностики мы уже рассказывали, поэтому остановимся на проблеме собственно лечения. С генно-инженерных позиций терапия генетических заболеваний предполагает введение в генетический аппарат человека, содержащий поврежденный ген (или гены), нормальной генетической информации. Эта операция может быть осуществлена с оплодотворенной яйцеклеткой с последующей пересадкой ее так называемой приемной матери, чтобы введенная генетическая информация наследовалась. Однако при этом возникает такое количество проблем, что говорить о реальности использования этого подхода в медицине в обозримом будущем пока еще рано.

Терапия соматических клеток, которая вызывает сейчас самое пристальное внимание, заключается во введении новой генетической информации в соматические клетки, которые имеют наследственный дефект. Введенная информация исправляет изъян только у данного индивидуума и не передается по наследству.

Такая терапия выдвигает целый ряд условий. Во-первых, ткань, поражаемая болезнью, должна быть доступной и замещаемой, она должна содержать достаточное количество делящихся (стволовых)

клеток. Лучше всего этим требованиям удовлетворяет костный мозг. Следующее обязательное условие — дефект единственного гена, который известен. Следовательно, наиболее вероятно, что первые генно-терапевтические результаты будут получены с использованием клеток костного мозга для лечения таких заболеваний, как различные гемоглобинопатии и АДА — недостаточность фермента аденозиндезаминазы.

Последняя болезнь является лучшим кандидатом для генной терапии. Дети с этим заболеванием не имеют аденозиндезаминазы и страдают от связанной с этим дисфункции В- и Т-лимфоцитов. Известно, что ген АДА локализован на хромосоме 20. Уже было показано, что болезнь можно лечить путем пересадки костного мозга, поскольку для восстановления иммунной функции не обязательно иметь 100 % нормального фермента. Значит, терапия гена в этом случае заключается в получении от пациента костного мозга, введении в его клетки нормального гена и возвращении мозга с новыми генами обратно пациенту.

Следующая проблема заключается в выборе способа введения ДНК в пересаживаемую клетку. Принципиально годится любой способ введения, но наиболее реальным в настоящее время считается введение генетической информации с помощью специально сконструированных ретровирусов, которые дают возможность вводить новую ДНК практически в каждую из обрабатываемых клеток.

Таким образом, мы попытались дать беглый очерк о применении генной инженерии в здравоохранении. Несомненно, что список продуктов, которые генная инженерия сможет предложить в качестве лекарственных средств, будет стремительно расти. Уже сейчас в него входят и гормоны, и иммунорегуляторы, и факторы роста, и неспецифические защитные вещества, и многие другие вещества, так или иначе влияющие на функции разных органов.

Путь у генно-инженерных продуктов к потребителям непрост. На нем встречается и полное отрицание, и скептицизм, и чрезмерный энтузиазм, который часто не менее вреден, чем отрицание. Я думаю, что сейчас уже ясно, что научно обоснованное использование этих средств может принести и принесет, и уже приносит огромную пользу медицине.

## ЭВМ как средство представления знаний

Ю. А. Шрейдер



Юлий Анатольевич Шрейдер, доктор философских наук, профессор, старший научный сотрудник Всесоюзного института научной и технической информации ГКНТ и АН СССР. Занимается вопросами информатики и наукоедения. Автор монографий: *Методы статистических испытаний (в соавторстве с Н. П. Бусленко)*. М., 1961; *Равенство, сходство, порядок*. М., 1971; *Системы и модели (в соавторстве с А. А. Шаровым)*. М., 1982.

### ЭВМ И «ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ»

Успехи в сегодняшнем развитии вычислительной техники проявляются прежде всего в том, что человеку становится существенно проще и удобнее работать с ЭВМ. Когда-то уличная девчонка из пьесы Б. Шоу «Пигмалион», приняв ванну в доме профессора Хиггинса, заявила: «Теперь-то я знаю, почему все люди такие чистенькие, им мыться — одно удовольствие. Посмотрели б они, как это у нас делается!» Сегодня в положении Элизы Дулитл оказались те, кто еще помнит, «как это делалось» 25—30 лет назад, когда программист должен был твердо помнить, что и где записано в памяти ЭВМ. Современный пользователь ведет с ЭВМ диалог на естественном языке, соразмеряя, правда, употребляемые выражения с известными ему возможностями ЭВМ и ее реакциями, которые он читает на экране дисплея.

Совершенствование ЭВМ пошло не только по пути увеличения их производительности — способности быстро осуществлять сложные преобразования огромных массивов данных. Одновременно совершенствовались способности ЭВМ к удобному взаимодействию с человеком. Представления 50-х и 60-х годов о пути развития

«интеллектуальных способностей» ЭВМ, т. е. развития систем, обладающих «искусственным интеллектом», оказались не совсем верными. Идеал тогдашних провозвестников «искусственного интеллекта» состоял в создании автономной от человека ЭВМ, которая была бы функционально неотличимой от человека, а впоследствии превзошла бы человеческие возможности при решении интеллектуальных задач (А. Тьюринг). Такой «искусственный интеллект» оказывается конкурентом «естественного» просто в силу своей автономности от него и чужеродности. В научной фантастике уже «проигрывались» как пессимистический вариант «искусственного интеллекта», враждебного человеку в силу своей несоразмерности с ним (С. Лем), так и оптимистический, где действовали роботы, не способные причинить человеку зло, но и не оставляющие ему поля для какой-либо серьезной деятельности (А. Азимов). Возможность построения таких роботов предполагает, что все знание, имеющее практическое значение, может быть представлено в явной и недвусмысленной форме. В этом случае логические возможности ЭВМ имели бы потенциальное преимущество перед человеком. Получив взаймы от своего создателя некоторый запас знаний, «искусственный интеллект» начинает сам получать но-

вые знания о деятельности, обрабатываемые поступающие данные и, тем самым, самообучаясь. Предположение о логической представимости знаний — основа уверенности творцов «искусственного интеллекта» в том, что на ЭВМ можно создать модель действительности, позволяющую ориентироваться в возникающих ситуациях по крайней мере не хуже, чем это делает профессионал.

Уверенность в том, что это возможно хотя бы в принципе, хотя бы в отдаленном будущем, составляет подоплеку программы «искусственного интеллекта» — исходную познавательную установку исследователей в этой области. Из такой уверенности естественно вытекает, что из модели действительности с помощью изощренных логических приемов можно извлечь все знания о моделируемом фрагменте этой действительности, необходимые для принятия наиболее целесообразного решения.

Главное здесь в том, что идея моделирования такого фрагмента служит необходимой предпосылкой для всей программы искусственного интеллекта. Дело в том, что информация, содержащаяся в ЭВМ, полностью открыта для оперирования средствами ЭВМ: в ней нет и не может быть ничего подразумеваемого, неосознанного, интуитивного. Если эта информация образует автономную (т. е. не требующую дополнительного обращения к знаниям человека) модель действительности, включающую и оценки возникающих в этой деятельности ситуаций, то ЭВМ в принципе может на основе логических процедур найти наилучший способ оперирования в рамках этой модели. Все дело сводится к тому, чтобы найти достаточно изощренные логические процедуры.

Вера в возможность создания автономных от человеческого знания систем искусственного интеллекта опирается на вполне определенную концепцию знания, а именно: на представление о том, что для принятия жизненно важных решений достаточно логически оформить явное знание, ибо только такого рода знанием можно наделить искусственно созданный объект — ЭВМ или робот. Предполагается, что интуиция, спонтанные творческие акты, внелогические суждения — все это как бы не идет в счет и практически может быть заменено логическими операциями над представленными в ЭВМ данными. Плоды интуиции можно взять «взаимы», но интуицию не следует серьезно брать в расчет — вот точка зрения, на

которой фактически стоят создатели искусственного интеллекта в традиционном понимании. При этом не учитывается концепция личностного знания, имеющая корни в представлении о знании как воспоминании. Мы многое знаем, но не умеем это выразить и даже не осознаем это знание. И все же мы успешно опираемся на это знание, но не имеем возможности рассказать о нем. Принять такое знание можно только путем подражания действиям знающего. Для того чтобы представить его в ЭВМ (или записать на бумаге), нужно приложить усилия, чтобы это знание выразить, артикулировать. Собственно, до того, как знание выражено, это еще не вполне знание, но лишь его необходимый компонент — некое «мыслительное ощущение». По свидетельству гроссмейстера С. Флора, когда у А. А. Алехина спрашивали, на каком языке он думает, рассчитывая свои комбинации, он отвечал: «Если я, играя в шахматы, иногда и думаю (курсив мой.— Ю. Ш.), то только по-русски»<sup>1</sup>. Из этого свидетельства следует заключить, что основное используемое Алехиным знание о шахматной партии не было выражено в словах, но проходило на уровне «мысленного ощущения». Анализ этого ощущения позволил бы сформировать вербализованное знание о шахматной игре. В своей профессиональной деятельности мы очень часто осознаем, что лежит в основе тех «мысленных ощущений», которые позволяют высказать профессиональные суждения, — принять решения. Чтобы описывать логические процедуры, нужно еще подготовить то, над чем их можно выполнять: явно сформулированное знание.

В 60-е годы упования энтузиастов «искусственного интеллекта» в значительной мере связывались с идеей универсального «решателя проблем» — алгоритма, отыскивающего наилучшее решение на основе имеющейся в ЭВМ модели действительности.

Фактически были найдены весьма тонкие средства перебора и оценки возможных решений, но оказалось, что сами по себе они не дают желаемого эффекта в практических задачах. Речь идет даже о тех предметных областях, где, казалось бы, модель соответствующего фрагмента действительности, достаточная для выражения всех его существенных свойств, имеется в наличии. Например,

<sup>1</sup> Флор С. Сквозь призму полувека, М., 1986. С. 71.

структурная формула химического соединения, содержащая всю нужную информацию об этом соединении, представляется как вполне определяющая лекарственные свойства соответствующего соединения. Такой алгоритм и был построен в системе, разработанной в СССР под руководством В. К. Финна<sup>2</sup>. Но чисто логически этот алгоритм не выводил нужные свойства из описания структурной формулы. Он использует индукцию на основе уже накопленных человеческих знаний о том, что некоторые особенности химической структуры говорят в пользу наличия определенной биологической (лечебной) активности этого соединения, а некоторые — свидетельствуют против этого. Алгоритм ищет эти особенности структуры и, при наличии первых и отсутствии вторых, выносит вердикт о необходимости лабораторной проверки того или иного вещества на биологическую активность.

В этом примере проявляется специфическая человекосоразмерность современных «интеллектуальных систем», противостоящая описанному выше идеалу «искусственного интеллекта». Вместо автономного накопления знания в виде самостоятельной логически вырабатываемой модели действительности в «интеллектуальной системе» создается модель человеческого знания. При этом вовсе не предполагается, что знание обязательно имеет четко выраженную логическую структуру, личностное знание человека вообще может быть не артикулировано, не выражено в языке. Важно создать в ЭВМ явное представление этого знания, на основе которого пользователь получит нужные ему рекомендации. Представление знаний в машинной базе знаний оказывается необходимым этапом при использовании ЭВМ в интеллектуальных системах, в процессе познания.

Так появляется новая, альтернативная к традиционной, точка зрения на использование ЭВМ в интеллектуальных процессах. Эта точка зрения тесно связана с появлением в 1975 г. в трех вузах США проекта создания экспертных систем.

### ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Новая точка зрения на решение проблем с помощью ЭВМ заложена в самой структуре экспертной системы, которая состоит из трех основных компонентов:

база данных, представляющая модель ситуации, в которой требуется принимать решения; база знаний — модель знаний эксперта, которые представлены в виде особых правил (продукций, имеющих форму «если... то» (явление — реакция); решатель проблем, или «машина логического вывода», управляющая порядком применения продукций к анализируемой ситуации и выбором рекомендуемого решения. Кроме основных, в состав экспертных систем могут входить и различные дополнительные компоненты, обеспечивающие комфорт пользователя или, как сейчас принято писать в англоязычной литературе, «дружественное», даже «учтливое» к пользователю (*friendly, graceful to user*) взаимодействие с ЭВМ. К числу таких компонентов относится очень важный, с точки зрения человекосоразмерности экспертной системы, «блок объяснения», представляющий, по желанию пользователя, отчет о том, как и какие продукции использовались при выборе предлагаемого варианта решения. Но при этом сами продукции не мотивируются, а это, как мы увидим далее, имеет большое значение.

Из трех перечисленных компонентов экспертной системы два не представляют принципиально нового. База данных — традиционное средство создания в ЭВМ модели конкретных ситуаций действительности, а идея решателя проблем была найдена еще в 60-е годы и ныне может быть реализована различными способами, включая средства индуктивной логики. Принципиально новым открытием, обусловившим широкий практический успех экспертной системе, было создание баз знаний, позволивших представить профессиональное знание специалистов-экспертов в некоторой достаточно ограниченной предметной области. Считается, что увеличение полноты охвата знаний в предметной области гораздо важнее для эффективности экспертной системы, чем усовершенствование ее логики. Если система «искусственного интеллекта» в идеале должна быть автономной от своего создателя, пополнять свои «знания» за счет создания модели действительности и ее логического анализа, то экспертная система с самого начала ориентирована на человеческие знания экспертов. Решающую роль в ее работе играет представление знаний в базе знаний. Предполагается, что трудные решения приходится принимать в плохо структурированных областях, где логика действий достаточно запутанна, а

<sup>2</sup> Финн В. К. Информационные системы и проблемы их интеллектуализации // Научно-техн. информация. Сер. 2. 1984. № 1. С. 1—14.

профессионал опирается на интуицию. Поэтому следует собирать знания профессионалов, представлять их, скажем, в виде правил-продукций (используя еще так называемые фреймы, тезаурусы, семантические сети и другие средства моделирования человеческих знаний). База знаний — это как бы справочная книга, вобравшая в себя знания специалистов, на основе которых сама эта книга формирует варианты решений, приемлемых для пользователей.

Ответственность за эти решения несет сам пользователь, для которого логика рассуждений экспертной системы оказывается открытой. Работа с такой системой напоминает использование практикующим врачом консилиума специалистов, помогающих ему поставить правильный диагноз. Как консилиум не может заменить лечащего врача, так и экспертная система не заменяет специалиста-пользователя, но предлагает ему варианты решений, которые тот может использовать в соответствии со своей компетенцией.

Сложность и, соответственно, мощность экспертной системы характеризуется количеством продукций, хранящихся в базе знаний. Чисто демонстрационные системы используют десятки продукций. Так, одна фирма, занимающаяся продажей персональных ЭВМ, продемонстрировала экспертную систему, которая советует покупателю, какую ЭВМ ему следует приобрести. Система эта, естественно, была реализована на персональной ЭВМ, что служило дополнительной демонстрацией предлагаемого товара. Практически действующие ЭВМ сегодня содержат 200—500 продукций, а японский проект ЭВМ пятого поколения предполагает создание базы знаний на 10—20 тыс. продукций. Разумеется, увеличение «объема знаний» усиливает нагрузку решателя проблем. Здесь требуется и ускорение работы самой ЭВМ, и усовершенствование логики перебора.

Принципиальным является то, что экспертные системы не ориентированы на замену ЭВМ интеллектуальных функций человека, как предполагалось в классических системах. Создаваемые экспертные системы не только не вытесняют человека из каких-либо интеллектуальных сфер деятельности, но, наоборот, ориентируются на то, что профессиональные знания специалиста лучше описывают плохо структурированную действительность, чем любая искусственная модель. Роль же экспертной системы состоит в том, чтобы сделать экспертные знания достоянием лю-

бого специалиста в данной области независимо от пространственно-временных ограничений. При этом от пользователя требуется профессиональное творческое владение предметом, иначе он не сможет извлечь из этой системы нужных знаний. В идеале пользователь в процессе взаимодействия с экспертной системой сам становится экспертом, и его знания учитываются в системе. Если искусственный интеллект (в традиционных его интерпретациях) отводит человеку пассивную роль — перекачивать на ЭВМ тяжесть трудных решений и их интеллектуальной подготовки, то экспертные системы ориентируются на пользователя, который способен самостоятельно принимать ответственные решения с учетом всего, что предоставляют ему через такие системы другие опытные профессионалы.

Если ортодоксальная точка зрения программы «искусственного интеллекта» состоит в недоверии к интеллектуальным (по сути — логическим) способностям человека, в стремлении отвести ему подчиненную роль во взаимодействии с ЭВМ, то с позиции экспертной системы наиболее эффективно использовать ЭВМ как средство интеграции и активации личностных потенциалов человека. Значительная часть наиболее интересных экспертных систем разрабатывается в США: в Стэнфордском университете — 14, Массачусетском технологическом институте — 7, в университете Карнеги-Меллона — 4. Именно в этих учебных заведениях — 7 началась разработка проекта, приведшего к созданию экспертных систем и к первым практическим успехам в 1980 г.<sup>3</sup>

В СССР, кроме упомянутой системы по биоактивным свойствам химических соединений, существует система АВТАНТЕСТ, помогающая психологам при анализе тестов, и некоторые другие. Согласно Д. А. Поспелову, экспертные системы можно разделить на консультирующие, диагностирующие, объясняющие, используемые для автоматизации научных исследований или проектировании и т. п. Существуют различные способы представления знаний и методы работы экспертной системы с базой знаний (от признаков ситуации к результатам или от целей к проверке условий). Но главное здесь все

<sup>3</sup> Clark A., Cronin B. Expert systems in scientific information exchange // J. Librarianship. 1983. V. 15. N 4. P. 277—292; Redmond J., Gleeson J. F. Expert systems in computer and electronic systems // Informatica (СФРЮ). 1985. V. 9. N 4. P. 36—45.

же, повторим, зависимость интеллектуальных систем от человеческого личностного знания, которое ЭВМ не может создать автономным от человека способом.

Осознание этой зависимости и вместе с тем зияющего разрыва между личностными знаниями человека и их объективным представлением в ЭВМ или в тексте (т. е. в информации) имело существенные последствия. Оно привело к созданию новой профессии — инженерии знаний, или когнитологии.

## ИНЖЕНЕРИЯ ЗНАНИЙ

Отношение между человеческим знанием и представляющей его информацией в ЭВМ можно выразить, например, так. Композитор создает музыку, но записывает ноты (представление музыки). Музыкант-исполнитель читает ноты, но воссоздает музыку. Музыкальный педагог может специально сочинять ноты, полезные для развития техники. Тогда дело исполнителя правильно исполнить эти ноты.

Человеческое знание неотторжимо от личности. В процессе освоения, в процессе предварительного знакомства с предметной областью это знание может состоять из формальных суждений, еще не составивших в сознании человека целостного образа действительности. Поэтому целесообразно отличать профессиональное знание, как пережитое и органически включенное в сознание, от знания дилетантского или ученического. Профессиональное знание отличается от дилетантского или ученического тем, что оно не может быть исчерпывающе выражено на рассудочном уровне, низведено до инструкции, недвусмысленного указания, что надо делать в той или иной конкретной ситуации. Ученику порой легче, чем дипломированному специалисту, ответить на экзамене, ибо он еще не привык вдумываться в конкретную ситуацию, видеть в ней особенный казус, требующий не только логического разбора, но и напряжения интуиции.

Профессиональное знание в отличие от ученического состоит не только и не столько из общих принципов, сколько из знания ряда конкретных случаев, способности видеть реальную сложность проблем и интуитивно предвидеть целесообразные решения.

Трудности, связанные с моделированием (представлением) знаний профессионала, в базе знаний выступают в двух ипостасях, имеющих общую природу.

С одной стороны, любое описание профессиональных личностных знаний не равносильно самому знанию. Представленное в тексте на естественном языке или в ЭВМ, оно оказывается всегда огрубленным, лишенным существенных обертонов, интуитивных намеков и т. п. В сущности, эта проблема не специфична для использования ЭВМ в представлении знаний. Она возникает и при попытке описать профессиональные знания в монографии, статье или учебнике. Такой текст не может служить «инструкцией» по применению описываемых им знаний. Он рассчитан на сотворчество читателя-специалиста, способного на основе информации, спрятанной в тексте, воссоздать знание, равносильное знанию автора этого текста. Этим же условиям должно удовлетворять и знание, представленное в ЭВМ. Оно должно побуждать пользователя к сотворчеству — дешифровке моделируемого в ЭВМ знания.

Во-вторых, профессионал, чье знание должно моделироваться в базе знаний, сам не осознает его полностью — он не в состоянии по своей воле «вызвать» любой фрагмент своего знания и поставить его под контроль сознания. Иными словами, он сам не полностью владеет знанием о собственном знании. Это означает, что профессиональное знание в значительной мере является бессознательным — существует как неотъемлемая часть личности своего носителя. Профессионал чаще всего не осознает своих установок, с которыми он подходит к решаемой проблеме, не формулирует для себя пресуппозиций — тех истин, без которых утверждения в данной области лишены смысла. Словом, знание профессионала-эксперта необходимо до его представления в базу знаний превратить в явное.

Оба эти обстоятельства делают столь трудной проблему отчуждения экспертных знаний в базу знаний и одновременно столь важной для процесса познания. Вопрос о том, как формализовать эти знания и как с ними оперировать, решается в экспертной системе с помощью уже разработанных методов: знания представляются в виде фреймов, продукции, тазауров, классификаций и т. п. Нужный порядок их применения к данному казусу определяется «решателем проблем». Для того чтобы получить от эксперта его профессиональные знания и заполнить им базу знаний, нужны специалисты в особом роде области — в так

называемой инженерии знаний (knowledge engineering). Этим специалистов—инженеров по знаниям, или когнитологов, готовят в США в течение двух лет на основе высшего образования в области системотехники или программирования<sup>4</sup>. Уже из этого видно, что главным в их обучении является не формализация знаний (это умение дает уже базовая подготовка), но методика выявления, вербализации и отчуждения профессиональных знаний индивидуальных экспертов, а также способы представления этих знаний в базе знаний и работы с ними. Главная трудность состоит в том, что этого не может сделать специалист, не осознающий полностью своих знаний. Так, например, опытный диагност не всегда может сформулировать правила постановки диагноза и, соответственно, обучить им своих коллег.

Задача когнитолога — получить из общения со специалистом-экспертом необходимое для функционирования экспертной системы профессиональное знание. Для этого в его распоряжении имеются специальные методики интервьюирования экспертов и способы представления экспертных знаний в виде продукции. Показателен рост количества когнитологов, подготавливаемых в западных странах.

Если в 1982 г. общее количество когнитологов в западноевропейских странах и в США составляло 250 человек, а в 1985 г. превысило тысячу, то в 1990 г. оно должно составить не менее 6 тыс. участвующих в разработках экспертных систем специалистов<sup>5</sup>. При интервьюировании когнитолог имеет возможность продемонстрировать эксперту работу создаваемой экспертной системы с теми продуктами, которые удалось выявить к текущему моменту беседы. Такая демонстрация способствует углублению рефлексии специалиста и развитию его диалога с когнитологом. Когнитолог помогает профессионалу осознать интуитивное, неявно выраженное знание специалиста для того, чтобы его закрепить, а не преодолеть какие-либо тенденции или скрытые мотивы творчества. Эксперт должен быть уверен, что интервью может только способствовать укреплению его знаний и творческих потенций, а запись их в экспертной системе гарантирует его авторские права.

Здесь мы опираемся на концепцию личностного знания, придающую фунда-

ментальное значение неартикулированному компоненту. Сам носитель такого знания часто стремится выразить его метафорически, через притчу, смысл которой открыт лишь человеку, достаточно глубоко проникнувшему в предметную область и умеющему воплотить эту метафору в конкретное решение.

От эксперта не полагается требовать обоснования формулируемых в процессе интервьюирования правил-продукций. Подобные требования заставили бы эксперта отфильтровывать лишь те правила, которые он сравнительно легко умеет обосновывать. От эксперта нельзя требовать и соотношения своего знания с общепринятыми мнениями в его области или же с мнениями других экспертов. Несоблюдение сформулированных выше условий приведет к тому, что эксперт будет явно или неявно сопротивляться интервьюированию, а оно может быть успешным лишь при гарантированном сотрудничестве. Когнитолог должен уметь задавать эксперту те вопросы, которые тот никогда не задает себе сам (это принцип исследования бессознательного по А. А. Брудному<sup>6</sup>), но на который только этот эксперт и в состоянии дать полноценный ответ (принцип уникальной компетенции эксперта). От эксперта нельзя требовать обоснования его собственных суждений: контроль здесь может только помешать, а задача интервью — выявить знания эксперта (вплоть до противоречивых), а не получить адекватное и обоснованное описание действительности. Гносеолог исследует знания, а когнитолог конструирует описание знаний экспертов (не случайно он называется инженером). От эксперта нельзя требовать специальных обобщений своих знаний, формулировки общих принципов. В ряде случаев его профессиональные знания описываются как прецеденты с сильной мотивировкой предлагаемых действий. Все такого рода предосторожности необходимы, чтобы сохранить аутентичность описаний профессиональных знаний, не исказить их рефлексией о том, как «полагается формулировать знания».

Когнитолог должен уметь посмотреть на разбираемые с экспертом ситуации глазами эксперта, но посмотреть осознанно, выявляя не рефлекслируемые самим экспертом познавательные установки. Очень важно показать эксперту, как функ-

<sup>4</sup> Clark A., Cronin B. Op. cit. P. 284.

<sup>5</sup> Redmond J., Gleason J. F. Op. cit. P. 41.

<sup>6</sup> Брудный А. А. О бессознательных компонентах процесса понимания // Бессознательное. Т. 2. Тбилиси, 1979. С. 219—224.

ционирует экспертная система с уже представленными знаниями. Такая обратная связь помогает эксперту скорректировать это представление, дав более адекватную формулировку собственных знаний. Когнитолог должен отдавать себе отчет, что он вмешивается в сознание эксперта, и это налагает на него особую профессиональную ответственность. Он не имеет права нанести ущерб творческим потенциям эксперта. Когнитологической практикой должны заниматься только профессионалы.

На сегодня нет удовлетворительного ответа на вопрос о том, как вводить знания нескольких экспертов в базу знаний. Необходимость использования группы экспертов очевидна, чтобы иметь в базе знаний разные аспекты проблемы. Но что делать, если мнения экспертов явно или неявно противоречат друг другу или за ними следуют различные рекомендации? Попытки найти усредненное мнение заранее обречены на провал. Усредняя мнение гениев, мы в лучшем случае получим мнение посредственности. Убирая противоречивые мнения — обедняя модель экспертных знаний. Остается один путь — искать логику работы с противоречиями, что, конечно, не так-то просто.

Все, о чем до сих пор сказано, основано на реальном опыте работы когнитологов с экспертами. Бывали случаи (в ряде институтов), когда эксперт не шел на разговор с когнитологом, потому что не нашел с ним общего языка, потому что хотел предварительно написать книгу или серию статей и по ряду других причин. Но эти реально существующие трудности нужно учитывать в будущих разработках.

## НАСТОЛЬНАЯ КНИГА БУДУЩЕГО

В процессе заполнения баз знаний знаниями специалистов персональные ЭВМ превращаются в настольные книги будущего. Причем в отличие от бумажной, эта книга приспособливает свой текст к конкретному случаю. В основе аналогии баз знаний с книгой лежит то обстоятельство, что самый обычный текст содержит фрагмент сознания автора. В частности, деловой или научно-технический текст есть модель того фрагмента знаний, которыми обладает автор. Здесь возникают те же трудности, что и при представлении знаний в экспертной системе, только авторы и читатели книг, статей и рукописей за многие сотни лет успе-

ли к этим трудностям настолько адаптироваться, что перестали их замечать. Впрочем, еще сравнительно недавно чтение художественной литературы было настолько трудным, что богатые (причем грамотные) люди нанимали чтецов. Эмансипация пользователей от посредников-программистов началась всего несколько лет назад с появлением персональных ЭВМ.

Эта аналогия принадлежит известному советскому специалисту М. Л. Колчинскому и очень поучительна для понимания того, что сейчас происходит при распространении ЭВМ.

Что же касается возможности представить в письменном тексте знание, то еще Сократ предупреждал Федра: «Глуп и тот, кто надеется запечатлеть в письменах свое знание, и тот, кто потом вознамерится извлечь его оттуда нетронутым и годным к употреблению». Здесь уже прямо упоминается та самая ситуация, о которой мы говорили в связи с представлением знаний в экспертной системе: владелец знания не может его адекватно выразить в тексте, рискуя получить нечто, отличное от того, что имел в виду автор. Сократ предупреждает о пропасти, существующей между знанием человека и текстом, в котором он его воплощает или из которого он пытается его получить. Знание не упаковывается в текст, а моделируется в нем в дискурсивной, а следовательно, упрощенной форме. Надежда на то, что оно будет адекватно воспринято адресатом, зиждется на вере в творческие способности последнего: в то, что он воспримет текст не как буквальную инструкцию, но как «намек», позволяющий воссоздать архитектуру моделируемого знания. Разумеется, намек может быть понят неточно или неполно — в этом состоит риск коммуникации через тексты. Изучая предмет по учебнику, мы не заучиваем текст, а восстанавливаем по нему структуру знания, воссоздаем из перечня факторов целостную картину предметной области.

Нам сегодня представляется не просто естественным, но и неизбежным, что профессионал передает свои знания ученикам и коллегам через книги и статьи. Если бы вдруг исчезли все книги и журналы, то развитие науки затормозилось бы, если не прекратилось бы совсем. Тем не менее опыт говорит о том, сколько важно в науке непосредственное ученичество — живое общение с учителем,

<sup>7</sup> Платон. Федр. 275Д. Перевод Г. Ч. Гусейнова.

сколь необходимы встречи с коллегами, непосредственная передача опыта. Если представить себе, что все личные контакты между учеными оборваны, все исследователи «запрыгались» в свои непроницаемые кабинеты, из которых они сообщаются только путем отчетов и публикаций, то разрушение сложившегося хода науки было бы еще разительней, чем от лишения текстовой коммуникации. Сократ предупреждал правильно: надежда на передачу знаний только через тексты иллюзорна. Знания нуждаются в непосредственной передаче. Передача знаний через тексты не заменяет и не может заменить непосредственного общения (мечтать об этом было бы, согласно Сократу, глупостью), но органически дополняет его. Эту особенность научных коммуникаций удачно выразил Р. С. Гиляревский: «Потребность в сохранении и распространении знаний, вызвавшая к жизни письменность, не отменила потребности в личном общении, удовлетворяемой устной речью: необходимость в большом числе идентичных экземпляров того или иного произведения, приведшая в середине XV в. к изобретению Гутенберга, не ликвидировала необходимости в написании рукописей, научной переписке и личном общении между учеными. Появление в 1665 г. и быстрое развитие научных журналов не привело к отмиранию научной книги. Новые формы коммуникации не устраняют, а лишь дополняют прежние, перераспределяя функции между ними»<sup>8</sup>. Культуре (в отличие от техники) свойственно сохранение традиционных форм в тесном симбиозе с самыми новейшими: семидневная неделя не отменена с появлением системы Коперника, клавишинная музыка прекрасно звучит на телевидению и т. д. Если экспертные системы рассматривать не только как техническое достижение, но как явление культуры, то мы сможем себе представить их место в сфере научно-технических и деловых коммуникаций.

Можно предположить, что, частично освобожденная от задачи непосредственно передавать накопленные профессиональные знания, печатная книга в большей мере возьмет на себя функции рассказа о профессиональной деятельности, функции «научной журналистики».

Сегодня интерес к этому жанру и его значение резко возрастают, но для него нет достаточного места в научных издательствах. Развитие ЭВМ по пути «на-

стойной книги» может освободить место для тех книжных жанров, функции которых не заменяются «интеллектуальными системами». «Книжный» путь развития этих систем ведет не к уменьшению нагрузки на человеческий интеллект, но к ее увеличению. Как книгопечатание повлекло за собой развитие общей грамотности и особой культуры чтения книг, так и развитие ЭВМ в качестве «настоющих книг будущего» потребует широкого распространения особой «компьютерной» грамотности и особой культуры обращения с экспертной системой. Пользователь, не овладевший профессионализмом и компьютерной культурой, не сможет получать знания посредством ЭВМ. Здесь таится социальная опасность культурного неравенства, делающего людей, не получивших необходимых культурных навыков, неспособными получать те профессиональные знания, которые нужны для успешной деятельности в условиях научно-технического прогресса. Об этих социальных проблемах наступающего будущего приходится думать уже сейчас, закладывая овладение компьютерной культурой (а не только грамотностью) в школьную программу.

Тот путь развития ЭВМ, который привел к созданию идеи экспертной системы, требует не превращения человека в придаток «искусственного интеллекта», но укрепления важнейших человеческих качеств: ответственности, творческой самореализации, способности ориентироваться в неожиданных ситуациях и критически оценивать собственные решения. В этих условиях общество должно обеспечить личности возможность раскрытия своих высших способностей. В условиях социальной несправедливости, в условиях капиталистической монополии на средства производства компьютерная культура, и тем самым доступ к быстро развивающимся профессиональным знаниям, может оказаться уделом замкнутой элиты. Техника сама по себе не решает социальных проблем — она их порождает, обостряет и одновременно дает средства для их решения. Но решать эти проблемы можно только путем справедливого устройства общества, дающего всем возможность приобщиться к культуре и знаниям.

## ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЕ

Когда профессор Хиггинс взялся на пари обучить уличную продавщицу цветов Элизу Дулитл правильной английской речи, он обещал, что ей не только можно

<sup>8</sup> Гиляревский Р. С. Информатика и библиотекосведение. М., 1974. С. 93.

будет побывать на приеме в королевском дворце, но и получить место продавщицы в цветочном магазине. Оказывается, и такая карьера в Англии (по крайней мере, тех времен) требовала культуры речи. Вообще, владение определенным уровнем культуры, специфичной для данного общества, есть необходимое условие успешного функционирования в этом обществе. От этого зависит возможность выбора профессии и занятий, а также многое другое. Если человек не обладает необходимой культурой, он не в состоянии полноценно обучаться и как следует функционировать на сколько-нибудь ответственном посту. Культура одновременно условна (культурные навыки не обязательны для выживания) и необходима (без таких навыков трудно действовать в рамках этой культуры). Чтобы повышать свой профессиональный уровень или переквалифицироваться, нужны навыки обращения с литературой и знание некоторых иностранных языков. Чтобы понимать окружающих и, тем самым, сотрудничать с ними, надо быть, по крайней мере, на уровне их культуры. Грамотность есть лишь первый шаг к овладению культурой. Так бывает всегда, о какой бы области грамотности или культуры мы ни говорили. Быть культурным в музыке, поэзии, математике или шахматах можно лишь при условии грамотности в соответствующей области. Нельзя быть культурным в музыке, не зная азов нотной грамоты, или в шахматах — не умея читать запись ходов. Информационная грамотность сегодня — это навыки элементарного обращения с персональной ЭВМ, т. е. с ЭВМ, предназначенной для массового пользователя, не обладающего специальными навыками программирования. Информационная культура состоит в выработанной привычке получать знание через ЭВМ — ровно так, как сегодня мы получаем их через книги, и записывать их в ЭВМ, как записываем сегодня в тетради или картотеки.

Сократический диалог между когнитологом и экспертом при извлечении из него знаний для представления в базе знаний, в некотором смысле должен компенсировать невозможность непосредственного устного диалога учителя с обучающимся. Последний не может встать в положение ученика выдающегося специалиста, но перед ним плод диалога этого специалиста с когнитологом и возможность войти в этот диалог через общение с экспертной системой. При соответствующей информационной культуре это уже не

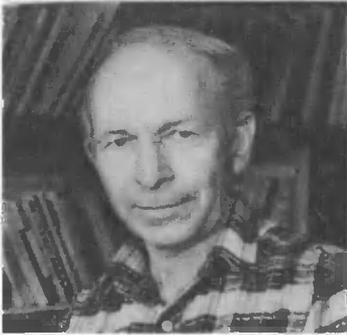
мало. От культурности и творческой активности (которая тоже в значительной мере воспитывается в соответствующей культуре) самого обучаемого зависит то, насколько он способен выучиться. При таком способе получения знаний нет способов вытягивать двоечников, нет возможности пассивно схватывать некую жвачку.

Культурный порог здесь действует уже при самом обучении. Тот, кто не овладел информационной культурой, оказывается в положении Элизы Дулитл до прохождения курса у профессора Хиггинса — он не имеет шансов повысить свой социальный статус. Ускоренный ход научно-технического прогресса заставляет уже сегодня значительную часть людей, выполняющих квалифицированную работу, переквалифицироваться несколько раз в течение жизни. Отказаться от овладения необходимой культурой не может себе позволить никакое здоровое и динамичное общество, не рискуя резко деградировать. Справедливый выход здесь только один: создать в системе образования возможность массового овладения информационной культурой, опирающейся на всеобщую — информационную — грамотность. Слово «культура» здесь весьма значимо. В нем содержится и то, что никакая профессиональная культура невозможна без общей, без развития творческих способностей восприятия, когда новое не отпечатывается в обучающемся, как печать на пластине, но творчески воссоздается им. Если информационную грамотность можно распространять за счет общечеловеческой (гуманитарной) подготовки, то с информационной культурой это не проходит — она требует (как и любая культура) гармонического развития личности и (как и любая культура) не дается «дешевыми» средствами.

Между знаниями в человеке и их представлением в ЭВМ или в письменных знаят пропасть, через которую не так-то просто построить мост. Мост, связывающий ЭВМ и отдающего знания эксперта, строит когнитолог в сложном и долгом процессе интервьюирования и протоколирования действий эксперта в многообразных ситуациях. Мост, соединяющий с ЭВМ обучающегося (получающего совет), — это информационная культура и творческая активность последнего. Только наличие обоих мостов делает возможным практически полезное использование экспертных систем, а тем самым создание из пользователя и его персональной ЭВМ интеллектуальной системы.

## Большое Красное Пятно Юпитера и его экспериментальное моделирование

М. В. Незлин



Михаил Вениаминович Незлин, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. Область научных интересов — физика неравновесной плазмы, гидродинамическая неустойчивость, нелинейные волны. Автор монографии: Динамика пучков в плазме. М., 1982.

В южной полусфере Юпитера существует грандиозный атмосферный вихрь, имеющий вид овала, большая ось которого ориентирована вдоль 22-й параллели ю. ш. планеты. По размерам он значительно превышает нашу, Землю: длина большой оси 20—25 тыс. км, а малой — 10—12 тыс. км. Вихрь вращается вокруг вертикальной оси с периодом около недели, т. е. медленно по сравнению с юпитерианскими сутками, продолжительность которых составляет около десяти земных часов (этим он резко отличается от ураганов и особенно от смерчей, которые вращаются значительно быстрее планеты). Направление собственного вращения вихря — антициклоническое: вектор его угловой скорости антипараллелен проекции вектора угловой скорости вращения планеты на местную вертикаль. Этот вихрь не стоит на месте, а дрейфует как целое в западном направлении (против вращения планеты) со скоростью 3—4 м/с, совершая полный оборот за 10—15 лет. За свои размеры и красноватый цвет, обусловленный составом атмосферы и температурными условиями, он был назван Большим Красным Пятном Юпитера (БКПЮ).

БКПЮ наблюдается уже около 300 лет, т. е. приблизительно в тысячу раз дольше времени жизни наиболее крупных вихрей в атмосфере Земли, не

испытывая при этом радикальных изменений. Принципиально важно, что БКПЮ обдувается с севера и юга «раскручивающими» его встречными течениями западно-восточного направления, скорость которых в центре вихря близка к нулю, а на его северном и южном краях доходит до 50—80 м/с. Это так называемые зональные течения, направление которых изменяется приблизительно периодически при смещении вдоль меридиана. Эти течения, согласно современным взглядам, представляют собой результат эволюции двумерной турбулентности атмосферы: малые вихри сливаются и образуют кольцевые течения вдоль параллелей, увеличению же масштабов вдоль меридиана препятствует сила Кориолиса, поэтому получают зональные течения, меняющие свое направление в пространстве с некоторым характерным периодом, который по порядку величины составляет на Юпитере 10 тыс. км.

БКПЮ давно привлекает к себе пристальное внимание исследователей. По поводу его происхождения и механизма формирования были высказаны различные гипотезы. Так, четверть века назад английский исследователь Р. Хайд предположил, что этот вихрь является антициклоническим «водоворотом», который возникает вследствие того, что зональное течение встре-

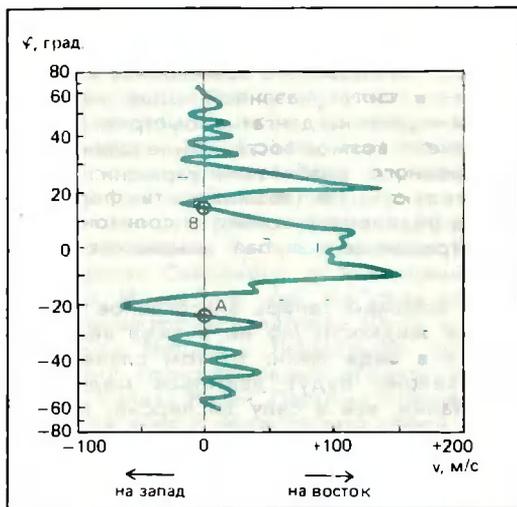
Фотография атмосферы Юпитера, полученная «Вояджером-2». [Из кн.: Lugt H. Vortex Flow in Nature and Technology. N. Y., 1983.] Черный овал в середине правой части снимка — Большое Красное Пятно Юпитера, ниже — Белые Овалы.



Вихрь Большое Красное Пятно в более крупном масштабе. Видны зональные течения, внутри которых он существует [Из кн.: Lugt H. Vortex Flow in Nature and Technology.]



чает на своем пути некоторую топографическую особенность — «пень». Однако в настоящее время известно, что, во-первых, под облаками Юпитера, в которых наблюдается БКПЮ, нет твердой поверхности (газообразная атмосфера простирается до самых глубоких слоев планеты, и «пень некуда вбить») и, во-вторых, как уже указывалось, БКПЮ дрейфует относительно планеты. Поэтому гипотеза Хайда имеет сейчас лишь исторический интерес.



Зональные течения в атмосфере Юпитера: скорость ветра  $v$  как функция географической широты  $\varphi$ . На широте А — вихрь БКПЮ, на широте В — Коричневые Овалы (профиль скорости течений циклонический, но резкий).

Согласно другому взгляду на БКПЮ, предложенному американским исследователем А. П. Ингерсоллом, рассматриваемое явление природы представляет собой свободный атмосферный вихрь, не связанный с какими-либо топографическими особенностями планеты и сосуществующий с зональными течениями в ее атмосфере. Этот взгляд, как мы увидим, уже вполне примыкает к современным представлениям.

В последние 10 лет интенсивно разрабатывается физическая концепция, в которой вихрь БКПЮ ассоциируется с другим фундаментальным явлением, открытым около 150 лет назад и носящим название «солитон». Здесь будут представлены экспериментальные свидетельства, решительно

поддерживающие солитонную концепцию БКПЮ. Это результаты исследования впервые созданного в лаборатории солитонного вихря, который, во-первых, по своим параметрам, характеристикам движения и столкновений с другими вихрями подобен БКПЮ и, во-вторых, генерируется и стационарно поддерживается встречными и зональными течениями, аналогичными существующим на реальной планете. Такая самоподдерживающаяся локализованная стационарная структура, проявляющая свойство самоорганизации, называется автосолитоном. Эксперименты, о которых пойдет речь, были выполнены в Отделении физики плазмы Института атомной энергии им. И. В. Курчатова в 1981—1985 гг. С. В. Антиповым, М. В. Незлиным, В. К. Родионовым, Е. Н. Снежинским, А. С. Трубниковым<sup>1</sup>.

### ЧТО ТАКОЕ СОЛИТОН?

Это нерасплывающийся нелинейный волновой пакет, или так называемая уединенная волна. В отличие от классического линейного волнового пакета, который испытывает дисперсионное расплывание (составляющие его гармоники распространяются с различными скоростями), в солитоне дисперсионное расплывание скомпенсировано нелинейным самосжатием волн, вследствие чего он распространяется без изменения своей формы. Указанное отличие носит фундаментальный характер, и мы остановимся на нем подробнее.

Напомним, что линейный волновой пакет представляет собой простую суперпозицию невзаимодействующих гармоник малой амплитуды, имеющих различные длины волн; эти гармоники накладываются одна на другую так, что в определенный промежуток времени волновое поле отлично от нуля только в области пакета. Если среда, в которой движется пакет, обладает дисперсией по отношению к гармоникам рассматриваемого пакета, то они распространяются с различными скоростями, вследствие чего линейный пакет расплывается. Если же волновой пакет имеет достаточно большую амплитуду, т. е. является нелинейным, то у него появляется новое качество — взаимодействие гармоник. Оно связано с тем, что каждая из гармоник с большой амплитудой изменяет

<sup>1</sup> Результаты и постановка опытов подробно изложены в обзоре: Незлин М. В. // Усп. физ. наук. 1986. Т. 150. С. 3—60.

параметры среды и, тем самым, влияет на скорости распространения всех остальных гармоник. При определенных условиях распространение различных гармоник оказывается настолько взаимно согласованным, что их скорости сравниваются, и тогда волновой пакет распространяется без изменения формы, т. е. представляет собой уединенную волну, или солитон.

Первый в истории науки солитон наблюдал английский морской инженер и архитектор Дж. С. Рассел в 1834 г. на водном канале между Глазго и Эдинбургом. Он следил за движением баржи, которую тянула пара лошадей. При резкой остановке от баржи отделилась и побежала вперед водяная горка колоколообразной формы высотой около полуметра и шириной, приблизительно равной ширине канала (т. е. около 10 м). Зачарованный увиденным зрелищем, Рассел скакал за движущейся волной до тех пор, пока она не перестала быть различимой в изгибах канала. Любопытно отметить, что если лошадь Рассела играла роль «диагностического средства», то роль другой лошади, вошедшей в историю науки под именем «умной лошади Хьюстона», оказалась несравненно более творческой. Это животное работало на перевозке баржи по каналу. Баржа катилась перед собой уже знакомую нам уединенную волну. Как-то раз лошадь рывком втащила баржу на горб волны и обнаружила, что тащить баржу при этом стало значительно легче (люди объяснили этот эффект тем, что в последнем случае не нужно тратить энергию на постоянную генерацию самой волны). Помимо того что это открытие принесло хозяину лошади немалый доход, оно имело принципиальное значение для понимания физики волнового сопротивления, оказываемого жидкостью движущимся в ней судам.

Солитон Рассела представляет собой уединенную волну на свободной поверхности тяжелой жидкости малой глубины: длины волн составляющих его гармоник много больше глубины самой жидкости. Волны на мелкой воде имеют следующие важные для нас особенности: во-первых, они обладают дисперсией — у длинных волн скорость распространения больше, чем у коротких; во-вторых, имеется предельная скорость распространения волн, равная  $\sqrt{gH}$ , где  $H$  — глубина жидкости, а  $g$  — ускорение силы тяжести; в-третьих, им свойствен нелинейный эффект: скорость волны возвышения жидкости возрастает с амплитудой волны (поскольку больше результирующая величина  $H$ ).

Возьмем теперь некоторое колоколообразное возвышение жидкости и посмотрим, может ли оно, в принципе, быть солитоном. Такое возмущение поверхности жидкости может быть образовано с помощью набора волн, в котором длинные волны формируют в основном пьедестал, а короткие — крутые участки и верхушку возвышения. Крутые склоны, которые связаны в основном с короткими волнами, должны из-за дисперсии волн на мелкой воде распространяться медленнее, чем плавные «подножия», соответствующие длинным волнам; однако они являются участками значительного возвышения и поэтому — в силу указанной выше нелинейности — должны двигаться быстрее. В итоге возникает возможность компенсации дисперсионного разбегания гармоник нелинейностью, т. е. возможность формирования уединенной волны — солитона, распространяющегося без изменения своей формы.

Возьмем теперь аналогичное возмущение жидкости, но не в виде возвышения, а в виде ямки. В этом случае крутые склоны будут двигаться медленнее оснований, как в силу дисперсии, так и в силу нелинейности. Нелинейность в этом случае не только не препятствует дисперсионному расплыванию волнового пакета, но и помогает ему. Следовательно, солитон в виде ямки невозможен — что полностью соответствует опытам и наблюдениям Рассела.

Точное теоретическое решение задачи о формировании уединенной волны на мелкой воде было выполнено в прошлом веке Дж. Буссинеском, Дж. Рэлеем и — особенно подробно — Д. Кортевегом и Г. де Фризом. Решение теперь уже знаменитого уравнения Кортевега — де Фриза показывает, что, действительно, на мелкой воде возможен солитон возвышения (тот, который и наблюдался Расселом) и невозможен солитон в виде ямки. Скорость солитона несколько превышает предельную скорость линейных волн  $\sqrt{gH_0}$  (где  $H_0$  — толщина невозмущенного слоя жидкости). Это обстоятельство является условием стационарности солитона: благодаря ему скорость солитона не совпадает со скоростью какой-либо волны с рассмотренной дисперсией и поэтому он не тратит энергию на черенковское излучение этих волн. Солитон существует в той области параметров, где дисперсия волн уравновешивается нелинейностью, а это имеет место на волнах «средней» длины — порядка  $10 H_0$ .

### СОЛИТОН РОСБИ И ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ

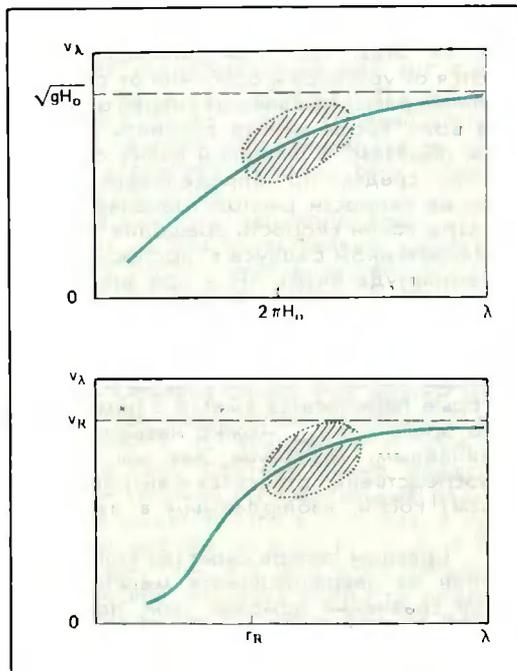
Теперь, получив беглое представление об уединенных волнах, познакомимся с солитоном, имеющим прямое отношение к теме данной статьи, — солитоном Росби. Он формируется так называемыми планетарными волнами, носящими имя известного шведского метеоролога К. Росби, который продемонстрировал их фундаментальную роль в процессах глобальной циркуляции атмосферы.

Волны Росби — это наиболее длинные из всех волн на мелкой воде, которые только могут существовать на реальной планете. От волн, рассмотренных в предыдущем параграфе, они отличаются тем, что их существование определяется вращением планеты. В динамике этих волн определяющую роль играет сила Кориолиса — та самая, которая пытается отклонять реки Северного полушария Земли вправо. И так же, как эта сила искривляет траекторию маятника Фуко в Исаакиевском соборе в Ленинграде, она «захватывает» горизонтальные траектории частиц в волнах Росби. Поэтому сильная волна Росби всегда представляет собой вихрь, вращающийся в горизонтальной плоскости вокруг местной вертикали. Если направление вращения вихря совпадает с направлением вращения планеты, то вихрь называется циклоном. В противном случае мы имеем дело с антициклоном.

Сила Кориолиса, действующая на круговой ток частиц вокруг оси вихря, в циклоне направлена от его оси и образует ямку, после чего уравнивается возникающим перепадом (градиентом) давления жидкости. В антициклоне она направлена к центру вихря и вызывает возникновение возвышения свободной поверхности жидкости. Уравнение равновесия вихря имеет вид:  $fv = g\Delta h/r^*$ , где  $f = 2\Omega_0 \sin\varphi$  — параметр Кориолиса,  $\Omega_0$  — частота вращения планеты,  $\varphi$  — географическая широта,  $r^*$  — характерный радиус вихря,  $\Delta h$  — возмущение (возвышение или понижение) свободной поверхности жидкости.

Волны (вихри) Росби дрейфуют против направления вращения планеты. Чтобы понять, почему это происходит, вспомним, что величина силы Кориолиса зависит от широты и возрастает с приближением к полюсу. А теперь рассмотрим вихрь (для определенности — в Северном полушарии планеты), в котором частица половину каждого оборота вокруг оси вихря движется севернее широты его центра, а дру-

гую половину — южнее. Пусть этот вихрь будет антициклоном. Тогда северная половина его траектории будет закручиваться сильнее, т. е. иметь меньший радиус, чем южная. Поэтому частица, находящаяся на параллели центра вихря, через один оборот вокруг оси вихря сместится на запад (т. е. против вращения планеты) на величину, равную удвоенной разности радиусов двух рассмотренных частей ее траектории. Пользуясь уравнением равновесия вихря, нетрудно определить среднюю скорость этого смещения (дрейфа)  $v_{др}$ . Эта скорость



Дисперсия волн на мелкой воде — зависимость скорости  $v_\lambda$  распространения гермения от ее длины волны  $\lambda$ . Вверху: волны в жидкости, попящейся как целое; предельная скорость линейных волн равна  $\sqrt{gH_0}$ . Внизу: волны Росби в жидкости, вращающейся вокруг вертикальной оси с угловой частотой  $\Omega_0$ ; в этом случае предельная скорость линейных волн [так называемая скорость Росби  $v_R$ ] много меньше  $\sqrt{gH_0}$ . Заштрихованы области, где могут существовать солитоны;  $r_R$  — радиус Росби — Обухова,  $H_0$  — глубина невозмущенной жидкости.

пропорциональна квадрату характерного радиуса вихря и производной силы Кориолиса вдоль меридиана. Характерный размер вихрей Росби определяется так называемым радиусом Росби — Обухова:

$v_R = \sqrt{gH}/f$ , поэтому скорость их дрейфа на запад пропорциональна величине  $\beta r_R^2$ , где  $\beta = df/du$  ( $u$  — координата вдоль меридиана).

Подчеркнем, что понятие вихря Росби принципиально связано с указанным здесь характером равновесия сил в вихре: центробежная сила, связанная с собственным вращением частиц в вихре, мала по сравнению с силой Кориолиса, или, что то же самое, частота обращения частицы вокруг оси вихря мала по сравнению с частотой вращения системы как целого (т. е. планеты). Соответственно, периоды собственного вращения вихрей Росби в атмосфере (океане) планеты значительно больше суток — этим они принципиально отличаются от ураганов и особенно от смерчей. Отличие рассматриваемых вихрей от линейных волн Росби можно пояснить следующим образом. В линейной волне скорость частиц среды, по определению, много меньше скорости распространения волны. В вихре Росби скорость вращения частиц  $v$  на характерном радиусе  $r^*$  пропорциональна амплитуде вихря  $\Delta H$  и при достаточно большой амплитуде (но все же не превышающей  $H_0$ ) может существенно превосходить скорость дрейфа вихря. При  $v > v_{др}$  в вихре имеется область захвата частиц, которые переносятся вместе с ним. Вихрь, у которого  $v \gg v_{др}$ , можно назвать сильно нелинейным. Сказанное, как мы увидим, непосредственно относится к вихрям (солитонам) Росби, наблюдаемым в лаборатории.

Сравним теперь свойства волн Росби и волн на невращающейся мелкой воде. Такое сравнение поможет нам, по аналогии, сделать вывод о возможности существования солитона Росби. Рассматриваемые волны также обладают дисперсией, причем она — в основных чертах — оказывается аналогичной дисперсии волн на покоящейся мелкой воде, поскольку имеет следующие особенности:

длинные волны Росби распространяются быстрее коротких;

существует предельная скорость линейных волн — так называемая скорость Росби  $v_R = \beta r_R^2$  (эта скорость в данном случае является аналогом предельной скорости  $\sqrt{gH}$ );

нелинейность волн Росби также аналогична нелинейности волн на мелкой покоящейся жидкости: поскольку  $v_R \sim r_R^2$ , скорость волн пропорциональна глубине жидкости  $H$ .

Очевидная аналогия в характере дисперсии и нелинейности двух рассматриваемых

типов волн означает, что мы можем перенести на случай волн Росби все те качественные рассуждения, которые привели нас к выводу о возможности существования солитона Рассела в виде уединенной волны возвышения на свободной поверхности мелкой воды. И поскольку в данном случае возвышение отвечает антициклону (а ямка — циклону), мы приходим к выводу, что солитон Росби — если он существует — должен быть антициклоном и не может быть циклоном. Аналогично приходим к выводу, что скорость дрейфа солитона Росби на запад должна несколько превышать предельную скорость линейных волн  $v_R$  и что характерный радиус  $r^*$  солитона Росби должен соответствовать той области «средних» длин волн, в которой дисперсия и нелинейность могут быть взаимно уравновешены. Это требование соответствует условию  $r^* \gg r_R$ . Все эти качественные соображения подтверждаются теорией солитона Росби.

С целью создания солитона Росби в лабораторных условиях были проведены опыты с тонким слоем вращающейся жидкости постоянной глубины (такой слой вполне может служить моделью однородной атмосферы планеты). Поскольку поверхность вращающейся жидкости всегда имеет форму параболоида, то для создания слоя постоянной глубины достаточно было взять сосуд аналогичной, приблизительно параболической формы. Солитон возбуждался с помощью некоторого локального источника, например диска, расположенного в дне сосуда и вращавшегося всего несколько секунд.

Опыты показали, что солитон Росби действительно существует<sup>2</sup> и представляет собой структуру, обладающую следующими свойствами:

это антициклоническое возвышение жидкости диаметром  $3-4 r_R$ , которое дрейфует против вращения сосуда («на запад») со скоростью, близкой к теоретической скорости Росби, и не испытывает заметного расплывания в течение времени, значительно превышающего время дисперсионного расплывания линейного пакета волн Росби;

такой солитон устойчив и принадлежит к тем «притягательным» структурам (так называемым аттракторам), на которые

<sup>2</sup> На возможность существования солитона Росби в слое мелкой жидкости, вращающейся вместе с сосудом параболической формы, было указано в работе: Петвиашвили В. И. // Письма в ЖЭТФ. 1980. Т. 32. С. 632—635.

разбивается произвольное протяженное возмущение жидкости;

внутри солитона существует область захвата частиц, иными словами, он представляет собой «настоящий» вихрь, в котором частицы вращаются значительно быстрее скорости его дрейфа;

с другими подобными ему солитонами он сталкивается неупруго, в частности сливается<sup>3</sup>;

циклонический вихрь Росби солитонном не является — создаваемый импульсным источником циклон быстро расплывается;

время жизни солитона Росби ограничивается вязкостью среды и в указанных опытах составляет около 20 с.

Все эти свойства позволили идентифицировать как солитон Росби ту стационарную вихревую структуру, которую удалось получить, когда на глобальное вращение слоя жидкости как целого были наложены зональные течения определенной скорости и определенного профиля. Неустойчивость этих течений явилась тем генератором, который создает указанную структуру и компенсирует ее вязкие (и, возможно, иные) потери импульса и энергии, поддерживая тем самым ее стационарное состояние. Такой солитон Росби, который самоорганизуется во встречных зональных течениях и самоподдерживается в них, мы будем называть автосолитоном Росби (термин предложен Б. С. Кернером и В. В. Осиповым). После небольшого предисловия, связанного с необходимостью изложения результатов теории, мы подробнее опишем эту структуру.

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ СОЛИТОННАЯ МОДЕЛЬ БОЛЬШОГО ПЯТНА ЮПИТЕРА

Такая модель существует в нескольких вариантах<sup>4</sup>, которые учитывают следующие принципиальные свойства, присущие изучаемому планетарному вихрю.

<sup>3</sup> Среди математиков распространено определение, согласно которому солитон — это не любая уединенная волна, а только такая, которая сталкивается с себе подобной упруго. Мы же придерживаемся определения, принятого среди физиков, согласно которому между солитоном и уединенной волной ставится знак тождества — независимо от того, каков результат взаимных столкновений уединенных волн.

<sup>4</sup> Махworthy T., Redekopp L. G. // *Icarus*. 1976. Vol. 29. P. 261—271; Сагдев Р. Э., Шапиро В. Д., Шевченко В. И. // *Письма в астрон. журн.* 1981. Т. 7. С. 505—509; Незлин М. В. // *Там же*. 1984. Т. 10. С. 530—541. См. также сноску 2.

Природный вихрь существует в системе встречных течений, направленных вдоль параллелей планеты; скорость течений плавно меняется вдоль меридиана (имеет плавный профиль); эти течения, по-видимому, определяют процесс формирования вихря и его стационарное состояние.

Вихрь, вообще говоря, является трехмерным: частицы описывают овальные траектории в горизонтальных плоскостях, но параметры вихря неоднородны по вертикали.

Несмотря на вертикальную неоднородность, изучаемый вихрь качественно можно рассматривать как квазидвумерное образование; о таком характере этого вихря и других ему подобных на Юпитере и Сатурне свидетельствует уже тот факт, что все эти вихри локализируются на тех параллелях планет, где горизонтальные скорости течений (определяющие их двумерную структуру) меняют свое направление на обратное.

Вертикальная неоднородность вихря не влияет на его качественный характер, но весьма сильно определяет его количественные параметры. Дело в том, что вследствие действия силы Архимеда на частицы вихря, вертикально неоднородного по плотности, роль знакомого нам радиуса Росби — Обухова играет уже другой масштаб — так называемый внутренний радиус Росби  $r_i$  (в атмосфере  $r_i$  меньше  $r_R$  в 5—6 раз). Соответственно, предсказываемые теорией горизонтальные размеры вихря уменьшаются в  $r_R/r_i$  раз, а скорость его дрейфа — в  $(r_R/r_i)^2$ , т. е. в несколько десятков раз (без этой поправки теоретическое значение скорости дрейфа вихря превышало бы наблюдаемое более чем в 50 раз).

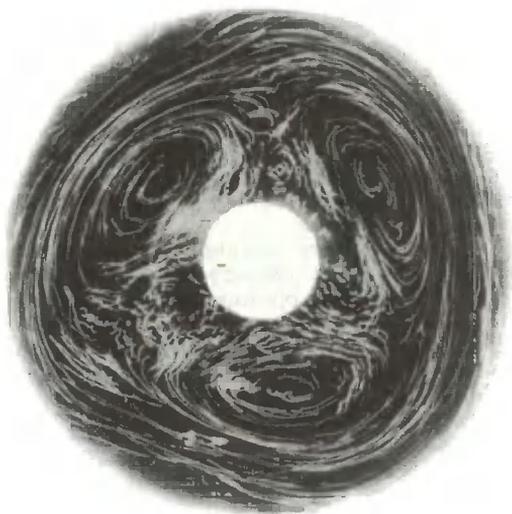
С учетом поправок на третье изменение вихря теоретическая солитонная модель описывает БКПЮ как овальный антициклонический вихрь с размерами, близкими к наблюдаемым, и дрейфующий против глобального вращения планеты со скоростью, близкой к действительной. При условии указанного переопределения характерных масштабов вихрь БКПЮ можно рассматривать как квазидвумерную структуру, к которой на физическом уровне строгости можно применять понятие «мелкая вода».

## АВТОСОЛИТОН РОСБИ — САМООРГАНИЗАЦИЯ В ЗОНАЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЯХ

После проведения серии опытов с вращением жидкости как целого были по-

ставлены опыты, в которых на глобальное вращение накладывались «зональные течения». Для этого в толстом дне параболоида были сделаны две кольцевые «траншеи», в которые вставлялись кольца, вращавшиеся независимо от параболоида вокруг его вертикальной оси. Одно из колец опережало параболоид, другое отставало от него, так что в системе отсчета, связанной с сосудом, кольца вращались в противоположные стороны. Кольцо, более далекое от полюса сосуда, мы бу-

ими течений могли меняться от опыта к опыту. Расстояние между кольцами в различных опытах также могло варьироваться, что позволяло регулировать плавность спада скорости течений при смещении вдоль меридиана, т. е. профиль течений. Вскоре после начала опытов выяснилось, что встречные течения являются неустойчивыми и генерируют крупномасштабные вихри (размером больше радиуса Росби — Обухова), которые выстраиваются цепочкой вдоль «параллели» системы;



Цепочки антициклонических вихрей (солитонов) Росби в параболическом сосуде диаметром 28 см (вид сверху) при плавном профиле встречных течений. Видны траектории белых пробных частиц, плавающих на поверхности мелкой воды на темном фоне дна сосуда. Вихри сняты фотоаппаратом, вращающимся вместе с сосудом. Фотография справа с более локализованными вихрями получена в опыте, где расстояние между кольцами, формирующими «северное» и «южное» течения, больше, чем на фотографии слева. Скорости течений в этих опытах также различны.

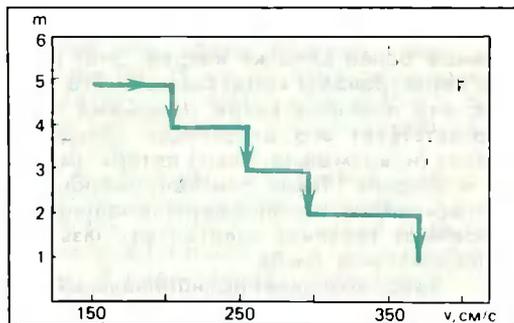
дем называть северным, а второе кольцо — южным. Кольца увлекали опирающиеся на них слои жидкости и создавали таким образом встречные зональные течения, направленные вдоль «параллелей» параболоида, т. е. в западно-восточном направлении. Сосуд как целое вращался против часовой стрелки. Направления вращения северного и южного колец и, соответственно, направления формируемых

ось цепочки располагается посередине между течениями, а вся она дрейфует вдоль параллели сосуда.

Опыты показали, что результат генерации вихрей встречными течениями принципиально определяется геометрией опыта. Чтобы пояснить, что имеется в виду под геометрией опыта, рассмотрим, например, такой случай, когда течение, создаваемое северным кольцом, опережает вращение сосуда, а южное течение — отстает. Тогда мысленный переход от одного течения к другому будет происходить против часовой стрелки, т. е. в направлении вращения сосуда. Если между такими течениями поместить циклон, то они будут его раскручивать, поскольку направления движений жидкости в течениях будут соответствовать направлениям движений частиц в циклоне — согласно определению последнего. Такие встречные течения мы называем циклоническими. Аналогично течения обратного направления (северное отстает от параболоида, а южное его опережает)

являются антициклоническими: они раскручивают помещенный между ними антициклон. После этих пояснений перейдем к описанию результатов опытов.

Один из наиболее важных результатов состоит в том, что встречные течения с плавным профилем (создаваемые кольцами, сравнительно далеко отстоящими друг от друга) генерируют крупномасштабные вихри (радиусом больше  $r_R$ ) только в том случае, если течения имеют антициклоническое направление; соответ-



Цепочка циклонов, генерируемая при скачкообразном профиле предельно сближенных зональных течений (направление течений циклоническое). Белая окружность — граница между течениями.



Зависимость числа вихрей  $m$  от скорости  $v$  в северном кольце, создающего внешнее течение (стрелки указывают направление изменения скорости в эксперименте). Видно, что при достаточно большой скорости течений (больше 360 см/с) в системе формируется один единственный вихрь — автосолимон Россби (фотография в и з у).

ственно, генерируемые вихри являются антициклонами. Если же течения с плавным профилем имеют циклоническое направление, то крупномасштабные вихри не формируются. Этот факт мы объясняем быстрым распадом циклонов. Тем не менее оказывается, что цепочки крупных циклонов создать можно. Для этого необходимо предельно сблизить циклонические течения по меридиану. В этом случае течения, имеющие резкий профиль, близкий к скачку скорости, проявляют столь сильную неустойчивость, что она успевает регенерировать даже циклоны, несмотря на их быстрый распад.

Далее обнаружился следующий принципиальный факт: число вихрей в цепочке тем меньше, чем больше скорость встречных течений. И — что самое интересное — при определенной скорости течений формируется один-единственный на всем периметре системы вихрь. Этот вихрь представляет собой уединенный антициклон с характерным диаметром, приблизительно равным  $3r_R$ , который самоорганизуется в неустойчивых течениях, дрейфует на запад и стационарно самоподдерживается в них в течение произвольно большого времени. По своим параметрам (размерам, скоростям и направлениям дрейфа и собствен-

ного вращения) он идентифицируется нами как солитон Росби, равно как и рассмотренные ранее цепочки вихрей. Этот вихрь так перестраивает «обдувающие» его течения, что подкачка вихря течениями точно соответствует его диссипации вследствие вязких (и, возможно, иных) потерь импульса и энергии. Такой самоорганизующийся и стационарно самоподдерживающийся во встречных течениях солитон мы называем автосолитоном Росби.

Здесь возникает принципиальный вопрос: если существует один автосолитон, то что мешает другому такому же солитону сформироваться в другом месте периметра системы? (Аналогичный вопрос естественно возникает в отношении вихря БКПЮ). Наш ответ на этот вопрос состоит в следующем. Когда в описанных выше опытах при увеличении скорости встречных течений происходит последовательная смена цепочек вихрей, то цепочка с меньшим числом вихрей на периметре своим существованием исключает возможность существования цепочки с большим числом вихрей. В частности, когда цепочка с двумя вихрями сменяется цепочкой с одним вихрем, то последний так перестраивает профиль течений, что это исключает возможность существования второго (третьего и т. д.) вихря.

Это факты. С целью их качественной интерпретации рассмотрим модельную ситуацию, когда скорость встречных течений изменяется скачком (предельно резкий профиль скорости). Такие течения, как уже указывалось, проявляют неустойчивость и генерируют замкнутую цепочку вихрей. Вследствие неизбежных потерь импульса из-за вязкости и трения установится стационарное состояние, в котором будет иметь место баланс между генерацией вихрей течениями и их вязкой диссипацией (затуханием). Известно, что генерация вихрей течениями идет тем более интенсивно, чем больше скорость течений и чем меньше расстояние между вихрями, т. е. чем больше число вихрей в цепочке определенной длины. Поэтому при сравнительно небольшой скорости течений стационарно существует цепочка с относительно большим числом вихрей. Чтобы могла возникнуть цепочка с меньшим числом соответственно более крупных) вихрей, нужно увеличить скорость течений.

Теперь учтем следующий известный факт: генерация вихрей приводит к размытию профиля течений и он перестает иметь характер скачка скорости. При этом размытие профиля течений оказывается

тем сильнее, чем крупнее вихри. Учтем также и то, что (как было показано еще Рэлеем) размытие профиля течений быстро исключает генерацию более мелкомасштабной цепочки. И тогда становится понятным, почему возникающая «крупномасштабная» цепочка с меньшим числом (более крупных) вихрей на периметре исключает предшествовавшую ей «мелкомасштабную» цепочку — с большим числом (более мелких) вихрей, т. е. почему наблюдается последовательная смена цепочек при регулировании скачка скорости встречных течений.

Рассмотренная здесь эволюция неустойчивости встречных течений, приводящая при увеличении их скорости к формированию стационарного автосолитона Росби, единственного на всем периметре системы, не описана в теории и впервые была установлена экспериментально — в опытах, о которых здесь шла речь.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ БОЛЬШОГО ПЯТНА ЮПИТЕРА

Автосолитон Росби имеет следующие очевидные черты качественного сходства с природным вихрем БКПЮ: и тот и другой являются антициклонами, имеют размеры, превышающие радиус Росби — Обухова (в районе БКПЮ  $r_p \approx 6000$  км, тогда как уже малая ось этого вихря — вдвое больше), распространяются на запад, самоорганизуются в зональных течениях, являются единственными на всем периметре системы и приблизительно стационарны во времени. Добавим к этому, что, согласно астрономическим наблюдениям, БКПЮ, сталкиваясь с другими крупными вихрями, сливается с ними — аналогично тому, как это происходит в описанных экспериментах с солитонами Росби.

Почему же вихрь Большое Красное Пятно — единственный на всем периметре Юпитера? На основании изложенных выше экспериментальных данных есть достаточно оснований считать, что БКПЮ существует при таком перепаде скорости встречных зональных течений и при столь плавном их профиле, при которых цепочка вихрей — с двумя и более вихрями на периметре — существовать не может. Чтобы указанная цепочка была возможна, профиль скорости течений должен был бы быть менее плавным, чем он есть на самом деле (на широте БКПЮ). На других широтах Юпитера профиль течений не столь плавный, как на широте БКПЮ, и поэтому неудивительно, что существуют цепочки

вихрей, известных как Белые и Коричневые Овалы.

Итак, автосоли-ton Росби, созданный в лаборатории, может рассматриваться как качественная стационарная солитонная модель изучаемого природного вихря. Эта модель, как уже указывалось, приводится и в количественное согласие с данными астрономических наблюдений, когда принимается во внимание вертикальное волновое движение в БКПЮ, связанное с неоднородностью его плотности по вертикали. Вследствие совершенно аналогичного эффекта океанские синоптические вихри, открытые около 15 лет назад и истолковываемые как вихри Росби, имеют радиус порядка 50 км и вполне уместаются в океанах Земли (где  $r_R \approx 2000$  км, но  $r_i \approx 50$  км)<sup>5</sup>.

Таким образом, свойства БКПЮ — наиболее крупного и долгоживущего из всех планетарных вихрей — находят неплохую интерпретацию на основе рассмотренной здесь модели.

Обратимся теперь к другим вихрям в атмосферах Юпитера и Сатурна. Наиболее крупными из них (и наиболее «старыми» из юпитерианских вихрей) являются так называемые Белые Овалы в атмосфере Юпитера. Эти вихри наблюдаются с 1938 г., когда они возникли вследствие сильного возмущения юпитерианской атмосферы. Это тоже антициклоны, похожие в основных чертах на БКПЮ. Вообще, в атмосферах Юпитера и Сатурна имеется целый ряд крупных овальных вихрей диаметром в несколько тысяч километров. Все они антициклоны, за исключением так называемых Коричневых Овалов (или «барж»), дрейфующих на восток вдоль 14-й параллели с. ш. Юпитера и наблюдаемых уже около 35 лет. Это сильно вытянутые вдоль параллели циклоны, испытывающие большие колебания своей формы; средние размеры этих вихрей:  $7,5 \times 1,5$  тыс. км. В районе этих «барж» имеет место очень сильный градиент скорости зональных течений, направленный с севера на юг и в несколько раз больший, чем в районе БКПЮ; иными словами, профиль скорости течений здесь очень резкий. Именно этим, на наш взгляд, можно объяснить факт существования циклонических вихрей с размерами больше или порядка  $r_R$ : как и ячейки циклонов в описанных выше экспериментах, они регенерируются неустойчивы-

ми зональными течениями настолько быстро, что не успевают распадаться. Таким образом, атмосферы больших планет демонстрируют ту же циклон-антициклонную асимметрию, которая наблюдается в описанных лабораторных экспериментах с вихрями Росби.

Аналогичная асимметрия наблюдается среди очень распространенных в океанах Земли вихрей с размерами в десятки километров (порядка г.) — так называемых «линз». В подавляющем большинстве они также являются антициклонами.

Здесь (или раньше) у читателя должен был неизбежно возникнуть вопрос: «А что же земные циклоны? Ведь они приблизительно столь же живучи, как и земные антициклоны». Наш ответ на этот вопрос состоит в следующем: земные циклоны, в отличие от вихрей, изученных нами экспериментально и рассмотренных в упоминавшихся теоретических работах, имеют радиус, меньший  $r_R$  (в атмосфере Земли  $r_R \approx 3000$  км), и возбуждаются течениями, у которых ширина профиля также меньше этой величины<sup>6</sup>. Поэтому ситуация с их возбуждением (формированием) зональными ветрами вполне напоминает ту, с которой мы встречаемся в случае «барж» Юпитера и в описанных выше экспериментах с ячейками циклонов. Можно сказать поэтому, что земная атмосфера — это отнюдь не лучший «полигон» для возбуждения вихревых солитонов Росби: ее размеры не соответствуют предпосылкам теории, согласно которым размер солитона Росби должен быть значительно меньше радиуса планеты.

<sup>6</sup> О моделировании крупномасштабных земных атмосферных вихрей см.: Должанский Ф. В. // Изв. АН СССР, сер. «Физика атм. и океана». 1981. Т. 17. С. 563—573; Черноусько Ю. Л. // Там же. 1980. Т. 16. С. 423—427.

<sup>5</sup> Подробнее см.: Кошляков М. Н., Мокин А. С. Вихри в океане // Наука и человечество. М., 1985. С. 87—103.

## Какой климат типичен для Земли!

Н. М. Чумаков



Николай Михайлович Чумаков, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Геологического института АН СССР. Специалист по древним оледенениям и стратиграфии докембрийских отложений. Автор ряда монографий, в том числе: Докембрийские тиллиты и тиллоиды. М., 1978.

Название статьи для краткости несколько упрощено. Дело в том, что для каждой из географических зон, опоясывающих нашу планету, свойствен особый климат. Поэтому в статье речь пойдет не просто о климате, а о характере климатической зональности. С другой стороны, климаты на Земле менялись, и нельзя, говоря о климатах, типичных для планеты, ограничиваться одним моментом, например современностью. Необходимо проследить, какова была климатическая зональность в течение большого отрезка времени. Ввиду этого полное название статьи звучало бы так: «Какая климатическая зональность была характерна для Земли в обозримом прошлом?»

Мы привыкли думать, что она была приблизительно такой же, как сейчас. Даже большинство специалистов молчаливо разделяет это мнение, допуская, правда, что при похолоданиях полярные ледниковые шапки расширялись, а другие климатические зоны под их напором сужались и отступали к экватору; при потеплениях предполагался обратный процесс. Опираясь на успехи геологии и геофизики, можно сейчас на фактическом материале показать, что эти представления ошибочны и что на Земле происходили крупные похолодания и потепления, приводившие к неоднократной качественной перестройке

ее климатической зональности<sup>1</sup>. Такие предположения в общем виде высказывались и раньше, в частности известным советским географом К. К. Марковым<sup>2</sup>. В настоящее время эти идеи получили солидное геологическое обоснование.

Может показаться, на первый взгляд, что древний климат — это тот же прошлогодний снег: то и другое исчезло и не имеет отношения к нашей жизни. Однако именно прошлогодний снег, накапливаясь год за годом и переходя в лед, создает в горах и полярных областях ледники, аккумулирующие огромные запасы пресной воды. Талые воды высокогорных ледников сейчас важный источник водоснабжения во многих засушливых районах, а в будущем станут использовать для водоснабжения и полярные ледники. Так же и с древним климатом. Образование многих важных полезных ископаемых (каменного угля, бокситов, солей, фосфоритов, руд железа, меди, марганца и др.) связано с определенными типами климата. Именно поэтому климат прошедших эпох интересует геологов, занятых поисками таких месторождений.

<sup>1</sup> Чумаков Н. М. // Изв. АН СССР, сер. геол. 1984. № 7. С. 35—53.

<sup>2</sup> Марков К. К., Добродеев О. П., Симонов Ю. Г., Суетова И. А. Введение в физическую географию. М., 1978.

К тому же, климат — важная составляющая среды, в которой мы живем и работаем. Справедливо говорят, что прошлое — это ключ к будущему, и поэтому можно надеяться, что история климатов поможет подобрать ключ к долговременным прогнозам климатических изменений. Такой подход к предсказаниям климатических изменений принят во многих фундаментальных работах<sup>3</sup>.

Климаты прошлого — предмет исследований палеоклиматологии. И поисковый, и прогностический ее аспекты имеют большой практический смысл. В изучение климата прошлых эпох кроме геологов сейчас включились геофизики, географы, океанологи и метеорологи.

### ИНДИКАТОРЫ ДРЕВНИХ КЛИМАТОВ

Представления о климате связываются с многолетними инструментальными наблюдениями таких изменчивых элементов погоды, как температура воздуха и воды, атмосферные осадки, давление, влажность, ветер и т. д. Но в толщах осадочных горных пород эти эфемерные состояния атмосферы и воды оставляют лишь разрозненные и трудноуловимые следы, которые сложно изучать и нередко трудно однозначно интерпретировать. Так, например, разработаны два геохимических метода определения температуры воды древних бассейнов: один по изотопному составу кислорода в известковых раковинах некоторых групп организмов, а второй по соотношению в них кальция и магния. Однако результаты обоих методов еще довольно сильно зависят от местных условий образования пород и вторичных их изменений, а более популярный первый метод очень трудоемок. Поэтому палеотемпературные данные крайне неравномерно распределены по поверхности Земли и породам разного возраста. С увеличением возраста отложений количество и надежность таких измерений сильно снижается.

Остальные элементы древней погоды оставляют в горных породах еще меньше следов, чем температура. Иногда по преобладающей ориентировке поваленных стволов ископаемых деревьев, направлению разноса вулканического пепла, по косяк слоистости и ряби в ископаемых дюнных песках, по характеру обработки скал и камней ветром удается определить преобладающие его направления в данной местности; обнаруживаются отпечатки кри-

сталлов льда, возникших во время заморозков, следы удара древних молний в виде оплавленных ветвистых трубок в породе и т. д. Однако по этим фрагментарным данным невозможно составить общего представления о древних климатах Земли.

Для этих целей палеоклиматологи чаще всего используют палеоклиматические индикаторы — некоторые донные осадки, горные породы и организмы, которые образуются или живут в определенных климатических условиях.

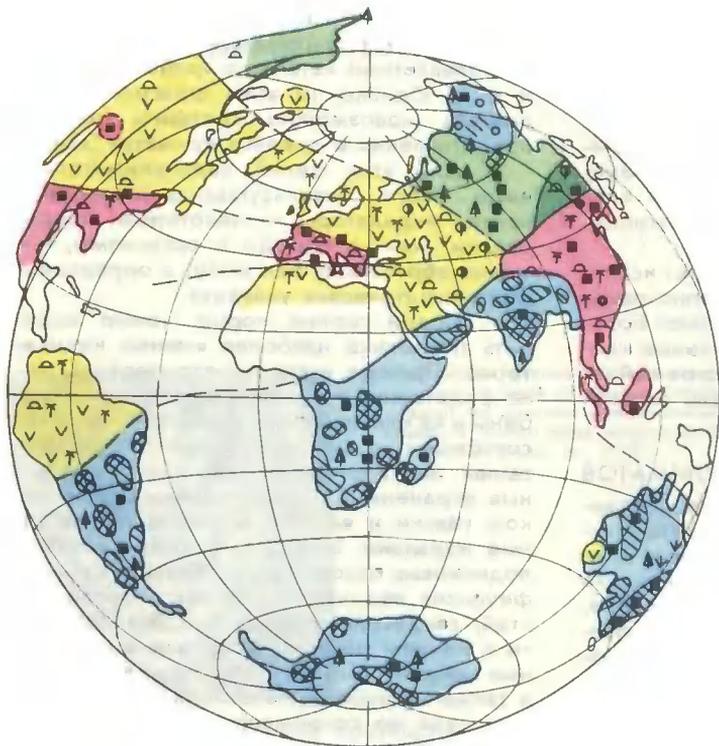
Среди горных пород можно выделить несколько наиболее важных индикаторов. Прежде всего — это породы, непосредственно отложенные ледниками: морены и их окаменевшие аналоги — тиллиты, состоящие из мелкозема, в котором рассеяны неотсортированные, слабо окатанные оградненные и исстрихованные ледником гальки и валуны, частично принесенные издалека. Широкое распространение ледниковых отложений, особенно их специфических ледниково-морских разновидностей, свидетельствует о холодном климате в данном регионе. Отдельные рассеянные ледниковые валуны, галька, гравий, а также их небольшие скопления — «гнезда», судя по современным наблюдениям, могли быть перенесены плавающими обломками ледников — айсбергами — далеко от области оледенения в зоны умеренного и теплого климата. Однако они играют в общей массе донных осадков этих зон ничтожную роль.

С тиллитами сходны отложения сезонных льдов. Но галька в них лучше отсортирована и окатана, поскольку вмерзает в сезонные льды на морских, озерных и речных пляжах. Такие ледовые отложения образуются в районах холодного и умеренно-холодного климата, они типичны, например, для Охотского и Берингова морей.

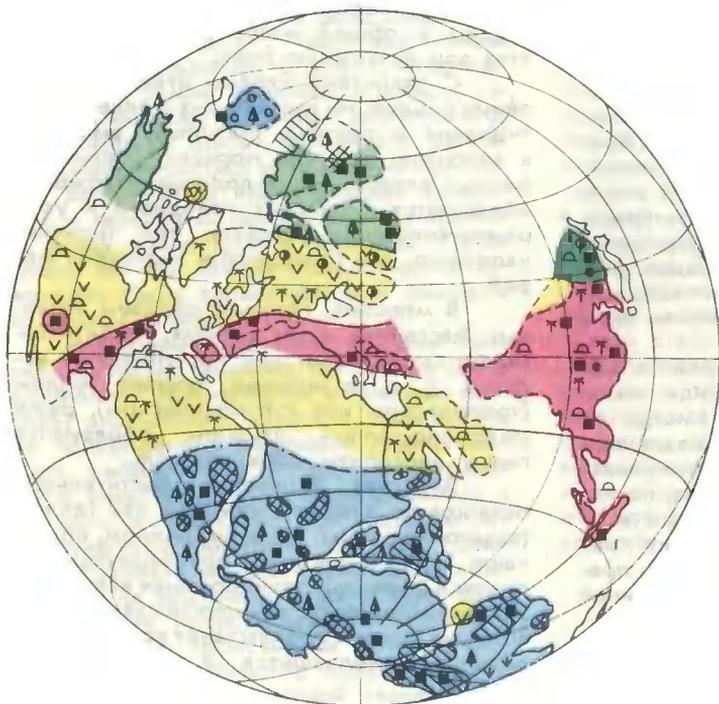
В морских, главным образом лагунных, бассейнах, в тех случаях, когда испарение преобладает над поступлением воды, т. е. в засушливом, обычно теплом (тропическом или субтропическом), реже умеренно-теплом климате, образуются гипсы, ангидриты, каменная соль.

За счет скопления растительных остатков во влажном климате, как теплом (экваториальном), так и умеренном, возникают торф и лигниты, преобразующиеся позже в каменные угли. Большая влажность этих климатических зон способствует образованию болот и препятствует полному разложению скопившихся в них остатков растений.

<sup>3</sup> Зубаков В. А., Борзенкова И. И. Палеоклиматы позднего кайнозоя. Л., 1983.



Современное распространение основных климатических индикаторов в нижнепермских отложениях возрастом 260—285 млн лет. Огромный ареал ледниковых отложений захватывает все климатические зоны Южного полушария и часть низких и средних широт Северного полушария. Область распространения индикаторов засушливого климата располагается в основном в западной части Северного полушария, достигая высоких северных широт, а индикаторы экваториального климата разбредены и смещены к северу от экватора, вплоть до средних широт. Признаки холодного климата в Северном полушарии известны на северо-востоке Азии. Ряд исследователей даже предполагает, что там имеются ледниковые отложения. Столь не закономерное и резко асимметричное распределение индикаторов по отношению к современному экватору и любому другому большому кругу Земли нельзя объяснить, исходя из постоянного положения континентов или одним перемещением полюсов.



Те же, что и на предыдущем рисунке, климатические индикаторы, нанесенные на реконструированную палеогеографическую карту нижнепермской эпохи. Индикаторы располагаются почти широтными поясами и последовательно сменяются в сторону полюсов от индикаторов теплого климата в экваториальной зоне до индикаторов умеренно-холодного и холодного климата в средних и высоких широтах. Это позволяет восстановить нижнепермские климатические пояса и подтвердить правильность палеогеографических реконструкций. Климат этой эпохи — яркий пример ледниковой климатической зональности. Высокие широты — области холодного (ледникового) климата. В средних широтах преобладал умеренно-холодный климат, который в Южном полушарии чередовался с ледниковым. Низкие широты занимали северная и южная аридные зоны, которые временами разделялись влажной экваториальной зоной.

Климатическая зональность во время одного из оледенений плейстоценовой эпохи (0,8—0,02 млн лет назад). В высоких широтах обит полушарий преобладал холодный климат. Средние широты Северного полушария в основном занимали умеренно-холодная и ледниковая зоны. В Северной Америке ледники временами спускались до 38° с. ш. [широты Сицилии, Афин, Душанбе]. В низких и части средних широт располагались северная и южная аридные зоны и разделяющая их экваториальная.



**Климатические индикаторы**

**Горные породы:**

-  континентальные ледниковые отложения
-  морские и континентальные ледниковые отложения
-  отложения сезонных льдов (ледовые)
-  ископаемые угли
-  гипсы, ангидриты, каменная и калийные соли
-  значительные толщи доломитов
-  бокситы и латериты

**Наземная растительность:**

-  тундровая
-  холодных степей
-  умеренно-холодных зон
-  умеренно-теплолюбивая
-  теплолюбивая [тропическая и субтропическая]

**Зоологические индикаторы:**

-  теплолюбивые тетраподы
-  органические рифы

**Климатические пояса:**

-  холодный
-  умеренный
-  теплый внетропический [«субтропический»]
-  засушливый [пустынный и полупустынный]
-  тропический влажный [экваториальный и субэкваториальный]

**Предполагаемые границы:**

-  максимального распространения оледенения
-  климатических зон
-  древних континентов

Результатом глубокого химического выветривания горных пород в теплом, влажном и сезонно-влажном климате являются латериты и бокситы.

Кроме перечисленных, имеется еще ряд пород и минералов, являющихся индикаторами климата, но менее надежными, и поэтому мы здесь упоминать их не будем.

Среди биологических индикаторов климата наибольшее значение имеют остатки наземных растений. Палеоботаника традиционно тесно связана с палеоклиматологией. По некоторым морфологическим признакам растений, по их разнообразию обычно довольно уверенно можно судить о климатических условиях, в которых обитали те или иные растения и особенно их сообщества. Например, деревья, произрастающие в теплом и влажном (тропическом или экваториальном) климате, где нет резких различий в сезонах, лишены колец роста. Для того чтобы с деревьев быстрее скатывалась вода, края листьев во влажных теплых лесах обычно менее расчленены, а черешки не имеют у основания углублений для сбора воды. Растительные сообщества влажных тропических, экваториальных и субтропических лесов по количеству видов в десятки раз разнообразнее лесов других климатических зон. По некоторым наборам палеоботанических и геологических признаков удается различать также растительность внетропических и засушливых зон, а иногда и более тонкие особенности климатических условий<sup>4</sup>. Изучая морфологические признаки растений, состав сообществ, условия их обитания и захоронения, ископаемые почвы, на которых произрастали растения, палеоботаники обнаруживают в далеком прошлом аналоги тундровых и таежных ландшафтов<sup>5</sup>.

Остатки животных тоже имеют для палеоклиматологии существенное значение. Многие виды животных благодаря своей подвижности, активной и быстрой адаптации к обстановке обычно могут существовать в более широком диапазоне климатов, чем растения. Поэтому наилучшими палеоклиматическими индикаторами являются остатки тех животных, условия обитания которых ограничены физиологическими особенностями. Например, остатки

крупных холоднокровных наземных животных могут служить признаком теплого климата. Даже зимний анабиоз не поможет выжить популяции этих животных в умеренном климате из-за невозможности найти или соорудить в достаточном количестве надежные укрытия большого размера для зимней спячки.

Широтные климатические различия в морской среде менее контрастны, чем на суше, и в ряде случаев они заметно нарушаются теплыми и холодными течениями. Однако многие морские обитатели, приспособившись к стабильным условиям жизни, стали весьма чувствительны даже к небольшим изменениям параметров среды. После выявления климатической приуроченности таких видов морских животных они могут быть успешно использованы в палеоклиматологии. Чаще всего для этих целей использовались кораллы, строящие вместе с некоторыми другими организмами крупные рифовые постройки. Они, подобно тропическим лесам на суше, являются средоточием огромного разнообразия видов животных и растений и тоже приурочены к теплому климатическому поясу. Хотя состав организмов-рифостроителей на протяжении геологической истории менялся, рифовые образования всегда тяготели к низким широтам.

Каждый из упомянутых выше индикаторов, по-видимому, может в отдельных случаях образовываться в не совсем типичных для них климатических условиях, но, как правило, распространение нескольких индикаторов хорошо согласуется между собой, и в комплексе они дают хотя и довольно общие, но вполне надежные указания качественного характера о климатических условиях в момент образования. Конечно, в результате небольших по длительности климатических колебаний области распространения индикаторов несколько смещаются во времени, и в пограничных зонах индикаторы смежных климатических поясов могут переслаиваться. В целом же, как будет видно из дальнейшего, палеоклиматические индикаторы распространены закономерно — широтными поясами, которые хорошо согласуются с климатическими поясами.

Для возникновения заметных скоплений индикаторов требуется длительное время, поэтому их местонахождения свидетельствуют о сохранении соответствующих им средних климатических условий в течение тысяч и тысяч лет, отражая в обобщенном виде многолетние характеристики погоды.

<sup>4</sup> Вахрамеев В. А., Мейен С. В. Флора и климаты Евразии в геологическом прошлом // Природа. 1970. № 11. С. 32—41; Вахрамеев В. А. // Палеонтол. журн. 1975. № 2. С. 123—132.

<sup>5</sup> Retallak G. J. // Geol. Surv. New South Wales Bull. 1980. Vol. 26. P. 384—430.

## КЛИМАТ И ПОЛОЖЕНИЕ КОНТИНЕНТОВ

Если сочетания палеоклиматических индикаторов дают представление о климатических условиях прошлого в том или ином районе земного шара, то, казалось бы, можно очень просто обнаружить характер древней климатической зональности, изучая распространение индикаторов разного возраста. Такие попытки делались неоднократно, например в первой половине XX в. немецкими учеными А. Вегенером и Ф. Лотце, а позже в СССР Л. Б. Рухиным, Н. М. Страховым и др. Эти исследователи обнаружили, что современное распространение древних климатических индикаторов не согласуется с современным направлением широт и что положение континентов или положение полюсов в прошлом медленно, но постоянно менялось. Как известно, ближе других к современному представлению оказался А. Вегенер, который, основываясь на географических, геофизических, геологических и палеоклиматических данных, считал, что происходит перемещение континентов друг относительно друга и относительно полюсов, положение которых на Земле, по-видимому, тоже меняется. Он же дал первые близкие к современному палеогеографические реконструкции для трех геологических периодов<sup>6</sup>. В пылу дискуссий относительно дрейфа континентов вопрос об эволюции климатической зональности Земли не ставился. Впрочем, недостаток стратиграфических и региональных геологических данных вряд ли позволил бы тогда решить этот вопрос. Важно, что эти исследования показали необходимость использования в палеоклиматологии палеогеографических реконструкций.

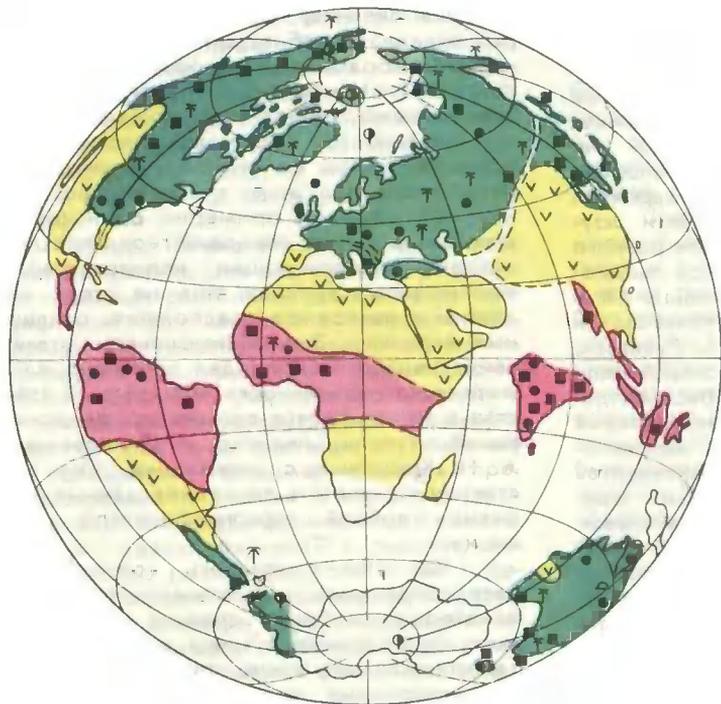
За прошедшие десятилетия объем наших знаний во всех областях геологии и геофизики, связанных с палеоклиматологией, неизмеримо возрос, особенно в отношении расположения древних континентов. Только за последние годы был опубликован целый ряд таких палеогеографических реконструкций. Они составлены, исходя из представлений о дрейфе континентов с учетом обширных палеомагнитных исследований, магнитной съемки в океанах, геологической и тектонической истории континентов. Несмотря на некоторые расхождения в отношении ширины

древних океанов, первоначальных размеров складчатых областей и позиции некоторых небольших континентов (микроконтинентов), например Мадагаскара, во всех реконструкциях расположение главных континентов в кайнозойскую и мезозойскую эры и во второй половине палеозойской эры, т. е. в течение последних 400 млн лет, примерно одинаковое. Для более ранних периодов геологической истории существующие палеогеографические реконструкции еще не столь надежны и позволяют предполагать различные варианты. Это обстоятельство ставит сейчас возрастной предел изучению климатической зональности прошлого. В этой статье используются палеогеографические реконструкции, недавно опубликованные А. Н. Храмовым с соавторами<sup>7</sup>. Они составлены с учетом последних данных и в очень удобной картографической проекции.

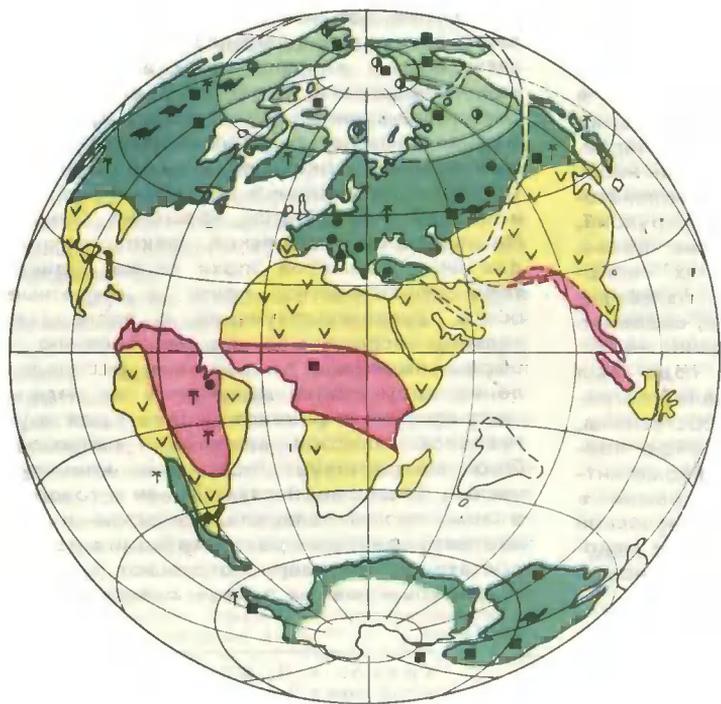
Как уже отмечалось, современное распространение палеоклиматических индикаторов, особенно древних, палеозойских, необъяснимо с точки зрения планетарных климатических закономерностей. Нижнепермские ледниковые отложения, например, известны сейчас на огромной территории: они распространяются почти по всему Южному полушарию и проходят через тропическую зону в Северное полушарие до Тибета. Севернее этой области на западе преобладают отложения засушливого климата, а северо-восточнее — влажного жаркого, умеренного и холодного климата. Таким образом, современное расположение нижнепермских климатических индикаторов асимметрично не только по отношению к современной, но и любой другой оси вращения Земли. На палеогеографической реконструкции для нижнепермской эпохи те же индикаторы группируются почти в широтные пояса, свидетельствующие о последовательном похолодании по направлению к обоим полюсам. Аналогичное распределение индикаторов получается на палеогеографических реконструкциях и для других эпох кайнозоя, мезозоя и палеозоя. Оно соответствует основным климатическим закономерностям Земли и говорит о том, что и палеоклиматические и палеогеографические реконструкции в целом достаточно достоверно отражают условия, существовавшие на нашей планете. Сле-

<sup>6</sup> Первое издание книги А. Вегенера «Происхождение континентов и океанов» вышло в 1915 г. Недавно издательство «Наука» опубликовало перевод IV издания этой книги (Л., 1984).

<sup>7</sup> Храмов А. Н., Гончаров Р. А., Комиссарова Р. А. и др. Палеомагнитология. Л., 1982.

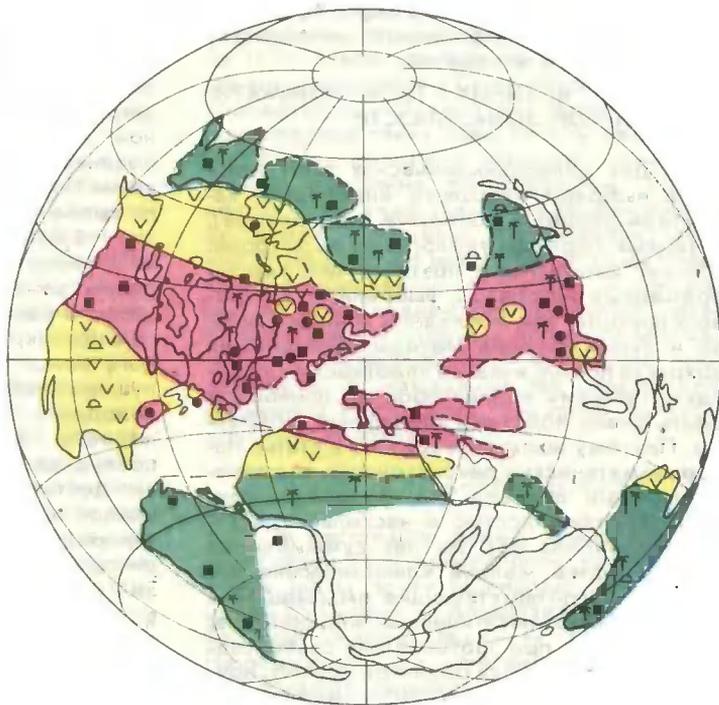


Климатическая зональность эоценовой эпохи (55—38 млн лет назад). В этот, как и другие теплые периоды, в средних широтах преобладает теплый («субтропический») климат. В эоцене он временами распространялся и в высокие широты. На Аляске, в Гренландии, северо-востоке Евразии, у Огненной Земли росли пальмы и магнолии, на севере Канадского архипелага и Антарктическом полуострове жили крокодилы, черепахи, ящерицы, местами — обезьяны, сумчатые и другие теплолюбивые животные. Постоянные ледниковые или даже ледовые полярные шапки отсутствовали. В полярных областях можно предполагать преобладание умеренно-теплого климата. Климат низких широт был приблизительно таким же, как в ледниковые эпохи.

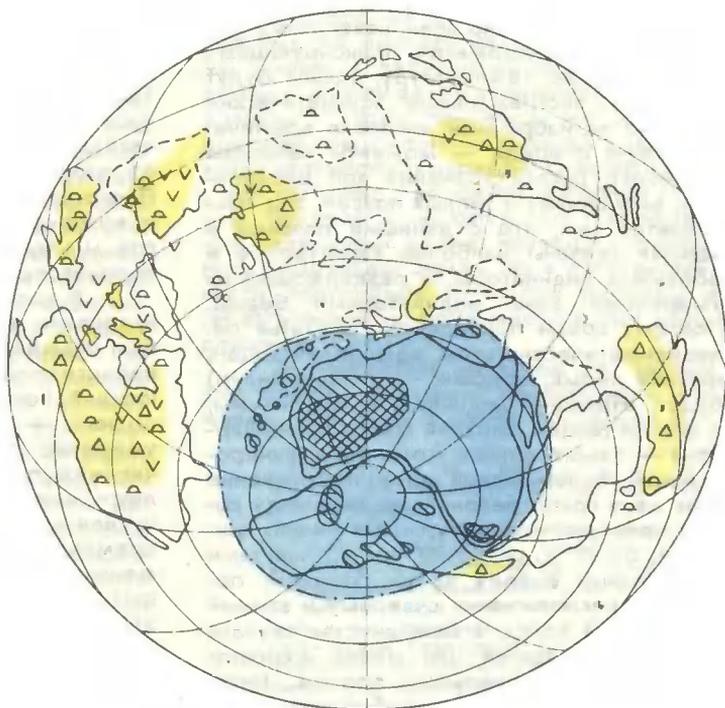


Климатическая зональность верхнемеловой эпохи (98—65 млн лет назад). Она тоже может служить примером зональности теплого периода в истории Земли. Однако полярные области умеренно-теплого климата в это время были шире, чем в эоценовое, и занимали почти все высокие широты.

Климатическая зональность раннекарбоневой эпохи (360—320 млн лет назад). Эта эпоха, с характерной для теплого периода зональностью, отличалась большой шириной экваториального пояса и сокращением аридных поросов.



Климатические индикаторы ордовикского периода — нижнесилурийской эпохи (500—420 млн лет назад). Отсутствие надежных индикаторов влажного климата в это время не позволяет реконструировать все климатические пояса, однако на схеме отчетливо видна приуроченность ледниковых и почти всех ледовых отложений к высоким и средним широтам.



довательно, эти реконструкции пригодны для изучения климатической зональности прошлого и ее изменений.

## ДВА КРАЙНИХ ТИПА КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

Для палеоклиматических схем нами были выбраны несколько интервалов, характеризующих и холодные (ледниковые), и теплые периоды геологической истории. Климат изменчив, и поэтому чем короче временные интервалы, выбранные для реконструкций, тем последние точнее. Однако и существующие методы определения возраста пород, и малая «плотность» палеоклиматических индикаторов не позволяют брать очень короткие временные интервалы. Поэтому воспроизводимые в статье палеоклиматические реконструкции составлены главным образом для интервалов времени протяженностью в несколько десятков миллионов лет. На них суммируются многие более мелкие климатические колебания и соответствующие им смещения поясов палеоклиматических индикаторов. Здесь, как и при фотосъемке слабо светящихся движущихся объектов (планет, ночного транспорта), приходится мириться с определенной смазанностью изображения. Если правильно оценить этот эффект, он не окажет большого отрицательного влияния на выводы. Можно ожидать в данном случае, что, подобно всем известному медицинскому термометру, фиксирующему максимальную температуру, схемы будут отражать экстремальные климатические события за избранный интервал времени; в первую очередь — моменты наиболее широкого распространения зон оледенений, засушливых и теплых поясов. Это объясняется тем, что с данными поясами и зонами связаны наиболее характерные и обильные индикаторы, а разделяющие их умеренные зоны индикаторами бедны. Поэтому среди приведенных в статье палеоклиматических схем одни (плейстоцен, нижняя пермь, ордовик — нижний силур) будут отражать ледниковые максимумы, а другие (эоцен, верхний мел, нижний карбон) — самые теплые моменты в фанерозойской геологической истории. Сравнение этих двух групп реконструкций между собой приводит к выводу, что в низких широтах, от 30° с. ш. до 30° ю. ш., местами значительно выходя за их пределы, постоянно располагались северный и южный засушливые пояса, в большинстве случаев разделенные более или менее широким влажным экваториальным поясом. Интересно отметить, что, подобно современ-

ным, палеопояса засушливого климата обычно тоже расширялись к западным берегам континентов, а пояс влажного экваториального климата — к восточным. Расширение экваториального пояса в Восточной Азии, отчетливо фиксирующееся с позднего палеозоя, указывает на существование Тихого океана по меньшей мере с этого времени.

В более высоких широтах Земли (30—90°) климат в холодные и теплые периоды резко различался. В холодные периоды области развития субтропического климата сильно сокращались и не составляли единого пояса. В средних широтах обоих полушарий наблюдалось частое чередование холодного (ледникового) и умеренно-холодного климатов или преобладание последнего. Временами ледниковые покровы достигали 30-х градусов северной и южной широты, т. е. современной широты Флориды, Каира, Шанхая (38° с. ш. на территории Северной Америки в плейстоцене, 30° ю. ш. в Африке и Южной Америке в нижней перми и в Аравии в верхнем ордовике). В высоких широтах в холодные периоды преобладал холодный климат с ледниковыми или ледовыми покровами и следами вечной мерзлоты.

В противоположность этому, в теплые периоды геологической истории средние широты Земли характеризовались теплым «субтропическим», а быть может, и «тропическим» климатом, который иногда распространялся и на часть высоких широт. Такой климат по своему характеру хотелось бы назвать тропическим и субтропическим без кавычек, но его удаленность от тропиков не позволяет сделать этого. Поскольку в современных климатах и его классификация такому климату нет аналогов, мы будем именовать его теплым вне-тропическим.

В высоких широтах Земли в теплые интервалы геологической истории климат был обычно умеренно теплым. Вблизи Северного полюса, например, в меловой и юрский периоды, а недалеко от Южного полюса — в триасовом периоде, росли умеренно теплолюбивые растения, в том числе крупные деревья, образовывались залежи каменных углей и обитали многочисленные рептилии и амфибии<sup>8</sup>. Впрочем, временами наступали здесь и кратковременные похолодания, в результате которых моря зимой покрывались льдом. Об этом свидетельствуют пласты и пачки ле-

<sup>8</sup> Вахремов В. А. // Вестн. АН СССР. 1985. № 8. С. 30—42.

довых отложений в юрских, меловых и раннепалеогеновых отложениях Шпицбергена и Северо-Восточной Азии. Однако постоянных ледниковых и ледовых полярных шапок в теплые периоды на Земле, по-видимому, не было.

Из сказанного следует также, что в холодные периоды широтная климатическая зональность была контрастной и характеризовалась большими температурными градиентами в меридиональном направлении. В теплые периоды широтная климатическая зональность была не столь резкой, и меридиональный температурный градиент снижался. В связи с этим возникает еще одна палеоклиматическая проблема. Падение меридионального температурного градиента должно было снижать интенсивность теплообмена между низкими широтами Земли, имеющими положительный тепловой баланс, и высокими широтами, тепловой баланс которых отрицателен. В то же время для поддержания теплого климата в высоких и средних широтах, наоборот, требуется усиление такого теплообмена. Возникает предположение, что климатические перестройки вызывались изменениями не только в структуре атмосферной и океанической циркуляции, но и в радиационном балансе Земли.

Причины этих изменений пока неясны. Они могут быть и космического, и земного происхождения. Выдвинуто несколько десятков гипотез, объясняющих климатические колебания на Земле. Очевидно, что температурные колебания разной частоты могут вызываться разными причинами: суточные — вращением Земли вокруг собственной оси, сезонные — вращением Земли вокруг Солнца и наклоном земной оси. Колебания климата длительностью в десятки лет, возможно, связаны с изменениями солнечной активности. Новейшие палеотемпературные исследования донных осадков океанов как будто бы подтверждают гипотезу югославского ученого М. Миланковича о том, что климатические изменения длительностью в десятки и сотни тысяч лет, «ответственные» за многократность последних кайнозойских оледенений, вызваны суммарным эффектом небольших вариаций в наклоне земной оси, эксцентриситете орбиты Земли и прецессии. Наиболее популярными гипотезами для объяснения более длительных климатических колебаний на Земле сейчас являются следующие. Первая гипотеза — изменение количества  $\text{CO}_2$  в атмосфере и соответствующее изменение надежности

газовой «шубы» Земли. Для кайнозойской эры действительно устанавливается довольно отчетливое совпадение между уменьшением содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и похолоданиями<sup>9</sup>. Однако для более ранних похолоданий такая зависимость неочевидна. Вторая гипотеза объясняет климатические колебания перемещением континентов и, как следствие, изменением альbedo Земли и системы океанических течений. В этом случае непонятно, почему гондванские оледенения возникли и прекратились при сходном расположении материков<sup>10</sup>. Третья гипотеза предполагает изменение интенсивности солнечной радиации, т. е. изменение так называемой солнечной постоянной, что само по себе довольно гипотетично.

### ЗЕМЛЯ — ПЛАНЕТА ТЕПЛАЯ

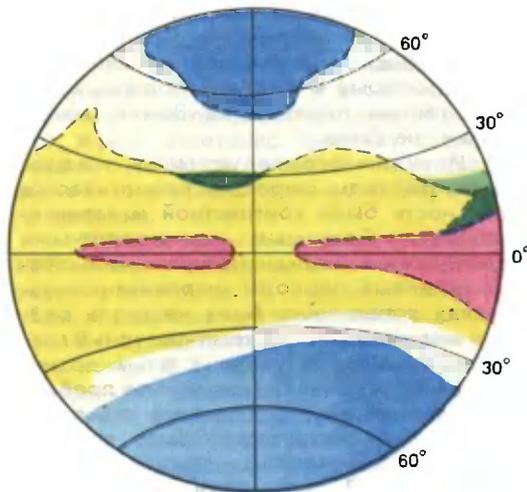
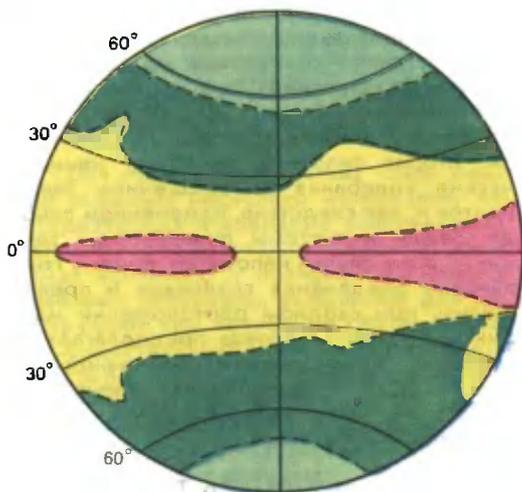
В настоящее время ледники занимают около 11 % поверхности суши. Ледниковые щиты почти полностью покрывают целый континент — Антарктиду — и самый большой остров Земли — Гренландию. На обширных пространствах океанов и морей плавают шельфовые ледники и их обломки — айсберги, а также многолетние и сезонные морские льды. Суммарно их площадь составляет 26 % площади океана. Таким образом, льдами и ледниками сейчас занято около 21 % поверхности Земли. Поэтому не приходится сомневаться, что мы живем в ледниковый период, по-видимому, между двумя ледниковыми максимумами<sup>11</sup>. Люди появились на Земле и достигли современного развития в течение этого ледникового периода. Каждый из нас с детства знает о холодных полярных странах. Поэтому и кажется, что современный ледниковый климат является нормальным состоянием Земли. Но в действительности ледниковые и теплые периоды в геологической истории многократно чередовались.

За последний миллиард лет теплые эры трижды сменялись ледниковыми. Мы живем, очевидно, в начале последней лав-

<sup>9</sup> Будыко М. И., Ронов А. Б., Яншин А. Л. // Изв. АН СССР, сер. геол. 1985. № 1. С. 3—13.

<sup>10</sup> Чумаков Н. М. Древнейшие оледенения и климат // Материалы гляциологических исследований. М., 1985. № 53. С. 28—35.

<sup>11</sup> В предшествующий ледниковый максимум, 18 тыс. лет назад, наземные и морские ледники и льды покрывали около 43 % поверхности Земли. Следующий ледниковый максимум может не наступить в результате направленной или неконтролируемой деятельности человека.



Два крайних типа климатической зональности на Земле, сменявшие друг друга в течение последних 500 млн лет: ледниковая (справа) и термальная (слева). Смена типов климатической зональности осложнялась климатическими колебаниями разных знаков и не была очень резкой. Между крайними типами зональности существовали промежуточные типы.

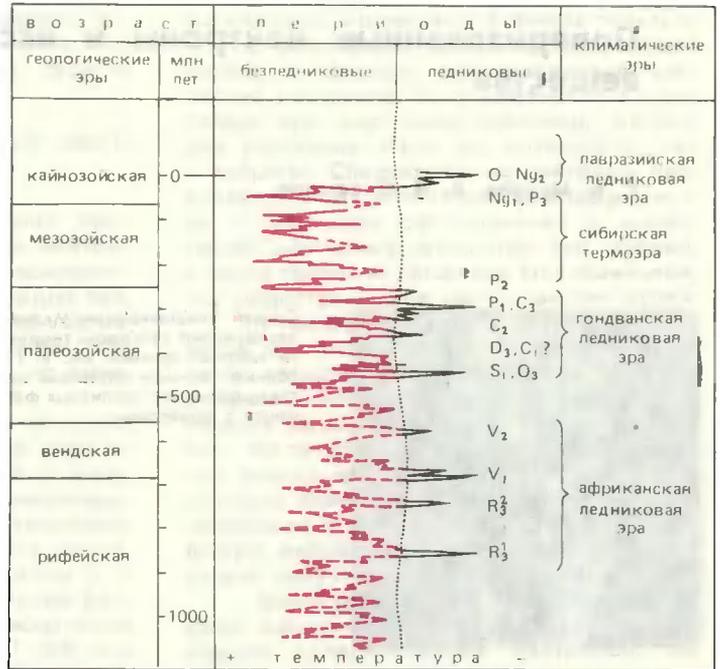
Климатические пояса:

-  холодный
-  умеренно-холодный
-  умеренно-теплый
-  теплый внетропический («субтропический»)
-  засушливый (пустынный и полупустынный)
-  тропический влажный (экваториальный и субэкваториальный)
-  Границы между поясами

разийской ледниковой эры, начавшейся около 20—30 млн лет назад. Суммарная длительность ледниковых эр составила за последний миллиард лет около 500 млн лет, или 50 % этого геологического интервала. Отсюда не следует, однако, что половину обозримой геологической истории занимали оледенения. Ледниковые эры объединяют как ледниковые, так и межледнико-

вые, теплые, периоды. Определить длительность тех и других очень непросто. Ошибки существующих методов датирования пород больше, чем длительность этих климатических событий. Легче оценить суммарную длительность нескольких ледниковых и межледниковых периодов, которые, судя по характеру и толщине соответствующих отложений, в первом приближении были, очевидно, соизмеримы друг с другом по продолжительности. В верхнепалеозойских ледниковых отложениях Восточной Австралии, накопившихся за 60—67 млн лет, имеются следы трех ледниковых и двух межледниковых периодов. Средняя длительность этих климатических периодов составляет 12—14 млн лет. Максимально возможная продолжительность некоторых из них — 20—30 млн лет. Однако и вне зависимости от этих усредненных и максимальных датировок ясно, что ледниковые периоды составляли, по-видимому, лишь немногим больше половины (около 60 %) длительности гляциоэра, или 30 % от последнего миллиарда геологической истории. Но и эта цифра не отражает истинной роли оледенений в истории Земли, так как ледниковые периоды, в свою очередь, состояли из ледниковых и межледниковых эпох. Последние, очевидно, тоже были событиями глобальными и в первом приближении могут считаться явлениями, соизмеримыми по длительности. В таком случае суммарная длительность ледниковых эпох была около 180 млн лет, или 18 % времени за последний миллиард лет геологической истории.

Схема температурных колебаний на Земле за последний миллиард лет, основанная на распространении оледенений в геологической истории и некоторых других палеоклиматических данных. Видно преобладание безледникового климата и сложная иерархия климатических событий. Латинскими буквами отмечены ледниковые периоды: Q — четвертично-позднеплиоценовый; Ng<sub>1</sub> — миоценовый; P<sub>3</sub> — верхнеолигоценовый; P<sub>2</sub> — позднепермский; P<sub>1</sub> — раннепермский; C<sub>3</sub> — позднекарбонный; C<sub>2</sub> — среднекарбонный; C<sub>1</sub> — возможный раннекарбонный; D<sub>3</sub> — позднедевонский; S<sub>1</sub> — раннесилурийский; O<sub>3</sub> — позднеордовикский; V<sub>2</sub> — поздневендский; V<sub>1</sub> — ранневендский (лалландский); R<sub>3</sub> — второй половины позднего рифея; R<sub>1</sub> — первой половины позднего рифея.



Эти приблизительные оценки показывают, что тот тип климатической зональности, который существует на Земле сейчас и который мы привыкли считать для нее обычным, вовсе не столь типичен. В прошлом на Земле преобладал теплый, безледниковый климат.

Приятно сознавать, что субтропические пляжи на нашей планете когда-то распространялись до Белого моря, Чукотки и Гренландии, но, к сожалению, это вновь случится не скоро. Однако помимо приятных ассоциаций, вывод о преобладании теплого климата в истории Земли заставляет думать, что весьма распространенный в геологии прием экстраполяции современных свойственных ледниковым периодам геологических, географических и биогеографических закономерностей на прошлое, т. е. заслуженный актуалистический метод Ч. Лайеля, должен использоваться ныне с большей осторожностью и обязательно с учетом климатических особенностей изучаемого интервала времени. В связи с этим представляется важным специальное изучение палеоклиматологии, экологии и условий накопления осадков теплых периодов геологической истории, например эоценовой, позднемиоценовой и раннекарбонной эпох. Это необходимо

для геологов, чтобы иметь ясное представление о природных процессах, происшедших во внешних сферах Земли в периоды, климатически резко отличные от современного и составлявшие большую часть геологической истории. В результате станет возможным расширить рамки актуалистического метода и постепенно преобразовать его в более общий сравнительно-исторический метод.

## Поляризованные нейтроны и исследование свойств вещества

С. В. Малеев, А. И. Окорочков



Сергей Владимирович Малеев, доктор физико-математических наук, заведующий сектором теории твердого тела Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР (ЛИЯФ). Основные научные интересы относятся к физике неупорядоченных систем, динамике магнитных фазовых переходов и взаимодействию нейтронов с веществом.



Алексей Иванович Окорочков, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физики неупорядоченного состояния того же института. Занимается исследованием магнитных явлений с помощью поляризованных нейтронов.

Открытие дифракции рентгеновских лучей в кристаллах положило начало экспериментальным исследованиям атомной структуры вещества. И до сих пор рентгеновские лучи служат основным инструментом таких исследований. Но с появлением интенсивных источников нейтронов возник новый метод изучения не только структуры вещества, но и движения его атомов, основанный на рассеянии медленных нейтронов<sup>1</sup>. Правда, рентгеновские установки доступны практически лю-

бому институту и даже заводской лаборатории, а медленные нейтроны получают в дорогостоящих ядерных реакторах<sup>2</sup>.

троны меньших энергий называют холодными и ультрахолодными. Подробнее об этом см.: Франк А. И. Ультрахолодные нейтроны // Природа. 1981. № 1. С. 30—41.

<sup>2</sup> Из наиболее известных зарубежных центров нейтронных исследований упомянем Брукхейвенскую национальную лабораторию (США) и Институт им. Лауэ — Ланжевена (Франция), а в нашей стране — импульсный реактор ИБР-2 в Объединенном институте ядерных исследований, а также реакторы Института атомной энергии им. И. В. Курчатова и Ленинградского института ядерной физики (ЛИЯФ) им. Б. П. Константинова АН СССР. В ЛИЯФе строится еще один исследовательский реактор ПИК, по своим характеристикам не уступающий лучшим зарубежным.

<sup>1</sup> К медленным, или тепловым, относят те нейтроны, энергия  $E$  которых лежит в диапазоне от 0,001 до 0,1 эВ и сравнима с энергией теплового движения атомов при температурах от 10 до 1000 К, а соответствующая длина волны  $\lambda$  меняется от 1 до 0,1 нм. Ней-

И все же нейтронные исследования интенсивно развиваются во всем мире, что обусловлено рядом уникальных свойств нейтронов.

### ЧЕМ ХОРОШИ МЕДЛЕННЫЕ НЕЙТРОНЫ

Более половины исследований, проводимых с помощью медленных нейтронов, посвящено изучению конденсированного состояния вещества, т. е. твердых тел, жидкостей и биологических объектов. В чем же преимущество нейтронов, что дают они принципиально нового по сравнению с рентгеновскими лучами?

Во-первых, для изучения атомной структуры вещества необходимо излучение с длиной волны, сравнимой с межатомным расстоянием (доли нанометра). Нейтроны, в отличие от рентгеновских квантов — фотонов, имеют массу покоя, поэтому связь между длиной волны  $\lambda$  и энергией  $E$  для нейтронов и фотонов разная. Так, у рентгеновского излучения с  $\lambda=0,3$  нм энергия кванта  $E=4,1$  кэВ, что соответствует температуре  $T \approx 5 \cdot 10^7$  К. Тепловое движение атомов на рассеяние таких квантов влияет слабо и в рентгеновских лучах практически не наблюдается. А для нейтронов с той же длиной волны энергия составляет менее 0,01 эВ, а температура — около 100 К. В результате при рассеянии на движущихся атомах энергия нейтронов меняется сильно, что позволяет изучать не только пространственное расположение атомов, но и их тепловое движение. Получить столь детальную информацию о свойствах вещества на атомном уровне другими методами сегодня не удается.

Во-вторых, рентгеновские лучи — это электромагнитные колебания, которые взаимодействуют с электронной плотностью вещества. Поэтому в них хорошо видны тяжелые элементы с большим числом электронов, а легкие (в особенности водород) заметить трудно. Нейтроны же электронную плотность почти «не чувствуют» и рассеиваются главным образом на ядрах атомов. Взаимодействие нейтронов с ними, как правило, меняется от ядра к ядру не очень сильно, так что в опытах с нейтронами легкие и тяжелые элементы равноправны.

Наконец, нейтроны имеют собственный момент количества движения — спин, с которым связан магнитный момент, другими словами, нейтрон — это элементарный магнетик, взаимодействующий с

магнитными моментами атомных электронов. В результате нейтроны испытывают наряду с ядерным дополнительное магнитное рассеяние. Если изменение их импульса при рассеянии невелико, магнитное рассеяние столь же интенсивно, как и ядерное. Следовательно, нейтроны позволяют изучать магнитные свойства вещества — взаимное расположение и ориентацию магнитных моментов его атомов, а также тепловое движение этих моментов, что недоступно для рентгеновских лучей.

К сожалению, есть у нейтронных методов и серьезный недостаток: интенсивность потоков нейтронов даже от самых мощных исследовательских реакторов меньше интенсивности рентгеновских пучков. Из-за этого нейтронные исследования весьма трудоемки и длительны, а их точность невысока, так что сегодня к ним прибегают в тех случаях, когда необходима информация трудно или вообще нельзя получить другими методами.

Далее речь пойдет о том, как исследуют магнитные свойства вещества с помощью поляризованных нейтронов. Но сначала выясним, что это такое.

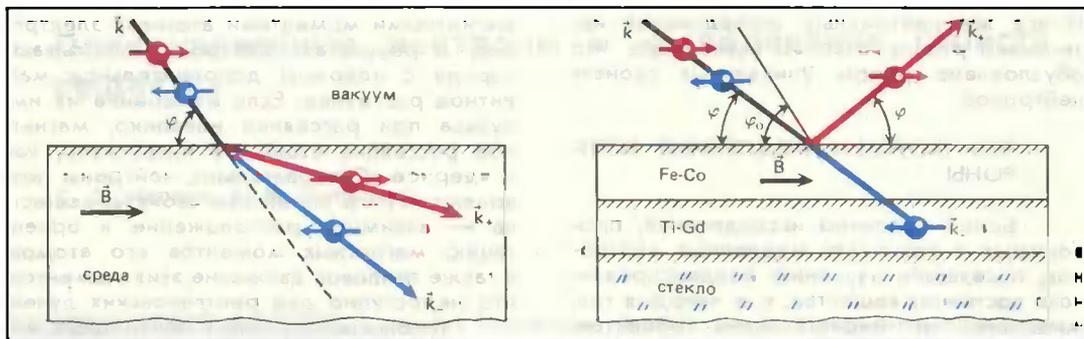
### ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ НЕЙТРОНЫ

Спин нейтрона равен  $1/2$ , т. е. его проекция на любое направление равна  $1/2$  или  $-1/2$ . В обычном (неполяризованном) пучке нейтронов от реактора обе проекции равновероятны. Если же количества частиц с этими значениями проекции неодинаковы, пучок называют поляризованным. Степень поляризации вдоль какого-либо направления (скажем, оси  $Z$ )

$$P = (N_+ - N_-) / (N_+ + N_-),$$

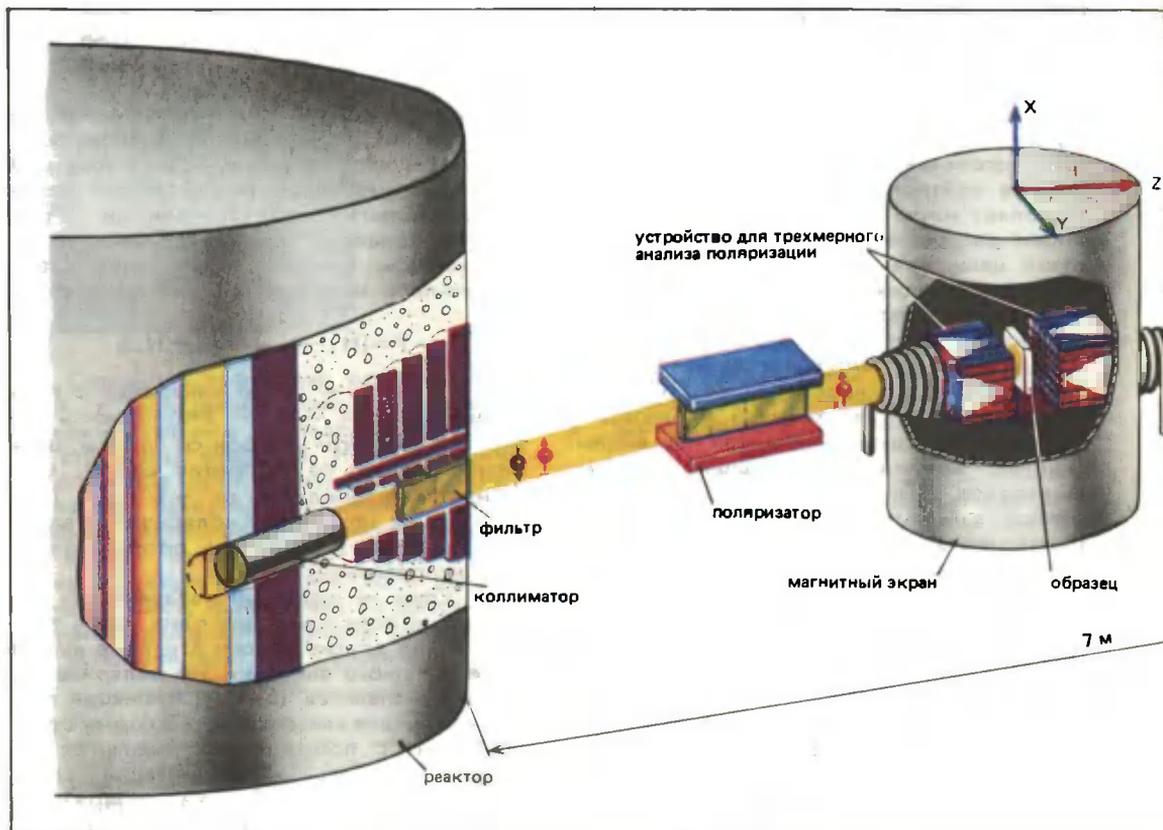
где  $N_+$  и  $N_-$  — число нейтронов с проекциями  $1/2$  и  $-1/2$ , — это разность вероятностей найти нейтрон со спином, ориентированным по и против оси  $Z$ . Она меняется в пределах от  $-1$  до  $1$  (при  $P=1$  пучок полностью поляризован вдоль оси  $Z$ , а при  $P=-1$  — в противоположном направлении).

Спин — квантово-механическая величина, и если измерена одна из ее проекций, две другие (на оси  $X$  и  $Y$ ) не имеют определенного значения. Но поляризация, пропорциональная средней проекции спина, — величина классическая. Поэтому одновременно с поляризацией вдоль оси  $Z$  можно говорить о поляризации вдоль осей  $X$  и  $Y$ . Таким образом, поляризация характеризуется вектором (точнее, акси-



Преломление нейтронов на поверхности намагниченной среды (слева) и схема поляризующего зеркала (справа). Падающий на поверхность среды из вакуума неполяризованный пучок нейтронов с импульсом  $\vec{k}$  в среде с магнитной индукцией  $\vec{B}$  делится на два пучка, в одном из которых нейтроны имеют проекцию спина, ориентированную по направлению индукции  $\vec{B}$ , и импульс  $\vec{k}_+$ , а в другом — противоположную ориентацию проекции спина и импульс  $\vec{k}_-$ . Если уменьшать угол  $\varphi$  между осью падающего пучка и поверхностью среды, вектор  $\vec{k}_+$  будет приближаться к поверхности и при некотором значении  $\varphi_0$  выйдет из среды — наступит полное внутреннее отражение, похожее на то, что наблюда-

ется в обычной оптике. Это явление используется для получения пучков поляризованных нейтронов с помощью поляризующего зеркала. В созданном в ЛЯИФе поляризующем зеркале ферромагнитный слой из сплава Fe(32%) и Co(48%) толщиной 150 нм намагничен до насыщения и отражает нейтроны с  $\vec{k}_+$ , а нейтроны с  $\vec{k}_-$  проходят в слой из сплава Ti (86%) и Gd (14%) толщиной 600 нм и поглощаются ядрами гадолиния. Концентрация компонент нижнего слоя подобрана так, чтобы нейтроны не отражались от границы между слоями. Такое зеркало позволяет получить поляризацию  $P=98\%$ . Критический угол  $\varphi_0$  для него составляет  $5,5$  мрад  $=19'$  при длине волны нейтрона  $\lambda=0,3$  нм.



альным вектором, или псевдовектором). Его длина  $P = (P_x^2 + P_y^2 + P_z^2)^{1/2}$  называется степенью поляризации, а часто — просто поляризацией.

В эксперименте, как правило, выделено направление магнитного поля. Говоря о поляризации как о векторе, надо помнить, что измерить можно только его проекцию на это направление, иными словами, вектор  $\vec{P}$  удается определить, лишь последовательно направляя поле вдоль осей X, Y и Z и каждый раз заново измеряя поляризацию. Такую процедуру впервые экспериментально осуществили в 1972 г. в ЛИЯФе и назвали трехмерным анализом поляризации<sup>3</sup>.

Существует два варианта опытов с поляризованными нейтронами. В опытах первого типа измеряют интенсивность рассеяния в зависимости от поляриза-

ции падающих нейтронов. В других — изучают изменение вектора поляризации при взаимодействии нейтронов с исследуемым образцом. Как мы увидим, информация, получаемая в экспериментах этих двух типов, различна. В частности, интенсивность рассеяния подчас не зависит от поляризации, но при рассеянии вектор поляризации сильно меняется (например, по направлению).

Как же работают с поляризованными нейтронами?

Нейтрон, как уже отмечалось, взаимодействует с магнитными моментами атомов. Энергию  $V$  этого взаимодействия можно представить в виде скалярного произведения:

$$V(\vec{r}) = -(\vec{\mu} \cdot \vec{B})$$

( $\vec{B}$  — магнитная индукция в точке  $\vec{r}$ , где находится нейтрон,  $\vec{\mu}$  — его магнитный момент). Магнитный момент нейтрона отрицателен, т. е. направлен против спина. Поэтому для нейтронов с проекцией

<sup>3</sup> Подробнее о конструкции трехмерного анализатора и принципе его работы см.: О कोरोков А. И. и др. // ЖЭТФ. 1975. Т. 69. Вып. 2(8). С. 590—598.

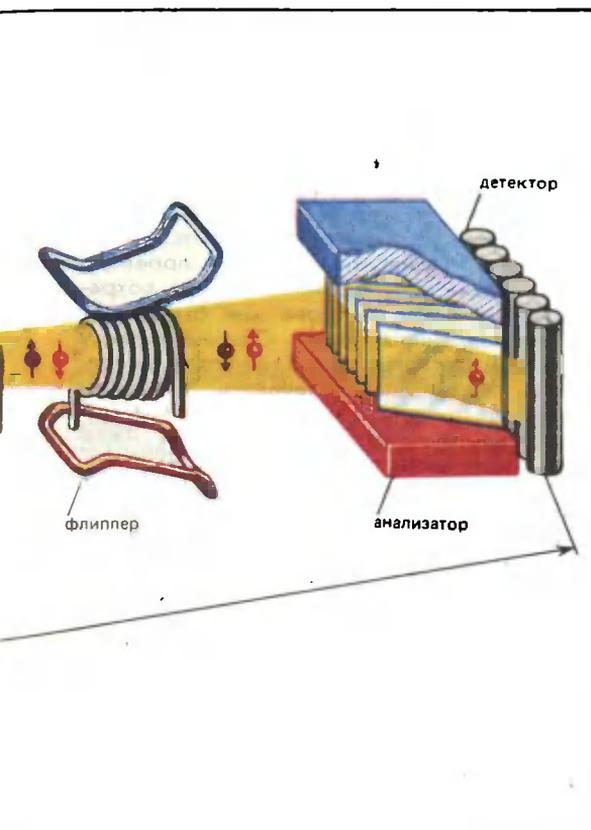


Схема созданной в ЛИЯФе установки для трехмерного анализа поляризации нейтронов. Пучок нейтронов из реактора проходит через коллиматор и фильтр, пропускающий нейтроны с длиной волны  $\lambda \geq 1$  нм [остальные рассеиваются и поглощаются в нем]. Далее пучок попадает на зеркало-поляризатор, отражающее нейтроны с положительной проекцией спина на направление магнитного поля и поглощающее нейтроны с противоположным направлением спина. Поляризованный вдоль поля нейтронный пучок направляется в устройство для трехмерного анализа поляризации, внутри которого в области, где нет поля, находится образец. В этом устройстве, окруженном магнитным экраном, специальная система соленоидов формирует такое магнитное поле, которое позволяет перед образцом ориентировать вектор исходной поляризации  $\vec{P}_0$  вдоль любой из осей X, Y, Z, а за образцом последовательно измерить проекции вектора поляризации рассеянных нейтронов  $\vec{P}$  на эти оси. Затем пучок проходит через флиппер, в котором на неоднородное по траектории движения нейтронов магнитное поле, адиабатически переворачивающее поляризацию. Зеркала-анализаторы, как и поляризатор, отражают нейтроны с проекцией спина, направленной по полю, которые регистрируются нейтронными счетчиками. В установке анализ поляризации нейтронов выполняется одновременно для 20 значений угла рассеяния.

спина по полю энергия взаимодействия положительна, а против поля — отрицательна.

Рассмотрим теперь пучок нейтронов, падающих из вакуума на однородно намагниченную поверхность раздела со средой. Нейтроны со спином, ориентированным по полю, будут средой отталкиваться, а со спином против поля — притягиваться. Поэтому, попадая в среду, нейтронный пучок разделится на две части, поляризованные по полю и против него. Это описывают, вводя, как и в оптике, коэффициент преломления

$$n_{\pm} = n_0 \mp \mu B / E.$$

Первое слагаемое в этой формуле обусловлено взаимодействием нейтронов с ядрами<sup>4</sup>, а второе — магнитным взаимодействием, зависящим от направления спина нейтрона.

При  $|n_{\pm}| < 1$  для нейтронов со спином, направленным по полю, наблюдается хорошо известное в оптике явление полного внутреннего отражения — если угол падения пучка  $\varphi$  меньше критического значения  $\varphi_0 = (1 - n_{\pm}^2)^{1/2}$ , нейтроны полностью отражаются средой. Поскольку, как правило,  $|n_{-}| \geq 1$ , нейтроны, поляризованные против поля, проникают в среду. В результате отраженный от такого зеркала пучок оказывается полностью поляризованным (если зеркало не намагничено, поляризация в отраженном пучке не возникает). Это на сегодня наиболее широко используемый метод поляризации нейтронов<sup>5</sup>. Для медленных нейтронов  $|n_{\pm}| - 1 \approx 10^{-6} - 10^{-4}$ , иными словами, величина  $n$  весьма близка к единице, и угол  $\varphi_0$  меняется от  $10'$  до  $1^\circ$ . Поэтому магнитные зеркала дают узкие пучки поляризованных нейтронов, удобные в физических исследованиях.

Для анализа поляризации необходимо второе магнитное зеркало, которым можно измерить число нейтронов со спином  $1/2$  и  $-1/2$ . Простым перемагничиванием зеркала ее измерить нельзя;

около зеркала существует магнитное поле, и вектор поляризации поворачивается вместе с полем. В итоге нейтроны у зеркала поляризованы всегда вдоль его поля, так что зеркало отражает нейтроны с одной и той же проекцией. Чтобы измерить число нейтронов с другой проекцией, нужно до зеркала изменить знак поляризации, повернув ее на  $180^\circ$ . Тогда зеркало отразит нейтроны, которые до переворота были поляризованы против поля. Устройство для переворота спина нейтрона называют флиппером (от англ. flip — переворот). Чтобы понять, как оно действует и как вообще управлять поляризацией нейтронов, посмотрим, как ведет себя вектор поляризации в магнитном поле.

В постоянном поле  $\vec{B}$  вектор поляризации нейтрона  $\vec{P}$  поворачивается (прецессирует) вокруг поля с так называемой ларморовской частотой  $\omega_L = 2\mu B / \hbar$ , где  $\hbar$  — постоянная Планка. При этом его длина  $P$  постоянна. Если же вектор  $\vec{P}$  направлен вдоль поля  $\vec{B}$  или против него, то он просто не меняется со временем.

А что происходит с поляризацией нейтронов в магнитном поле, меняющемся вдоль траектории их движения? В системе координат, связанной с нейтроном, такое поле переменно и характеризуется временем  $\tau \approx L/v$  ( $v$  — скорость нейтрона,  $L$  — длина, на которой изменение поля  $\Delta B \approx B$ ). Для характерной частоты изменения поля  $\omega = 1/\tau$  возможны два предельных случая:  $\omega \ll \omega_L$  и  $\omega \gg \omega_L$ . В первом из них поле для нейтрона меняется очень медленно (адиабатически), и проекция поляризации на направление поля сохраняется — спин нейтрона как бы следует за направлением поля. Обычно между зеркалами условие адиабатичности выполнено, и, как уже отмечалось, нейтроны у зеркала поляризованы вдоль его намагниченности. Во втором случае поле меняется очень резко (неадиабатически), и вектор поляризации «не чувствует» эти изменения. При этом можно в поле ввести нейтроны с поляризацией, направленной под произвольным углом к полю или же вывести их, не меняя поляризации, в ту область пространства, где поля вообще нет.

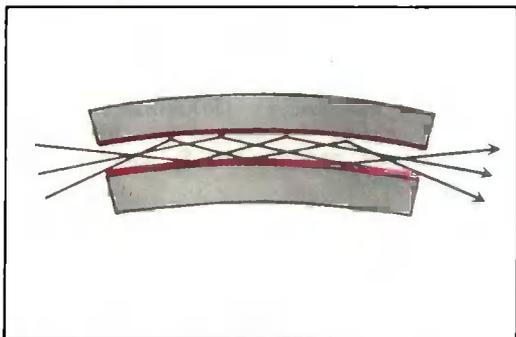
Итак, с помощью магнитного поля удается управлять поляризацией нейтронов. У тепловых нейтронов адиабатические или неадиабатические условия формируются на расстояниях от 1 м до долей сантиметра в магнитных полях от 1 до 100 Э. Быстрым же нейтроном (с энергией  $E \approx 1$  кэВ) поля и в 20 кЭ недоста-

<sup>4</sup> Преломление нейтронов за счет взаимодействия с ядрами и связанные с ним явления подробно обсуждались в упоминавшейся статье А. И. Франка.

<sup>5</sup> Существуют и другие способы поляризации, например дифракция пучка нейтронов в намагниченных кристаллах или пропускание его через мишень, содержащую поляризованные ядра, которые сильно поглощают нейтроны с одной проекцией спина и слабо — с другой. Подробнее о поляризующем зеркале см.: Др а б к и н Г. М. и др. // ЖЭТФ. 1975. Т. 69. Вып. 6(12). С. 1916—1926.

точно для поворота поляризации хотя бы на  $90^\circ$  даже на пути в десятки метров. Так что их поляризацией практически управлять нельзя. Для ультрахолодных нейтронов с  $\lambda \approx 60-100$  нм ( $E \approx 10^{-7}$  эВ), наоборот, очень трудно создать неадиабатические условия. Изложенный метод лежит в основе упомянутого трехмерного анализа поляризации и используется в конструкции флиппера.

В заключение этого раздела следует упомянуть о нейтронородах — зеркалах в виде изогнутых труб, в которых нейт-



Движение нейтронов в нейтронороде. Нейтронород представляет собой изогнутый канал с отражающими стенками. Длина используемых на практике нейтронородов составляет от 1 до 80 м; проводящий канал, как правило, имеет прямоугольное сечение с размерами по горизонтали от 1 до 30 мм, и по вертикали от 30 до 300 мм. Узкий и высокий пучок на выходе из нейтронорода можно разделить на несколько частей и использовать одновременно на нескольких экспериментальных установках.

роны, многократно отражаясь от стенок, отклоняются от первоначального направления. По нейтронородам медленные нейтроны транспортируют на большие расстояния от реактора без заметных потерь интенсивности. Быстрые же нейтроны и  $\gamma$ -кванты не отражаются от стенок нейтронорода, и возле экспериментальной установки фон от них очень мал. Если трубу изготовить из магнитного зеркала, на выходе из нее нейтроны окажутся поляризованными. Такие нейтронороды называют поляризующими. Поскольку угол полного внутреннего отражения для нейтронов мал, радиус кривизны нейтронородов обычно составляет сотни метров, а пучок отклоняется всего на  $1-2^\circ$ . Однако для практики этого достаточно, и нейтронороды получили широкое распространение.

Проследим теперь на конкретных примерах, как с помощью поляризованных нейтронов изучают магнитные свойства различных веществ, в частности ферромагнетиков.

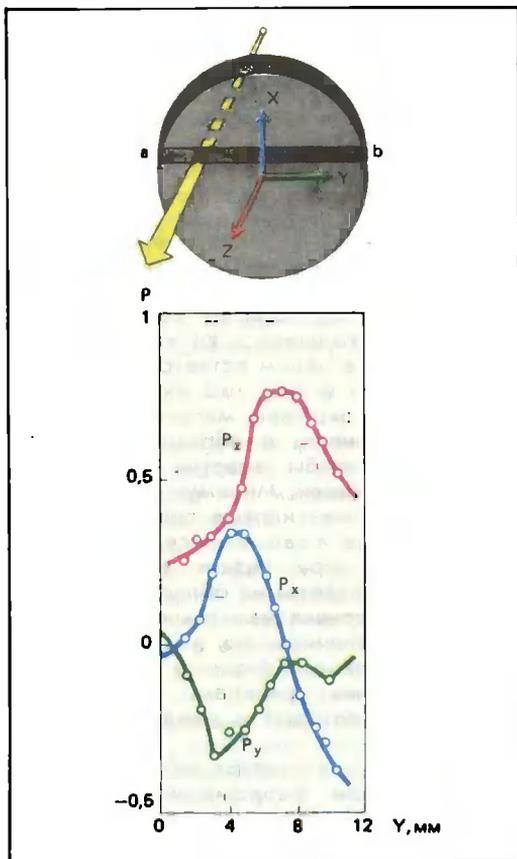
### ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА ФЕРРОМАГНЕТИКОВ

Как известно, у ферромагнетиков при температуре ниже точки Кюри  $T_c$  возникает намагниченность. Однако при этом ферромагнитный образец конечных размеров, не находящийся во внешнем магнитном поле, в целом остается ненамагниченным. Дело в том, что любой магнитный момент окружен магнитным полем, и намагниченность в образце распределяется так, чтобы энергия этого поля была минимальной. Минимум достигается, когда магнитные силовые линии не выходят из образца, а замыкаются внутри него. В результате при низких температурах образец разбивается на области (домены), где во всех точках намагниченность одинакова по величине, но в соседних доменах направлена по-разному. Домены разделены узкими границами (доменными стенками), в которых и меняется направление поля.

Доменная структура хорошо изучена на поверхности ферромагнитных образцов. Однако объемное распределение намагниченности известно значительно хуже. Его исследование с помощью поляризованных нейтронов привело к новым неожиданным результатам.

В эксперименте определялась поляризация нейтронов, прошедших через образец без рассеяния. При  $T > T_c$  она совпадает с поляризацией падающего пучка — магнитное поле образца на нее не действует<sup>6</sup>. Однако при  $T < T_c$  в образце возникает намагниченность, вокруг направления которой поворачивается вектор поляризации. Угол поворота зависит от того, как меняется намагниченность вдоль траектории нейтрона. Исследовались образцы никеля с  $T_c = 631$  К и железо-иттриевого граната ( $Y_3Fe_5O_{12}$ ) с  $T_c = 548$  К. Оказалось, что ниже точки Кюри в диапазоне 1,5 К в первом случае и 2,5 К во втором никаких доменов нет, и намагниченность плавно меняется на размерах образца. Это проявлялось в том, что при сканирова-

<sup>6</sup> Точнее, происходит небольшое уменьшение поляризации (деполяризация) пучка из-за тепловых флуктуаций намагниченности.



Поляризация пучка нейтронов, прошедшего через образец из железо-иттриевого граната (толщина образца 3 мм, диаметр 12 мм, внешнее поле близко к нулю, температура  $T = T_c - 1,5$  К). На образец направляется тонкий (диаметром около 1 мм) лучок нейтронов, сканирующий по линии ab. Начальная поляризация пучка направлена по оси Z. Кривые  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$  — зависимости компонент поляризации прошедшего пучка от расстояния вдоль оси Y. Вид кривых свидетельствует о вращении вектора  $\vec{P}$  в поле образца (индукция которого имеет величину около 20 Гс и плавно меняет свое направление от точки к точке).

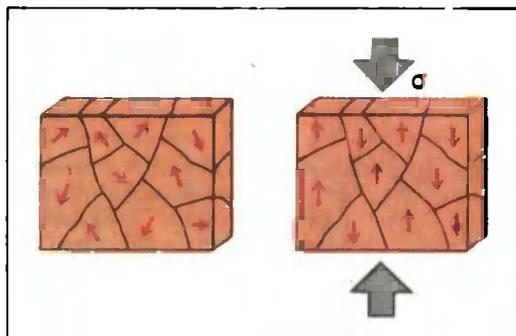
нии образца узким (диаметром около 1 мм) пучком нейтронов вектор поляризации поворачивался на угол, величина которого менялась от точки к точке. Однако при дальнейшем снижении температуры повороты прекращались и наблюдалась деполаризация пучка. Это означает, что размеры неоднородностей менялись скачком, становясь меньше диаметра

пучка. Такое скачкообразное изменение свойств вещества называют фазовым переходом первого рода. Другими словами, в эксперименте была обнаружена новая фаза с неоднородной намагниченностью, существующая в узкой области температур ниже  $T_c$ . Это состояние принципиально отличается от доменной структуры отсутствием доменных стенок и медленным поворотом вектора намагниченности на расстояниях, сравнимых с размерами образца.

Если домены достаточно мелкие, то в каждом из них поляризация поворачивается на малый угол. Эти повороты случайны, поэтому их характеризуют средним квадратом угла поворота вектора поляризации в домене  $\bar{\varphi}^2$ . Поляризация прошедшего пучка  $P$  при этом связана с поляризацией падающего  $P_0$  следующим соотношением:

$$P = P_0 \cdot e^{-A\bar{\varphi}^2 N},$$

где  $N$  — число доменов на пути нейтрона. В этом выражении наиболее интересен коэффициент  $A$ . Он зависит как от распределения направлений намагниченности доменов, так и от взаимной ориентации векторов скорости нейтронов  $\vec{v}$  и их начальной поляризации  $\vec{P}_0$ . Последнее обстоятельство обусловлено нецентральной характером взаимодействия магнитных моментов нейтрона и домена, определяемого



Два типа доменной структуры, легко различимые по деполаризации прошедшего через образец нейтронного пучка. В обоих случаях средняя намагниченность образца равна нулю, но в отсутствие внешнего давления (слева) векторы намагниченности доменов (цветные стрелки) ориентированы хаотично, так что все ориентации равновероятны, а при наложении давления  $\sigma$  (справа) они с равной вероятностью направлены строго по или против заданной им оси. Это предельный случай структуры, создаваемой в сплаве палладия и железа под действием внешней нагрузки.

не только расстоянием между ними, но и ориентациями моментов по отношению к соединяющей их линии: при хаотичной ориентации намагниченности доменов  $A=1$  для  $\vec{P}_{0\parallel} \vec{v}$  и  $A=3/2$  для  $\vec{P}_{0\perp} \vec{v}$ . В результате возникает анизотропия деполяризации, иначе говоря, нейтроны, поляризованные вначале перпендикулярно скорости ( $P_{0\perp}$ ), деполяризуются сильнее, чем нейтроны, поляризованные параллельно ( $P_{0\parallel}$ ):

$$P_{\perp}/P_{0\perp} = (P_{\parallel}/P_{0\parallel})^{3/2}.$$

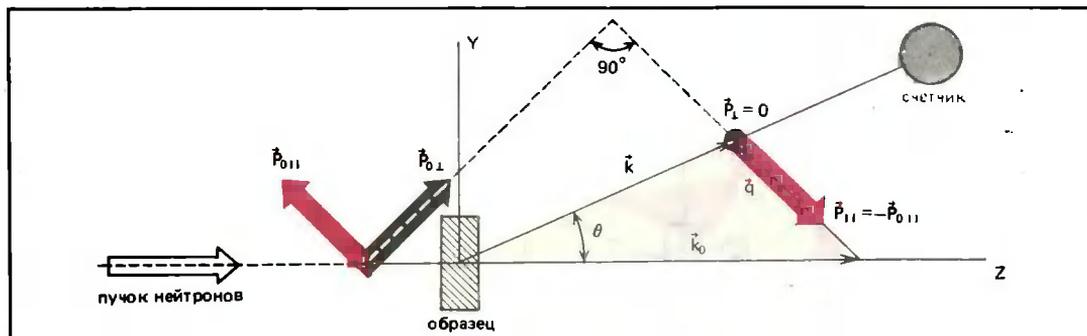


Схема магнитного рассеяния поляризованных нейтронов ( $\theta$  — угол рассеяния,  $\vec{k}_0$  и  $\vec{k}$  — импульсы падающих и рассеянных нейтронов,  $\vec{q} = \vec{k} - \vec{k}_0$  — переданный импульс). Если вектор начальной поляризации параллелен переданному импульсу ( $P_{0\parallel}$ ), при рассеянии поляризация меняет знак ( $P_{\parallel} = -P_{0\parallel}$ ), если же он перпендикулярен  $\vec{q}$  (вектор  $P_{0\perp}$ ), рассеянные нейтроны неполяризованы ( $P_{\perp} = 0$ ).

Отклонение показателя от значения  $3/2$  означает, что намагниченности доменов ориентированы не хаотично, а вдоль каких-то преимущественных направлений. Тем самым, измеряя деполяризацию нейтронов, можно изучать ориентацию намагниченности доменов (магнитную текстуру образца). Такая возможность уже реализована для промышленных образцов с целью оптимизации их параметров. Но, пожалуй, наиболее эффективен этот метод при слабой намагниченности (вблизи точки Кюри), где другие методы вообще неприменимы<sup>7</sup>. Исследовался сплав палладия

с железом, содержащий 4 атомных процента железа. Чистый палладий инферромагнитен, но уже небольшая (в пределах 0,1 %) примесь железа делает его ферромагнетиком. При температуре ниже  $T_c = 110$  К приведенное соотношение для различных направлений поляризации прошедшего пучка выполнялось. Однако стоило приложить к образцу дополнительное давление всего 0,1—1 кгс/мм<sup>2</sup>, как ситуация резко менялась. Наблюдалась ярко выраженная анизотропия: намагниченность ориентировалась преимущественно

но вдоль направления давления. Удалось исследовать температурную зависимость этой анизотропии в диапазоне температур, где существует доменная структура. В непосредственной же близости к  $T_c$  преобладает, как в никеле и железо-иттриевом гранате, фаза неоднородной намагниченности, область допустимых температур которой сжимается с повышением концентрации железа.

#### КАК ОТДЕЛИТЬ МАГНИТНОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ ОТ ЯДЕРНОГО

До сих пор речь шла о поляризации нейтронов, прошедших через образец. Но несравненно больше возможностей для изучения магнитных свойств вещества дают опыты по рассеянию поляризованных нейтронов. При анализе экспериментальных данных иногда трудно определить вклад магнитного рассеяния, которое подчас слабее ядерного. Для поляризованных нейтронов удается экспериментально отделить магнитное рассеяние от ядерного и изучать каждое из них в «чистом виде». Как же это делается?

Рассеяние на ядрах, у которых нет спина, не зависит от поляризации нейтронов, тогда как магнитное — связано с их спином, т. е. сильно зависит от поляриза-

<sup>7</sup> Подробнее об этом см.: Гордеев Г. П. и др. // ЖЭТФ. 1974. Т. 66. Вып. 5(11). С. 1712—1719; Малеев С. В., Рубан В. А. // ФТТ. 1976. Т. 18. Вып. 8. С. 2283—2290.

ции<sup>8</sup>. Кроме того, при магнитном рассеянии поляризация обязательно меняется.

Рассмотрим, например, рассеяние в парамагнетике, где все направления магнитных моментов равновероятны. Это рассеяние не зависит от поляризации падающих нейтронов, но сама поляризация при рассеянии меняется:

$$\vec{P} = -\vec{e}(\vec{e} \cdot \vec{P}_0)$$

( $\vec{e} = \vec{q}/q$  — единичный вектор в направлении переданного при рассеянии импуль-

векторы  $\vec{P}_0$  и  $\vec{q}$  параллельны, то в результате рассеяния поляризация изменит знак.

Эти свойства позволяют экспериментально отделить магнитное рассеяние от ядерного. Действительно, раз при ядерном рассеянии поляризация не меняется, все ее изменение вызвано магнитным рассеянием. Следовательно, измерив поляризацию рассеянных нейтронов и сравнив ее с начальной, можно определить вклад магнитного рассеяния. Чувствительность такого метода очень высока. С его помощью недавно исследовали магнитное рассеяние

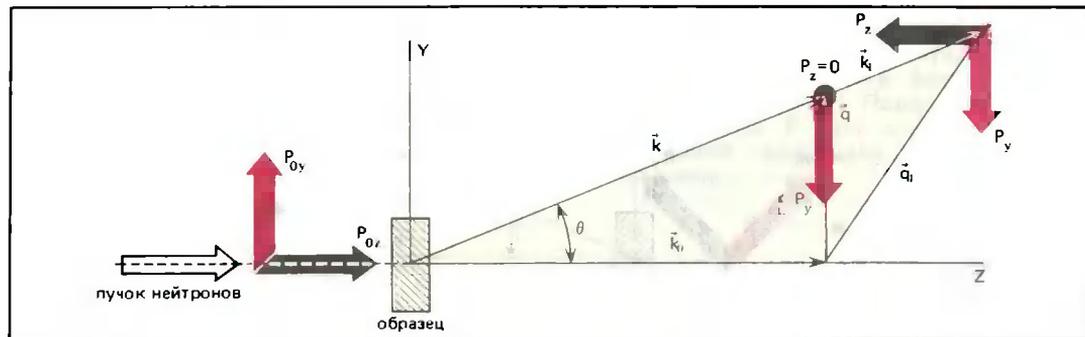


Схема упругого и неупругого магнитного рассеяния поляризованных нейтронов на малые углы в немагнитном образце (обозначения те же, что и на предыдущем рисунке). Вектор поляризации рассеянного пучка направлен против переданного импульса  $\vec{q}$ . При упругом рассеянии  $k = k_0$  и вектор  $\vec{q}$  практически перпендикулярен оси Z (угол  $\theta$  мал), так что поляризация рассеянных нейтронов  $\vec{P} = -P_{0y}$ , а  $P_z = 0$  независимо от направления начальной поляризации. В неупругом рассеянии, когда нейтрон изменяет свою энергию, результирующий импульс  $k_1 \neq k_0$  и переданный импульс  $\vec{q}$  имеет проекцию на ось Z. Поэтому в поляризации рассеянных нейтронов обязательно появляется составляющая  $P_z$ , по величине которой можно вычислить изменение энергии  $\omega$  при рассеянии нейтронов.

са  $\vec{q} = \vec{k} - \vec{k}_0$ ,  $\vec{k}_0$  и  $\vec{k}$  — импульсы нейтрона до и после рассеяния). Иными словами, как бы ни были поляризованы падающие нейтроны, после рассеяния поляризация направлена вдоль переданного импульса, а ее величина зависит только от ориентации вектора  $\vec{q}$ . Если начальная поляризация  $\vec{P}_0$  перпендикулярна  $\vec{q}$ , нейтроны при рассеянии полностью деполаризуются, а если

взвешенными в керосине частицами магнетита<sup>9</sup>. Это рассеяние удалось надежно зарегистрировать даже в том случае, когда оно было в 60 раз слабее ядерного. В эксперименте также впервые обнаружили, что частицы магнетита в основном слипаются попарно — северный полюс одной из них притягивается к южному полюсу другой, а более крупные скопления частиц в отсутствие внешнего магнитного поля почти не наблюдались.

## НЕУПРУГОЕ МАГНИТНОЕ РАССЕЯНИЕ

Как уже отмечалось, одно из преимуществ нейтронов по сравнению с рентгеновскими лучами состоит в том, что по изменению их энергии при рассеянии можно изучать тепловое движение атомов. Обычно для этого строят сложные установки — нейтронные спектрометры, которые «чувствуют» движение атомов, лишь если рассеяние нейтронов на них достаточно сильное, а изменение энергии нейтронов при рассеянии не очень мало. Если хотя бы одно из этих условий не вы-

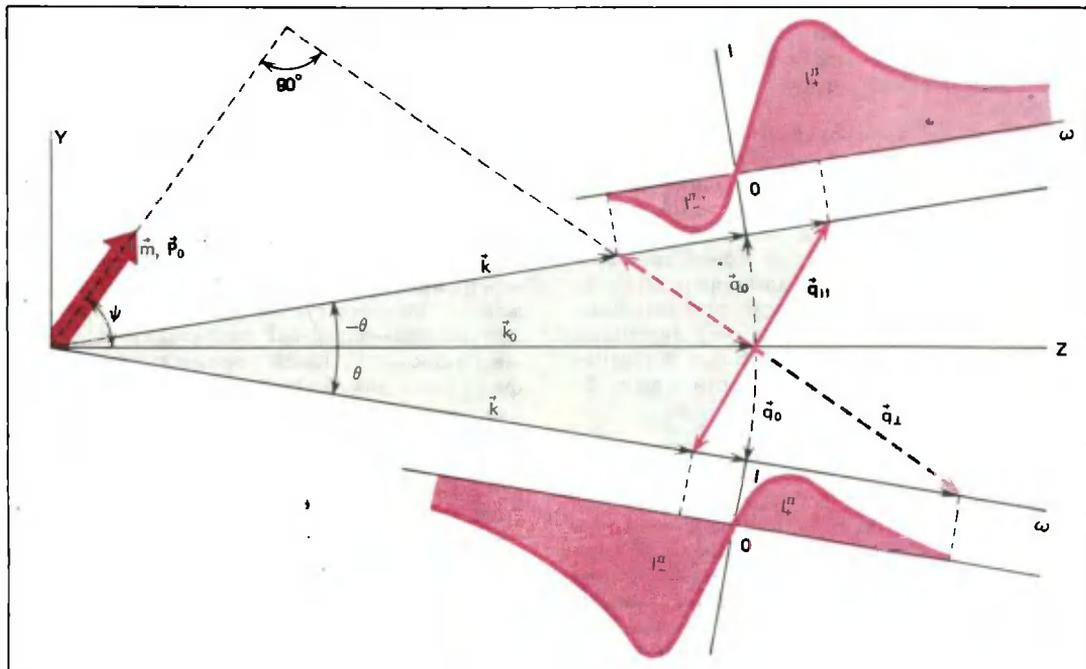
<sup>8</sup> См., напр.: Малеев С. В. Об исследовании магнетиков с помощью поляризованных нейтронов // Проблемы современной теоретической физики / Под ред. В. Г. Барьяхтара. Киев, 1982. С. 130—139.

<sup>9</sup> Это пример так называемых феррожидкостей, широко используемых в технике. В магнитном поле их вязкость возрастает, и в достаточно сильных полях они практически затвердевают.

полнено, прямые спектроскопические методы изучения динамики атомов непригодны. Для магнитного рассеяния опять приходят на помощь поляризованные нейтроны. Они особенно эффективны, когда рассеяние происходит преимущественно на малые углы. Это имеет место, если магнитные моменты атомов в основном параллельны на больших расстояниях. В этом случае говорят о крупномасштабных флуктуациях намагниченности. Такие флуктуации существуют, например, около точки Кюри в ферромагнетиках, где их назы-

вают критическими (ибо при стремлении температуры к  $T_c$  размер флуктуаций неограниченно растет), а при  $T < T_c$  флуктуации как бы «замораживаются» и превращаются в статические магнитные неоднородности, о которых говорилось выше. На флуктуациях размером  $R$  нейтроны рассеиваются на угол  $\theta \approx \lambda/2\pi R$ . Для тепловых нейтронов длина волны  $\lambda$  сравнима с расстоянием между атомами в веществе, и если расстояние  $R$  велико по сравнению с межатомным, угол  $\theta$  мал.

При упругом (без изменения энер-



Появление асимметрии при неупругом магнитном рассеянии поляризованных нейтронов. Зависящая от поляризации часть интенсивности рассеяния  $I$  равна разности полных интенсивностей рассеяния пучков с поляризациями  $P_0$  и  $-P_0$ . Эта разность может быть мала по сравнению с полной интенсивностью рассеянных нейтронов, но важно, что она меняет знак при изменении знака переданной энергии  $\omega$ . В эксперименте измеряется суммарная площадь под кривой  $I(\omega)$ , которая складывается из площадей  $I_+$  и  $I_-$ , имеющих разные знаки. Для вектора переданного импульса  $\vec{q}_{||}$ , параллельного вектору намагниченности  $\vec{m}$  (жирная стрелка),  $I(\omega)$  максимально, а для вектора  $\vec{q}_{\perp}$ , перпендикулярного  $\vec{m}$  (красные стрелки), — обращается в нуль, как и при упругом рассеянии ( $\omega=0$ ,  $\vec{q}=\vec{q}_0$ ). Если направление намагниченности образца  $\vec{m}$  перпендикулярно оси пучка  $Z$ , площади  $I_+$  и  $I_-$  равны между собой и одинаковы при рассеянии вправо или влево от

оси  $Z$ . Если же вектор  $\vec{m}$  направлен под некоторым углом  $\psi$  к оси  $Z$ , площади  $I_+$  и  $I_-$  различаются, причем неодинаково для рассеяния вправо и влево ( $I_+^{\omega} \neq I_+^{-\omega}$ ,  $I_-^{\omega} \neq I_-^{-\omega}$ ). Из величин  $I_+^{\omega}$ ,  $I_-^{\omega}$  и  $I_+^{-\omega}$ ,  $I_-^{-\omega}$  можно составить выражения  $S = [(I_+^{\omega} + I_+^{-\omega}) - (I_-^{\omega} + I_-^{-\omega})]/2$  и  $A = [(I_+^{\omega} - I_+^{-\omega}) - (I_-^{\omega} - I_-^{-\omega})]/2$ , симметричное и антисимметричное относительно замены угла  $\theta$  на  $-\theta$ . Это и означает, что неупругое магнитное рассеяние асимметрично в плоскости рассеяния, определяемой векторами  $\vec{k}_0$  и  $\vec{k}$ .

гии  $E$ ) рассеянии на малые углы вектор  $\vec{e}$  перпендикулярен оси  $Z$ , направленной вдоль скорости нейтронов  $\vec{v}$ . Если же рассеяние неупругое, у вектора  $\vec{e}$  появляется составляющая вдоль скорости падающего пучка. В результате, когда образец в целом немагнитен, а падающий пучок поляризован вдоль скорости, рассеянные нейтроны обладают поляризацией

$$P_z = -P_0(\omega/2E)^2 / [\Theta^2 + (\omega/2E)^2]$$

( $\omega$  — изменение энергии нейтронов при рассеянии). Под углом  $\Theta$  рассеиваются нейтроны с разными значениями  $\omega$ , но даже не измеряя  $\omega$ , а только изучая зависимость  $P_z$  от  $\Theta$ , можно исследовать движение крупномасштабных флуктуаций намагниченности.

Как показали эксперименты по неупругому рассеянию нейтронов в железе вблизи точки Кюри, при больших значениях  $\omega$  амплитуда флуктуаций намагниченности убывает с ростом  $\omega$  по степенному закону, что согласуется с современными теоретическими представлениями. Других методов анализа флуктуаций при больших  $\omega$  пока нет. Этот же очень перспективен для изучения крупномасштабных флуктуаций намагниченности, в частности в аморфных веществах<sup>10</sup>.

### АСИММЕТРИЯ ПРИ НЕУПРУГОМ МАГНИТНОМ РАССЕЯНИИ

Итак, мы выяснили, что можно узнать о магнитных свойствах вещества, измеряя поляризацию нейтронов. Но в ряде случаев и сама интенсивность рассеяния зависит от начальной поляризации  $P_0$ . Изучая эту зависимость, можно получать уникальную физическую информацию.

Такая зависимость возникает при неупругом магнитном рассеянии нейтронов в намагниченном образце. В этом случае в интенсивности рассеянного пучка есть вклад, пропорциональный

$$(\vec{e} \cdot \vec{m})(\vec{e} \cdot \vec{P}_0),$$

где  $\vec{m}$  — направление магнитного момента образца. Если вектор  $\vec{m}$  перпендикулярен скорости падающего пучка, при рассеянии

на малые углы этот вклад равен нулю. Результат не зависит от конкретной природы рассеивающего объекта, а обусловлен общими свойствами симметрии магнитного рассеяния. Когда же вектор  $\vec{m}$  не перпендикулярен пучку, соответствующий вклад отличен от нуля.

Чтобы исследовать указанную зависимость, пучок нейтронов направляют на образец под некоторым углом  $\psi \neq 90^\circ$  к направлению намагниченности. Зависящий от поляризации вклад в интенсивность рассеянного пучка меняется при изменении знака угла рассеяния  $\Theta$  — проявляется асимметрия в плоскости рассеяния, иными словами, интенсивность рассеяния состоит из двух частей: симметричной и асимметричной по углу рассеяния  $\Theta$ .

В ферромагнетиках при температуре ниже  $T_c$  основной вид элементарных магнитных возбуждений — это колебания плотности магнитного момента, или спиновые волны. Выделяя экспериментально в рассеянии часть, зависящую от поляризации нейтронов, удалось исследовать спиновые волны «в чистом виде», без примеси других элементарных возбуждений, например фононов<sup>11</sup>. Такой подход особенно эффективен для аморфных ферромагнетиков, где углы  $\Theta$  и изменение энергии  $\omega$  при рассеянии, как правило, малы, из-за чего обычные методы нейтронной спектроскопии применять трудно. Кроме того, указанный метод успешно применялся для изучения динамики критических флуктуаций выше точки Кюри в железе.

В настоящее время широкое использование поляризованных нейтронов в физических исследованиях еще только начинается. Сегодня физика магнитных явлений — одна из наиболее быстро развивающихся областей физики твердого тела. В особенности это относится к аморфным и неупорядоченным магнитным веществам, находящим все большее практическое применение. Здесь, безусловно, следует ожидать открытий новых неожиданных явлений, и нет сомнения, что при этом исследовании с помощью поляризованных нейтронов будут играть значительную роль.

<sup>10</sup> В настоящее время аморфные магнетики исследуют весьма интенсивно, что связано с большим разнообразием их свойств, многие из которых совершенно необычны с точки зрения «классической» физики твердого тела, занимающейся кристаллами. Кроме того, эти вещества все шире применяются в технике.

<sup>11</sup> См., напр.: Окороков А. И. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1986. Т. 43. Вып. 8. С. 390—392.

**«Глубокое озеро»****Н. М. Коровчинский**

Предлагаемая статья молодого биолога Н. М. Коровчинского заслуживает особенного внимания. Вопрос, поднятый автором, не нов, но, увы, слишком редко находит свое отражение в нашей научной, популярной и вообще широкой печати. А он чрезвычайно важен. Дело в том, что высокая техническая оснащенность и даже индустриализация современной науки создает ложное представление, особенно у молодежи, будто техника в ней решает все. Но техника в науке мертва, если в научной лаборатории нет творческой атмосферы, которая наполняет мысль энергией и помогает ей подняться до широких обобщений и ускоренно двигаться к цели. Не знаю, как в других

науках, но в биологии — науке о жизни — связь продуктивного научного творчества с определенными «святыми местами» существовала всегда. И такими местами были биостанции. Здесь, «освобожденные от суетных оков» молодые биологи лицом к лицу сходились с первозданной непуганой природой, учились у своих старших товарищей, завязывали дружбу с коллегами, которая часто длилась всю последующую жизнь, строили «великие» планы и очень часто затем их осуществляли в городских лабораториях и институтах.

Никакая современная техника, высокоомобильный транспорт, искусственный комфорт городских лабораторий так не приближает исследователя-биолога к своему объекту, как «научный комфорт» природной глухомани (часто весьма далекий от комфорта бытового). Недаром многие выдающиеся биологи так или иначе, в то или иное время были связаны с работой на биологических станциях. Для всех них без исключения эти станции были как для Дарвина Галапагосские острова.

Вряд ли кто станет оспаривать это мнение. И поэтому так важно сохранить небольшое число этих станций, оставшихся нам в наследство от наших научных учителей, продолжить славную и важную традицию. Их не сохранить одним администрированием, финансированием и планированием. Тут нужен еще и энтузиазм, одержимость, живая душа. Этой благородной цели, на мой взгляд, и способствует статья о Глубокоозерской биологической станции.

Академик-секретарь Отделения  
общей биологии АН СССР  
академик В. Е. Соколов

Неподалеку от Москвы, километрах в девяносто по направлению на запад, среди бурно развивающегося антропогенного ландшафта затерялся уголок первозданной природы. Попадая туда с недалеко лежащей авто- или железнодорожной магистрали, испытываешь ощущение, будто очутился в заколдованном царстве нетронутой Среднерусской природы, образ которой так выразительно запечатлен в знаменитой васнецовской «Аленушке».

Уже сам факт существования такого уголка достоин пристального внимания любителей натуралистов и специалистов-биологов. Но чудо-уголок радует не только глаз современника. Чем больше узнаешь его историю, тем больше он занимает ум и радует душу. Этот природный уникум, озеро Глубокое, записанный в перечень особо охраняемых памятников природы ЮНЕСКО, еще и золотая страница в истории отечественной науки, творческая лаборатория, связанная с именем цвета русской и советской биологии.

Известный отечественный гидробиолог академик С. А. Зернов (1871—1945), обсуждая становление гидробиологии как науки, писал, что одним из важных моментов, способствующих ее формированию, было появление морских и пресно-

водных биологических станций<sup>1</sup>. С открытием в 1859 г. первой Морской лаборатории в Конкарно (Бретань, Франция) начался новый этап в развитии гидробиологии, в стиле и методах ее работы.

Как до этого работали биологи с объектами своего исследования? Материал добывали во время экскурсий и экспедиций, фиксировали, высушивали или препарировали и доставляли в городские научные центры, где обрабатывали более тщательно. Наблюдения за живыми объектами, тем более в естественной обстановке, были крайне редкими. Как точно подметил немецкий гидробиолог К. Ламперт в своей замечательной книге «Жизнь пресных вод», «все, что удается добыть странствующему исследователю... остается разрозненным, отрывочным материалом, не имеющим особой научной ценности, как бы ни были драгоценны отдельные находки и как бы ни были интересны отдельные наблюдения»<sup>2</sup>.

Многие осознавали недостатки такого стиля работы, при котором трудно вести продолжительные исследования, часто не-

<sup>1</sup> Зернов С. А. Общая гидробиология. М.: Л., 1949.

<sup>2</sup> Ламперт К. Жизнь пресных вод. СПб, 1900. С. 33.



Николай Михайлович Коровчинский, кандидат биологических наук, зоолог, научный сотрудник Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР. Область научных интересов — биология и систематика ветвистоусых ракообразных. Большую часть своих исследований ведет на биостанции «Глубокое озеро».

возможно найти организмы, появляющиеся лишь временами, наблюдать те из них, которые могли быть исследованы только в живом состоянии. Большие неудобства заключались в громоздкости и вместе с тем скудости экспедиционного снаряжения. Одним словом, назрела необходимость реализовать идею о стационарной работе в природе, которая позволила бы исследователю максимально приблизиться к ней.

Где могли возникнуть такие стационарные учреждения? Конечно же там, где кипение и разнообразие жизни достигают своего максимума — на море. Так, в числе первых была открыта в 1871 г. и единственная в то время русская биологическая станция в Севастополе. Через год была основана знаменитая, поистине международная Неаполитанская зоологическая станция, на которой долгое время работало и много русских ученых. В конце 70-х годов появились в Америке морские лаборатории, а в 1886 г. русский биолог А. А. Коротнев учредил во Франции Виллафранкскую зоологическую станцию. В целом вторая половина прошлого столетия была временем интенсивного рождения морских биологических станций в Европе и Северной Америке. И как много знаменитых биологов самого разного профиля работало на них! Но продолжались и экспедиции. Именно тогда отправились в плавание заслужившие громкую известность научные корабли «Челленджер» С. В. Томпсона и Д. Меррея, «Альбатрос» А. Агассиса, «Фрам» Ф. Нансена, «Андрей Первозванный» нашего Н. М. Книповича, «Принцесса Алиса» князя Альберта Монакского. Организовывали экспедиции и сами биостанции. Такое сочетание стационарной и экспедиционной работы было и до сих пор остается лучшим способом изучения живой природы.

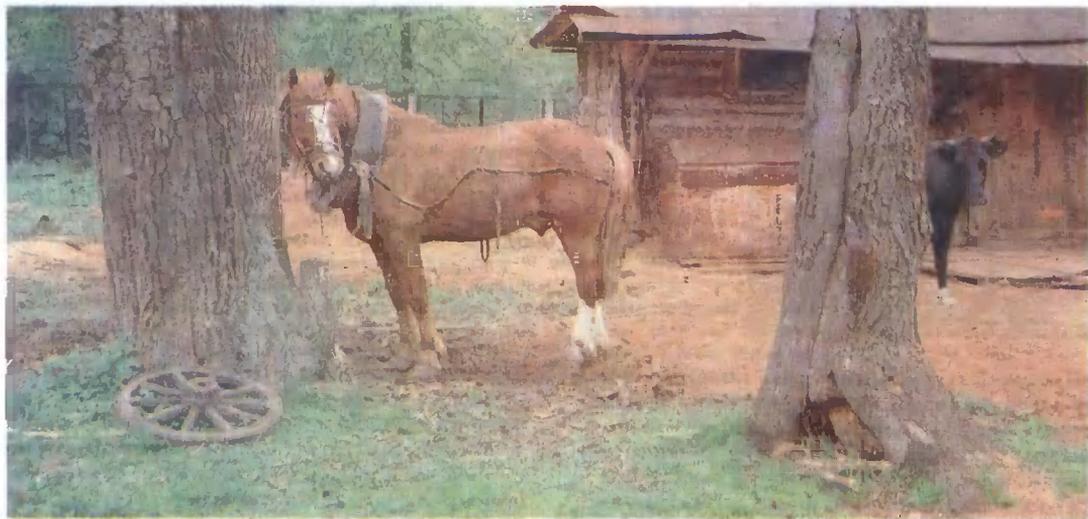
В конце 80-х — 90-х годах XIX столетия проявляются и первые пресноводные биологические станции: в 1888 г. подвиж-

ная пресноводная станция в Богемии; в 1891 г., ставшая впоследствии очень известной, биостанция на Плёнском озере в Германии. Практически одновременно с ней основывается первая Российская пресноводная биологическая станция на Глубоком озере, о которой и пойдет речь в нашей статье.

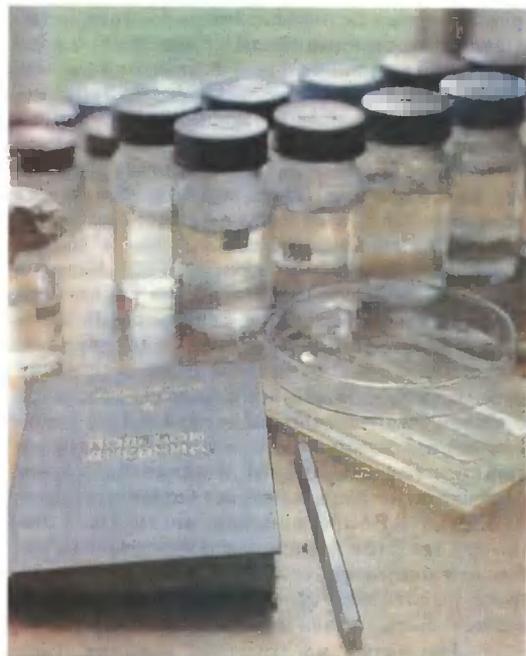
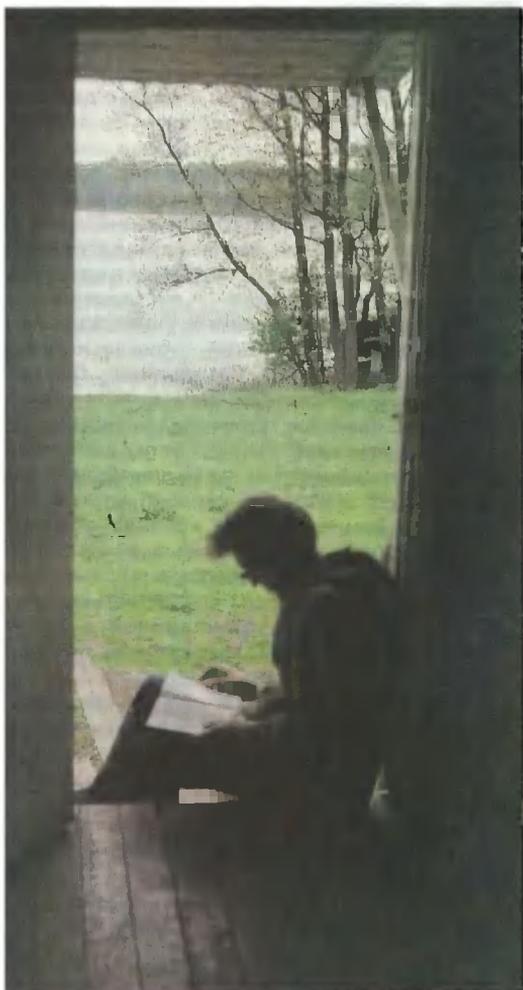
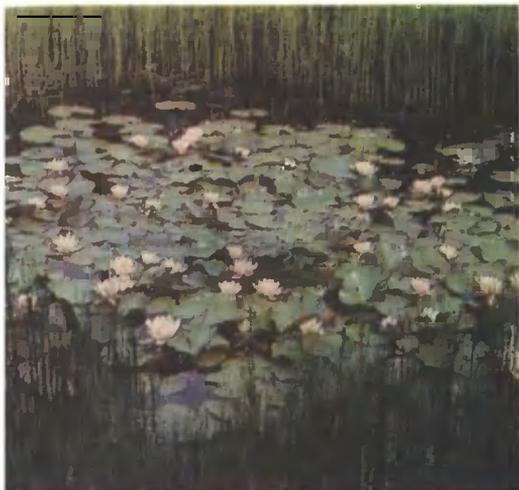
Итак, 95 лет назад в Подмоскovie на лесном озере Глубоком (Рузский уезд Московской губернии) появилась биологическая станция, положившая начало развитию отечественной пресноводной гидробиологии. Основана она была отделом ихтиологии Императорского Русского общества акклиматизации животных и растений по инициативе профессора Московского университета Николая Юрьевича Зографа (1852—1920), очень интересного, многостороннего и широко известного в свое время ученого, имя которого сейчас, к сожалению, почти забыто<sup>3</sup>.

Он вышел из круга непосредственных учеников создателя обширной школы московских зоологов профессора Анатолия Петровича Богданова, у которого учились такие известные биологи, как академики В. М. Шимкевич, М. А. Мензбир, Н. В. Насонов, Ю. В. Вагнер, антрополог Д. Е. Анучин и др. Поражает широта интересов и эрудиция Зографа, очевидно, отчасти заимствованные им у своего учителя А. П. Богданова: этнография, антропология, зоология, гидробиология, ихтиология, рыбоводство, охрана природы, популяризация научных знаний. На его живые и увлекательные лекции приходили, помимо студентов, самые разные слушатели. Будучи руководителем кафедры зоологии, он был активным поборником введения новых кур-

<sup>3</sup> Сведения о Н. Ю. Зографе в основном почерпнуты из рукописей-воспоминаний его внука — доктора технических наук И. Э. Виноградовой и доктора биологических наук З. Э. Беккер, любезно переданных последней в архив биостанции «Глубокое озеро».



Буди моставци.



сов и организатором новых подразделений в университете: лаборатории гистологии (вскоре ставшей отдельной кафедрой), курса экспериментальной зоологии на своей кафедре, принимал непосредственное участие в организации знаменитого московского Политехнического музея, многих выставок, различных экспедиций, в работе Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, Русского общества акклиматизации животных и растений, где он председательствовал в Отделе ихтиологии. Уже тогда Зограф хорошо осознавал необходимость охраны природы — проблемы, ставшей в наше время особенно острой.

Но, может быть, самым значительным делом жизни Зографа было воспитание целого поколения учеников, соратников и последователей, продолживших и развивших многие его начинания. Маленькое имение Мытники, расположенное недалеко от озера Глубокого, приобретенное Н. Ю. Зографом в основном для летней научной работы, по существу стало прообразом будущей биостанции. Именно здесь и родилась идея создать на расположенном поблизости интереснейшем водоеме стационарную биологическую станцию.

Тому, кто никогда не бывал на биостанциях, может показаться, что это всегда нечто основательное, солидное. Но мы должны разочаровать читателя. Даже сейчас, в наш век научно-технического прогресса, биостанция часто состоит из 2—3-х небольших домиков с весьма скромным хозяйством. А тогда, в 1891 г., биостанция «Глубокое озеро» начиналась с одной ветхой рыбацкой хижины без окон, топившейся по-черному, и с огромного энтузиазма ее создателя Зографа, его коллег из специальной комиссии по исследованию подмосковных вод (Н. В. Насонов, Н. М. Кулагин, Г. А. Кожевников, Ф. Ф. Каврайский, Д. М. Россинский и др.) и студентов-учеников. Среди них был и первый заведующий биостанцией, тогда еще студент, Сергей Алексеевич Зернов, ставший впоследствии одним из основоположников русской гидробиологии, создателем большой школы гидробиологов, организатором кафедр гидробиологии Московского университета и Мосрыбвтуза; отдела гидробиологии в Зоологическом институте в Ленинграде. Этот первоначальный период работы, колоритно описанный в воспоминаниях некоторых современников, поистине может быть назван героическим<sup>4</sup>.

Несмотря на трудные условия, био-

станция уже с первых лет своего существования стала местом полоничества для биологов. Значительная глубина озера (до 32 м), его небольшие размеры (около 60 га), девственные леса и болота вокруг, удаленность от населенных мест — все это было чрезвычайно удобно для самых различных исследований. Как писал Зограф: «Глубокое озеро и его берега — один из очень немногих остатков древней дикой русской природы в ближайших к первопрестольной столице местностях»<sup>5</sup>.

История биостанции — это прежде всего имена исследователей, работавших на Глубоком. Их трудами и было положено начало отечественной гидробиологии. Здесь работали замечательные ученые, носители интереснейших идей и замыслов. И хотя не все они бывали на биостанции подолгу, но всегда пребывание на озере не проходило бесследно. Так, Зернов был непосредственно связан с Глубокоозерской биостанцией всего несколько лет, но мы, вероятно, не ошибемся, если скажем, что первоначальный импульс для всей своей дальнейшей деятельности он получил именно здесь.

В эти же первые нелегкие годы существования биостанции вместе с Зерновым работал другой ближайший ученик Зографа — Николай Васильевич Богоявленский (1870—1930), впоследствии первый заведующий кафедрой гистологии и эмбриологии Московского университета и основатель Болшевской биологической станции. «У Николая Васильевича был талант к жизни. Природа, наука, литература, искусство, человек, политика, материальная культура, этнография были всегда объектами его живейшего и пламеннейшего интереса. Его огромные живые знания, которые он жадно черпал во всех областях человеческого духа и которые он дополнял и оживлял в своих постоянных странствованиях по свету, бывших его страстью, делали его крупной и единственной в своем роде фигурой среди московской профессуры...»<sup>6</sup>

С 1894 г. условия работы на озере Глубоком значительно улучшились: появи-

<sup>4</sup> Щербakov А. П. Биологическая станция на Глубоком озере // Природа. 1952. № 3. С. 84—87; Он же. Озеро Глубокое. Гидробиологический очерк. М., 1967. С. 10.

<sup>5</sup> Зограф Н. Ю. Глубокое озеро // Царь-Колокол. 1891. № 40. С. 648.

<sup>6</sup> Некрасов А. Д. // Зап. Биол. станции в Болшеве Московской губернии. 1930. Вып. 4. С. 7.



Николай Юрьевич Зограф (1852—1920) — основатель Гидробиологической станции на Глубоком озере. Мытники, 1909 г.



Сергей Алексеевич Зернов (1871—1945) — первый заведующий биостанцией.



Николай Васильевич Воронков (1880—1920) — заведующий биостанцией в 1905—1913 гг.

лось специальное здание лаборатории и летний домик для жилья работающих. Все это, так же как и различное научное оборудование, лодки, бытовая обстановка, было приобретено в основном за счет частных пожертвований энтузиастов из Отдела ихтиологии и представителей местной уездной интеллигенции: Н. В. Калужского, П. Д. Долгорукова, Н. С. Щербатова, Е. Е. Серебрянского и др. Сам Зограф не раз оказывал станции материальную помощь, даря различные научные приборы.

С этого времени биостанция могла принять уже больше сотрудников, и гидробиологические исследования становятся планомерными. Здесь работали зоолог А. Д. Некрасов (1874—1960), известный, в частности, как историк науки, написавший оригинальную и пользующуюся популярностью книгу «Чарлз Дарвин» (1957); Э. Г. Беккер (1874—1962) — энтомолог, внесший большой вклад в разработку сравнительной анатомии насекомых. Первую свою блестящую работу по открытию зачаточных органов зрения у коллембол он выполнил на кафедре Зографа.

Спустя всего 9 лет с момента образования станции, т. е. с 1900 г., начинают издаваться «Труды Гидробиологической станции на Глубоком озере». Эти регулярные выпуски, наряду с начавшим печататься почти одновременно журналом «Из Никольского рыбоводного завода», были первыми периодическими изданиями

в России, посвященными вопросам гидробиологии.

С 1905 г. на станции появилась первая штатная единица заведующего. Им стал еще один ученик Зографа — Николай Васильевич Воронков (1880—1920). Крупнейший гидробиолог, специалист по коловраткам, он хорошо представлял себе необходимость комплексного подхода к разработке проблем гидробиологии, многие из которых могли быть решены только при длительной стационарной работе коллектива биостанции, действующего взаимосвязанно: «...я, по крайней мере, понимаю станцию исключительно как учреждение, имеющее определенные цели и план исследования, а не как лабораторию, в которой каждый работает над чем угодно и которая связывает своих участников только местом занятий...»<sup>7</sup> И недаром в эти годы исследования на Глубоком озере приняли особенно большие масштабы.

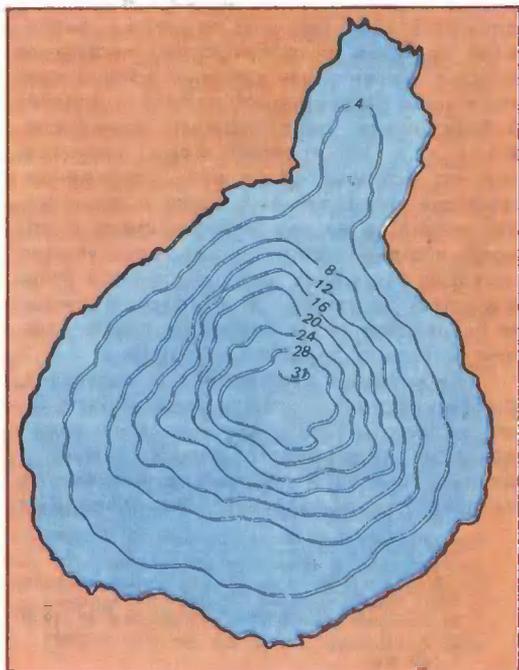
Биостанция участвовала в выставках, причем «экспонаты... были подобраны с таким расчетом, чтобы служить делу популяризации гидробиологических знаний и выяснить широкой публике практическое значение гидробиологии»<sup>8</sup>. Воронков был

<sup>7</sup> Воронков Н. В. Доклад секции ихтиологии и гидробиологии Юбилейного акклиматизационного съезда, 1908 г. в Москве. М., 1910. С. 3.

<sup>8</sup> Там же.



Карта-схема заказника «Глубокое озеро» (вверху) и батиметрическая карта Глубокого озера (съемка 1906 г.).



первым лектором, читавшим факультативный курс гидробиологии в Московском университете в 1911/12 г. (до этого на рубеже века первый небольшой курс лимнологии читал приват-доцент В. П. Зыков, также ученик Н. Ю. Зографа). Впоследствии его усилиями была организована в Ярославле гидробиологическая лаборатория.

При Воронкове на биостанции наряду с научной работой был организован курс лекций и практических занятий по гидробиологии для начинающих исследователей; для студентов Московского университета и уездной общественности устраивались экскурсии на Глубокое озеро.

В 1910-е годы на Глубокоозерской биостанции работали такие прославленные в будущем биологи, как А. С. Серебровский, М. М. Завадовский, Н. П. Плавильщиков. В обработке научных материалов, собранных на озере и в его окрестностях, участвовали известные специалисты: К. К. Гильзен, будущий академик В. Н. Сукачев, датчанин К. Весенберг-Лунд (исследования грунта озера), молодой еще тогда зоолог, ставший впоследствии выдающимся генетиком С. С. Четвериков (обработка коллекции насекомых). Флору, произрастающую вокруг озера Глубокого, изучали видные ботаники Д. П. Сырейщиков, И. Н. Горожанкин и др. В 25-летний юбилей биостанции ей было присвоено имя Н. Ю. Зографа.

В 1913 г. заведование биостанции принял Б. С. Грезе (1888—1942), ученик Н. В. Воронкова, продолживший его труды и отдавший много сил изучению озера. В 1919 г. им была организована биологическая станция Костромского университета. К сожалению, так же как и Ярославская лаборатория, она просуществовала недолго. В эти годы на биостанции работал еще один ученик Воронкова С. Д. Муравейский (1894—1950), отличавшийся чрезвычайно широкими интересами и дарованиями: он проявил себя как зоолог, гидробиолог и географ<sup>9</sup>. Им впервые была сформулирована необходимость исторического подхода к водоему при разработке вопросов, связанных с прогнозом его режима, и отмечена важность изучения биологической продуктивности водоемов; он плодотворно разрабатывал теорию процесса мирового стока как географического фактора и связанную с ним идею биогидро-

<sup>9</sup> О С. Д. Муравейском см.: Вопр. географии. 1951. № 26. С. 12—18.

логии. Муравейский работал на станции несколько лет и по завещанию похоронен на берегу озера.

После первой мировой войны и Великой Октябрьской социалистической революции в жизни биостанции произошли существенные изменения: на место многих старых сотрудников пришло другое поколение биологов со своими новыми научными замыслами, проблемами и методами исследования. Среди них выделяется фигура нового заведующего Алексея Всеволодовича Румянцева (1889—1947). Большинство биологов знают его как известного цитолога, гистолога и гистофизиолога, одного из первых специалистов по культуре тканей, создавшего новую московскую школу гистологов. Гораздо менее он известен как гидробиолог, начинавший свою деятельность под руководством Воронкова. Именно Румянцеву, добившемуся выделения штатов и денежных ассигнований, биостанция обязана своим сохранением в трудные революционные и первые послереволюционные годы, когда она «осталась без всякой материальной поддержки для своего дальнейшего существования»<sup>10</sup>. Возобновилась издательская деятельность, выпуски «Трудов» регулярно выходили до 1930 г. О результатах деятельности биостанции было доложено на 3-м Международном конгрессе лимнологов в Москве в 1925 г.

В 20-е и 30-е годы значительная часть исследований, проводимых на биостанции, не была непосредственно связана с озером. Многие из работавших здесь в это время были питомцами школ Н. К. Кольцова, С. Н. Скадовского, А. В. Румянцева, А. Н. Северцова. Очень любил бывать на Глубоком Дмитрий Петрович Филатов, он жил и работал на биостанции многие месяцы, притом в самые трудные периоды ее существования<sup>11</sup>. Так, в одном из отчетов о деятельности станции можно прочесть, что «в 1919 г. ... наиболее энергичные деятели Станции разъехались по разным городам России... так как сообщение с Москвой и условия питания на озере были чрезвычайно тяжелы... Летом 1919 и зимой 1920 г. на Станции работал один Д. П. Филатов»<sup>12</sup>. Здесь, часто при свете керосиновой лампы, он проводил свои первые тонкие опыты по пересадке органов у земноводных. Поддер-

живались тесные дружеские отношения с сотрудниками недалеко расположенных Звенигородской гидрофизиологической станции и Аниковской генетической станции Института экспериментальной биологии Наркомата здравоохранения РСФСР, многие из которых работали или бывали гостями на озере Глубоком<sup>13</sup>. Из них можно назвать Н. В. Тимофеева-Ресовского, Б. В. Кедровского, известного первыми в мире исследованиями РНК<sup>14</sup>, и Б. Л. Астаурова. В будущем академик и основатель Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР, Б. Л. Астауров в 1949 г. ставил на Глубокоозерской биостанции опыты по искусственному партеногенезу на икре щуки.

В конце 30-х годов биостанция была передана Институту эволюционной морфологии АН СССР. С этого времени усилились исследования по морфологии и эмбриологии рыб, начатые здесь ранее С. Г. Крыжановским, основателем экологического направления в эмбриологии рыб, Н. Н. Дислером, работавшим на озере особенно долго, сотрудниками и учениками В. В. Васнецова.

Но гидробиологическое изучение озера оставалось основным. В это время С. Н. Дуплаков приступил к исследованию перифитона — сообщества, о котором в озерах до этого практически ничего не было известно. Тогда же С. И. Кузнецов (ныне член-корреспондент АН СССР, воспитавший многих отечественных микробиологов) впервые применил новую методику прямого микроскопического подсчета бактерий, что позволило выяснить их огромную роль в круговороте вещества в озерах. (В 1985 г. за цикл работ по водной микробиологии ему была присуждена Государственная премия СССР.) Известный биоценолог, автор монографии «Основы биологической продуктивности водоемов» Г. С. Карзинкин и его сотрудники изучали на озере физиологию питания и роста рыб. Исследованиями Г. Г. Винберга (впоследствии члена-корреспондента АН СССР) на Косинских озерах и Глубоком озере ознаменовалось начало изучения первичной продуктивности водоемов.

Разрушительный шквал Великой Отечественной войны пронесся и над маленькой озерной биостанцией, которая нена-

<sup>10</sup> Румянцев А. В. // Тр. Гидробиол. станции на Глубоком озере. 1923. Т. 6. Вып. 1. С. 2.

<sup>11</sup> Дмитрий Петрович Филатов. (Подборка статей). // Природа. 1977. № 2. С. 98—122.

<sup>12</sup> Румянцев А. В. Цит. соч. С. 2.

<sup>13</sup> Астауров Б. Л., Рокицкий П. Ф., Николай Константинович Кольцов. М., 1975.

<sup>14</sup> Платова Т. П. Из истории открытия биологической роли РНК // Природа. 1975. № 1. С. 48—55.

долго попала в зону оккупации и подверглась сильному разорению: было уничтожено все оборудование, библиотека, но главные здания, к счастью, уцелели, и уже в 1943 г. научная работа начала входить в прежнее русло.

В послевоенные годы заведующим биостанцией стал Анатолий Петрович Щербаков. Будучи учеником Н. К. Кольцова и С. Н. Скадовского, он начал работать на озере Глубоком еще в 1924—1926 гг., а с 1946 г. в течение 20 лет возглавлял работу станции, будучи ее единственным штатным научным сотрудником. Благодаря его трудам значительно продвинулось изучение химизма озера, в частности подробно был исследован кислородный режим, была проведена многолетняя серия работ по продуктивности различных озерных ценозов и подытожены все результаты изучения озера Глубокого.

В 1945 г. территория, окружающая Глубокое, была включена в Московский заповедник, созданный для охраны и изучения природы центральной части Средне-Русской возвышенности; а в 1948 г. был организован самостоятельный Глубоко-Истринский заповедник. Основной задачей нового заповедника было всестороннее и длительное изучение режима озера Глубокого и болот, окружающих озеро, а также изучение четвертичной истории Глубоко-Истринской ложбины.

Тогда же на озере начала действовать гидрометеорологическая станция, которой руководил Л. Л. Россолимо (1894—1977) — крупнейший лимнолог, обосновавший принцип балансового подхода к изучению водоемов, ставший основополагающим во многих гидробиологических исследованиях. В тематику гидрометеостанции входили регулярные гидрологические и палеолимнологические наблюдения. Они продолжались еще ряд лет и после закрытия заповедника.

Шло время, и начался новый этап деятельности биологической станции, когда в 1971 г. приступила к работе, действующая и поныне, научная группа по экологии сообществ пресноводных животных Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР (ИЭМЭЖ), возглавляемая Н. Н. Смирновым. Основное внимание в новой гидробиологической программе было отведено изучению состава, структуры, динамики и истории водных сообществ, выяснению морфофизиологических предпосылок биологических процессов, т. е. основным стал биоценологический подход. Многолетние

наблюдения должны были дать представление о межгодовых различиях и естественных тенденциях, норме биологических показателей. Все поставленные задачи решаются в аспекте проблемы оценки и сохранения природной среды. Биоценологическое направление в определенной мере продолжает исследования, начатые ранее на биостанции Г. С. Карзинкиным.

За 70 с лишним лет работы биостанции была собрана масса интересных и важных сведений, но все же оставалось еще много пробелов в знаниях об озере. Так, сама фауна водоема, взаимоотношения его обитателей, животные и растительные остатки в донных отложениях почти не были изучены. Конечно, небольшая группа постоянных сотрудников биостанции не могла выполнить всю намеченную программу. И как было уже не раз за долгую историю биостанции, на помощь приходили сотрудники и студенты из других учреждений — Московского университета, Зоологического института АН СССР, Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов АН СССР.

Важно было решить вопрос, может ли озеро Глубокое служить эталонным природным объектом. Ответ был положительным. Несмотря на все возрастающее вмешательство человека в окружающую среду, озеро Глубокое — один из немногих водоемов центра Русской равнины, почти не испытывающих отрицательного влияния хозяйственной деятельности: от сельскохозяйственных загрязнений его спасает полоса леса и болот шириной 2,5—3,0 км, ограждающая его от ближайших полей.

По многим своим характеристикам (гидрологическим, геохимическим, биологическим) озеро Глубокое схоже с более крупными водоемами и, значит, может служить естественной лабораторией для изучения самых различных процессов, происходящих в пресных водах. Именно поэтому информация, полученная здесь, имеет огромное значение для оценки состояния окружающей среды, экологического прогнозирования при все более возрастающем влиянии человека на окружающую природу. Не менее важно, что в результате почти векового изучения озера Глубокого собрано и систематизировано чрезвычайно много научных данных, целый ряд которых вошел в международный научный обиход, в фундаментальные сводки по лимнологии и планктонологии, учебники. Международное признание статуса уникального природного объекта озеро Глубокое получило в 1971 г., когда реше-

нием ЮНЕСКО оно было включено в список озер мира, подлежащих охране.

Как современно звучат сегодня слова, сказанные в период создания Глубокоозерской биостанции, о важности изучения подмосковных водоемов, которые не имеют «прямого сообщения с отравленными и загрязненными фабричными отбросами водами», чтобы в одном из них «изучив... планктон во всех деталях и определив значение для разных рыб тех или других составных частей планктона, перенести свои наблюдения на практическую почву и распространить их мало-помалу и на другие воды средней России»<sup>15</sup>. Создание биологической станции на озере Глубоком первоначально во многом преследовало цели прикладные, рыбохозяйственные, но они понимались в высоком смысле, «так как и изучение планктона есть, собственно говоря, задача чисто прикладная, если смотреть на прикладные вопросы не с узкой точки зрения толпы, а с широкой точки зрения познания жизненных условий в наших водах»<sup>16</sup>.

Таким образом, Глубокоозерской биостанции свойственна непрерывная идейная связь, которая тянется от того далекого момента, когда Н. Ю. Зограф «принял озеро», и до наших дней. Некоторые работы на биостанции сохраняют прежнюю направленность: периодически обследуются другие водоемы, ведется систематическая обработка наблюдений за ветвистоусыми ракообразными, одной из самых многочисленных групп в пресных водах. В начале столетия, как уже говорилось, заведующий биостанцией Н. В. Воронков интенсивно занимался систематикой и фаунистикой коловраток, исследуя материал из самых разных мест России и других стран. В «Трудах» биостанции печатались сообщения того же плана и по другим группам организмов. К сожалению, это направление надолго было здесь предано забвению. Систематика — своего рода математика биологии, лежащая в основе разнообразных подходов к изучению биологических объектов, и при быстро развивающемся сейчас детальном анализе биоценологических связей, межвидовых взаимодействий подробная разработка ее становится все более необходимой.

Так же, как и прежде, биостанция не замыкается в кругу гидробиологических

интересов. Здесь постоянно работают сотрудники ряда лабораторий ИЭМЭЖа: сравнительной нейрофизиологии поведения низших позвоночных, морфологии низших позвоночных и др., а также энтомологи, ботаники. И в этой связи Глубокоозерская биостанция продолжает иметь широкое биологическое значение.

Без преувеличения можно сказать, что научная деятельность биостанции охватывает целую эпоху развития биологии, время исканий и живой смены интересов нескольких поколений ученых, работавших на ней. И хотя сама она не выросла в крупное научное учреждение, институт, как это случилось с некоторыми подобными ей пресноводными биостанциями, но, волею судеб, она и не канула в Лету, как произошло с еще большим их числом. В этом можно видеть проявление преемственности и непрерывности развития науки. Биостанция на озере Глубоком — первая в своей области проба сил, умения, энтузиазма, старый, но живой корень, и можно повторить слова ее основателя: «Как ни скромна гидробиологическая станция... как ни ничтожны те средства, которыми она располагает, но у нее есть одна большая заслуга: она — первое русское учреждение этого рода, и последующие станции, имеющие и больше средств и более сил, являются уже последователями этого скромного учреждения...»<sup>17</sup>

Глубокоозерской биостанции выпала завидная доля — исследовать достаточно хорошо сохранившийся эталонный природный объект, и это должно иметь длительную перспективу. Но озеро находится во взаимном единстве с окружающей его природной средой, и вопросы сохранности их также тесно взаимосвязаны.

Поэтому отвлечемся ненадолго от биостанции и самого озера и познакомимся с его окрестностями.

...Если выйти за ограду биостанции, то сразу попадешь в первозданные лесные дебри, в которые, иной раз кажется, не ступала нога человека. Старый высокоствольный лес, болота, окружающие биостанцию и озеро Глубокое, отделяют их на 3—5 км от ближайших деревень и проезжих дорог. Здесь редко услышишь шум машины, на озере не увидишь моторных лодок. Тишина ночью звенящая, когда кажда падающая капля кажется тяжелой, при солнце — с мелодией птичьего гомона, стена леса, амфитеатром отра-

<sup>15</sup> Зограф Н. Ю. // Тр. Отдела ихтиологии Императорского русского об-ва акклиматизации животных и растений. 1897. Т. 2. С. 203.

<sup>16</sup> Там же.

<sup>17</sup> Зограф Н. Ю. // Работы Гидробиол. станции на Глубоком озере. 1900. Кн. 1. С. 1.

жающаяся в глади озерных вод. Очевидно, именно красота и нетронутость местной природы вдохновили бывшего в прошлом на озере Глубоком еще студентом писателя С. Покровского создать повесть о жизни первобытных людей «Поселок на озере»<sup>18</sup>. И все это находится не в каких-либо отдаленных глухих краях, а в густонаселенной и высокоурбанизированной Московской области, по соседству с крупнейшим многомиллионным городом.

Уникальность этого природного комплекса была очевидна уже с первых дней образования биостанции. Как мы уже говорили, впервые территория вокруг озера Глубокого стала заповедной в 1945 г. Но, к величайшему сожалению, уже в 1951 г. Глубоко-Истринский заповедник, наряду со многими другими, был необоснованно закрыт. Прервалась налаженная работа, а близлежащий ландшафт и само озеро оказались беззащитными. И, конечно, этим воспользовались.

В первой половине 60-х годов на окружающих озеро болотах были проведены гидромелиоративные работы: болотные гуминовые воды по системе канав стали поступать, минуя озеро, прямо в реку Малая Истра. И хотя материальные затраты проведенной мелиорации были огромны, хозяйственный эффект оказался очень низким. Зато природа бывшего заповедника была существенно нарушена, сильно пострадал весь водно-болотный комплекс, ради охраны которого он и был создан: снизился уровень самого озера, изменился его гидрологический режим, химический состав воды, её прозрачность, цветность, а также видовой состав зоопланктона. Не могло не сказаться происшедшее и на численности щук, раньше нерестившихся на окружающих болотах. На самих болотах постепенно исчезли клюквенники. Частыми нежелательными гостями стали туристы, рыбаки и охотники.

Только в 1966 г. озеро Глубокое и примыкающая к нему территория в радиусе 0,5 км от него были объявлены заказником областного значения. Однако положение существенно не изменилось. Заказник этот существовал сугубо номинально, даже указанный довольно скромный режим охраны озера не выполнялся, от окончательной деградации озера спасала только относительная труднодоступность местности. В конце 70-х годов при специальном обследовании было установлено, что

значительная часть растительных группировок на берегах озера находится на крайних стадиях рекреационной депрессии, в прибрежном лесу много поврежденных и сухостойных деревьев и очевидное ухудшение состояния природного комплекса вызвано рекреационной перегрузкой.

Наконец, в августе 1981 г. решением Исполкома Мособлсовета были установлены новые границы и охранный режим государственного заказника «Озеро Глубокое и его котловина». Это была крайне своевременная мера, поскольку в 1979—1981 гг. у самой границы заказника были проведены промышленные рубки леса и их планировали продолжить. Только решительные протесты природоохранных и научных организаций, в том числе Национального комитета советских биологов, возглавляемого в то время академиком М. С. Гиляровым, выступления в газетах на сей раз спасли заказник от разгрома.

В своих новых, теперь твердо установленных, границах заказник занимает 2026 га (включая озеро) и, что очень важно, охватывает целиком водосборный бассейн озера. Именно небольшие размеры этого бассейна предохраняют водоем от промышленных и сельскохозяйственных загрязнений.

Озеро, которое служит истоком реки Малая Истра, и окружающие его леса имеют большое водоохранное значение. Здесь сравнительно хорошо сохранились участки коренного леса. Встречается много интересных и редких видов растений: шпашник черепичатый, орхидные — венерин башмачок, внесенный в «Красную книгу СССР» (за состоянием его популяций ежегодно наблюдают специалисты Главного ботанического сада АН СССР), тайника яйцевидный, дремлик болотный, любка двулистная, кокушник длиннорогий, ятрышники Фукса и мясокрасный, купальница европейская, борец высокий, зимолюбка зонтичная и другие.

Хорошо представлен здесь комплекс водно-болотных птиц: несколько видов куликов, утки, серая цапля и серый журавль — охраняемый вид Московской области. До недавнего времени 1—2 пары журавлей гнездились на болотах заказника, но сейчас такой уверенности, к сожалению, нет. В заказнике обитает довольно много видов дневных хищных птиц (канюки, коршуны, ястребы, луны, соколиные), сов, гнездятся глухари.

Усиление охранного режима быстро дало положительные результаты. Значительно меньше стало туристов на бере-

<sup>18</sup> Покровский С. В. Охотники на мамонтов. Поселок на озере. М., 1956.

гах, частично закрытых для стоянок, восстановился растительный покров. На самом озере, где существенно снизился фактор беспокойства, чаще стали появляться ранее редкие птицы: цапли, чомги. Озеро Глубокое и его пустынные окрестности весной и осенью всегда были местом кормежки и отдыха для многочисленных перелетных птиц. И сейчас отродно видеть картину, характерную для начала столетия: «...поганка — одна-две пары... ежегодно появляются на озере... на пролете посещают озеро гуси, ранней весной... видели лебедя»<sup>19</sup>. Сотрудники биостанции наблюдали в последнее время сотенные стаи пролетных гусей и других водоплавающих, одновременно несколько лебедей.

Живут в заказнике и млекопитающие: лесная куница, ласка, горностаи, барсук, выдра, косуля. Энтомологи зарегистрировали здесь очень редкие для Московской области виды чешуекрылых.

Но все ли сделано для того, чтобы сохранить этот удивительный уголок Подмосковья, уникальную природную лабораторию, и каково сегодня состояние Глубокоозерской биостанции, своего рода историко-научного памятника?

Хотя в настоящее время природный комплекс озера Глубокого и его окрестностей и имеет статус областного заказника, положение с его охраной не очень надежно. К сожалению, Озеринское лесохозяйственное хозяйство Главохоты РСФСР, на землях которого заказник располагается и которому непосредственно поручена его охрана, совершенно не выполняет своей задачи. И если бы не инициатива сотрудников биостанции и помощь со стороны Дружины по охране природы биофака МГУ, то режим охраны не соблюдался бы, заказник существовал бы, фактически, только на бумаге со всеми вытекающими отсюда плачевными для его биоты последствиями. В значительной мере спасает озеро и отсутствие хорошей проезжей дороги, однако ее намечено проложить. Но совершенно ясно, что небольшой коллектив сотрудников биостанции, занятый в основном научной работой, не может осуществлять постоянную и действенную охрану, особенно дальних границ заказника, занимающего значительную площадь, необходимость в которой, при популярности озера Глубокого среди рыбаков и туристов, совершенно очевидна.

Не в лучшем состоянии находится и сама биостанция, на которой в свое время работало столько замечательных биологов нескольких поколений, составивших славу отечественной науки. Сохранились два старых лабораторных здания, в том числе то самое первоначальное, откуда вышла наша гидробиология, где работали Зограф, Зернов, Филатов и другие известнейшие биологи. Старые стены напоминают о столь многих научных открытиях, в них как бы звучат голоса наших предшественников. Но эти деревянные домики уже достаточно обветшали и требуют постоянного ремонта. Искушенному взгляду «рачительного» хозяина они легко могут показаться годными только под снос. Но это недопустимо. По своей исторической значимости здание старого лабораторного корпуса (постройки 1893—1894 гг.), являющееся сейчас жилым домом, и здание новой лаборатории (постройки 1905 г.) вполне заслуженно должны быть объявлены памятниками культуры, реставрированы и поставлены под охрану государства. Более того, было бы желательно организовать здесь музей истории биостанции «Глубокое озеро» и развития пресноводной гидробиологии в целом.

Академик Д. С. Лихачев, рассматривая вопрос об «экологии культуры», пишет: «...но экологию нельзя ограничивать только задачами сохранения природной биологической среды. Для жизни человека не менее важна среда, созданная культурой его предков... Хранить памятник и ландшафт нужно вместе, а не раздельно»<sup>20</sup>. Все это, на наш взгляд, в полной мере относится к биостанции, озеру, всей окружающей их природе, которые вместе составляют культурно-природное целое.

Будем же надеяться, что и в далеком будущем посетивший эти места увидит прозрачные воды, отражающие густую стену леса, проглядывающие в ее просвете так хорошо знакомые домики биостанции и сможет, вспомнив слова поэта, работавшего здесь много десятилетий назад, сказать:

Здесь все как прежде,  
все как было,  
Синеет озеро как сталь,  
И тот же лес и та же даль...»<sup>21</sup>

<sup>19</sup> Воронков Н. В. // Тр. студенческого кружка для иссл. русской природы при Московском ун-те. 1903. № 1. С. 67.

<sup>20</sup> Лихачев Д. С. Земля родная. М., 1983. С. 82, 85.

<sup>21</sup> Покровский С. Рукописный журнал начала века «Озерный юмор». (Архив биостанции «Глубокое озеро».)

## Воздушные реки

И. И. Цигельницкий



Игорь Ильич Цигельницкий, кандидат географических наук, младший научный сотрудник Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Занимается изучением климата полярных областей. Участник многих экспедиций в Арктику и Антарктику. Почетный полярник. Неоднократно печатался в «Природе».

В 1980-е годы стала постоянно действующей воздушная трасса, связывающая Советский Союз с Антарктидой. Самый протяженный участок этой трассы начинается на западном побережье африканского материка, в Мапуту, и заканчивается на берегу моря Космонавтов, в Восточной Антарктиде, в советской полярной обсерватории Молодежная. Свыше 5 тыс. км беспосадочного полета над океаном, без запасных аэродромов, промежуточных наземных ориентиров и радионавигационных средств.

Открытию новой трассы предшествовала большая работа, проделанная специалистами Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды и Ленинградского гидрометеорологического института, подготовившими подробное климатическое описание района перелета<sup>1</sup>. В нем наряду с характерными особенностями температурного режима

атмосферы были детально проанализированы скорость и направление воздушных потоков на всех высотах полета, включая скорость и направление струйных течений.

Подобно мощным океаническим течениям, струйные течения на разных высотах пронизывают атмосферу в виде стремительных потоков, преимущественно широтного направления. В любое время года и суток над Северным и Южным полушариями существует не одно, а одновременно несколько таких течений. Значи-

Снимок Антарктиды, сделанный в инфракрасных лучах со спутника «Метеор» 10 июня 1979 г. На нем хорошо прослеживаются два струйных течения, направленных по меридиану. Индикатором струйных течений служат облачные скопления двух циклонических вихрей — кучевые облака, простирающиеся до высот порядка 10 км (светлое на снимке), и находящиеся под ними более темные слоисто-дождевые формы. Интерпретация снимка сделана Г. П. Милашенко.

<sup>1</sup> Цигельницкий И. И. Аэроклиматические характеристики трассы Мапуту — Молодежная // Основные вопросы метеорол. обеспечения гражданской авиации. Л., 1982. С. 108—111.



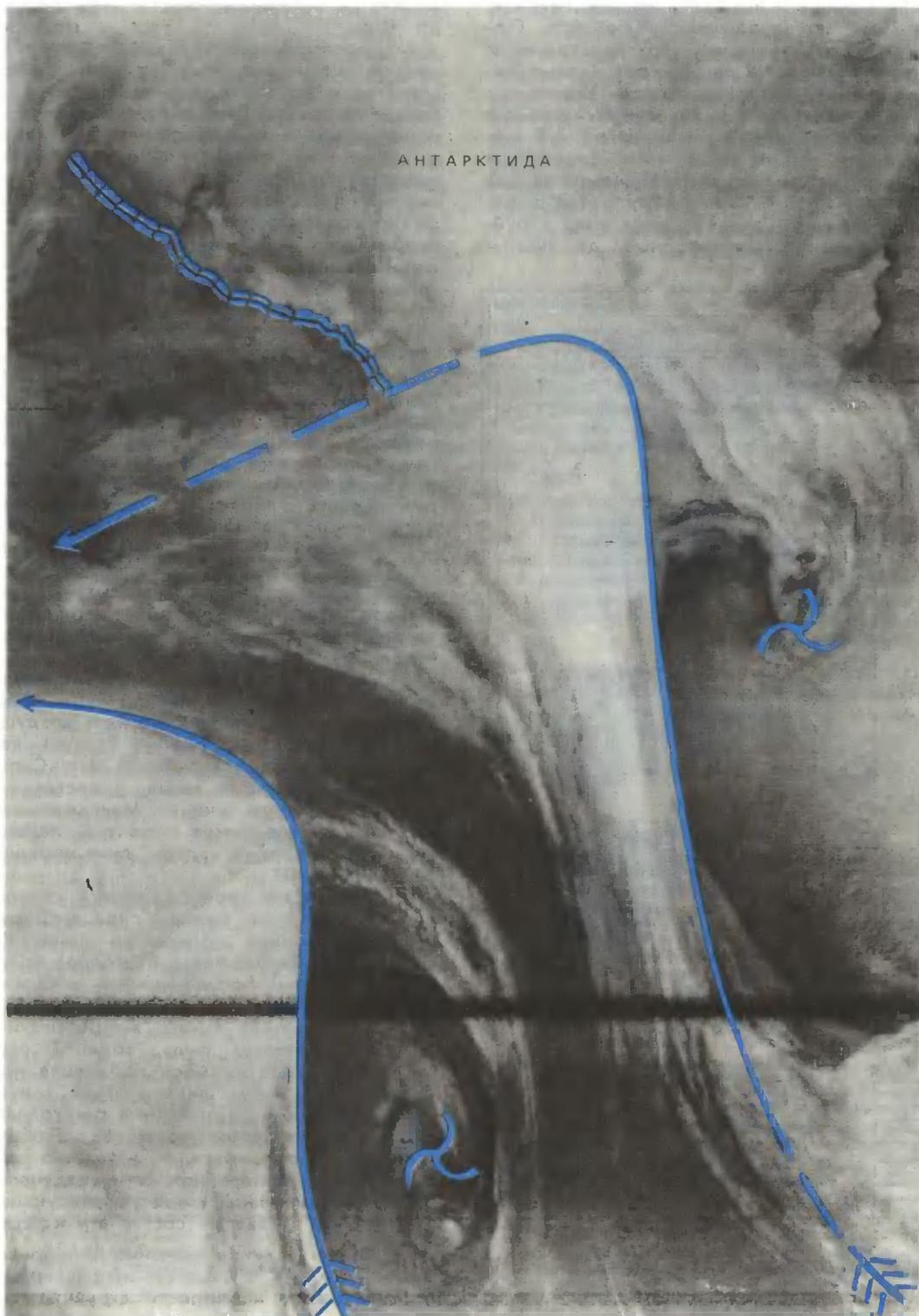
Центр циклона



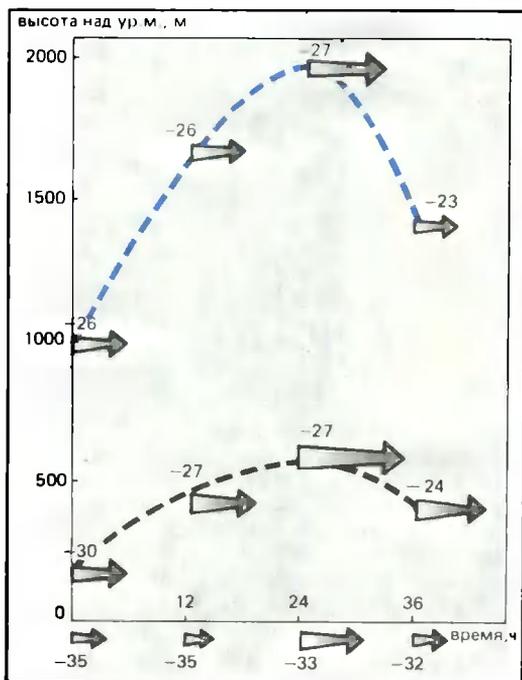
Струйное течение



Границы материка



тельно чаще, чем океанические течения, они меняют направление и скорость. Однако в возникновении и распространении струйных течений существуют вполне определенные закономерности. Возникают они, как правило, в зонах максимальных контрастов температуры и давления. В связи с тем что нижнюю часть атмосферы до высоты 60 км принято делить на два больших слоя — тропосферу и стратосферу, различают два основных типа струйных течений: тропосферные, до высоты



Изменение высоты оси мезоструйного течения, границы слоя приземной инверсии, температуры и скорости ветра за время существования струйного течения (около 36 ч). По мере снижения границы слоя приземной инверсии скорость ветра на оси течения обычно уменьшается, а сама ось опускается вместе с верхней границей инверсии.

- Верхняя граница слоя приземной инверсии
- Ось мезоструйного течения
- Температура воздуха, °C
- Скорость ветра, отн. ед.

10 км, и стратосферные, в слое от 10 до 60 км.

Тропосферные струйные течения возникают чаще всего в субтропических широтах и движутся преимущественно с запада на восток. Вместе с тем они могут наблюдаться и в средних, и в высоких широтах. В стратосфере также постоянно существует несколько видов струйных течений. Из них наиболее распространено летнее стратосферное течение восточного направления, ось которого проходит примерно на 45-й параллели. Существуют также восточное экваториальное струйное течение и струйное течение с весьма романтическим названием «течение на краю полярной ночи». Это западное течение планетарного масштаба возникает зимой вблизи Полярного круга, в зоне больших меридиональных градиентов температуры, между приполярной областью, где в это время царит полярная ночь, и более низкими широтами с суточной сменой дня и ночи. Ось этого течения располагается на высоте около 60 км.

Горизонтальная протяженность тропосферных и стратосферных струйных течений достигает нескольких тысяч километров, ширина — сотен километров, вертикальная мощность может составлять несколько километров.

По какому же признаку определяют берега этих гигантских воздушных рек? Таким признаком служит скорость воздушного потока в струе. Нижний предел скорости в струйном течении 28 м/с. Слой, в котором скорости выше, и составляет область струйного течения. Максимальные скорости наблюдаются в центре, на оси струйного течения, здесь они нередко превышают 100 м/с.

В областях тропосферных и стратосферных струйных течений сконцентрировано наибольшее количество кинетической энергии атмосферы. Благодаря большим скоростям попадающие в атмосферу микрочастицы естественного происхождения — частицы почвы, микроорганизмы, вулканическая пыль, водяной пар, а также газовые примеси промышленных отходов — могут переноситься струйными течениями на огромные расстояния. Все это вместе взятое заставляет с особым вниманием относиться к изучению обширной и разветвленной сети воздушных рек, в значительной мере регулирующих химический и газовый состав атмосферы.

Особо важное значение приобретает информация о высотах, направлениях, протяженности и скорости струйных те-

чений при организации и проведении авиаполетов по межконтинентальным трассам.

Исследования влияния струйных течений на межконтинентальные полеты в Антарктиду были начаты более 20 лет назад известным специалистом в области полярной и авиационной метеорологии П. Д. Астапенко. В 1961 г., при подготовке первого рекогносцировочного перелета советских самолетов из Москвы в Антарктиду через Новую Зеландию, он предвидел возможность встречи со струйными течениями западного направления<sup>2</sup>.

23 декабря 1961 г. советские самолеты вылетели из новозеландского аэропорта Крайстчерч и взяли курс на юг. Чтобы избежать встречного струйного течения маршрут полета был проложен на американскую антарктическую станцию Мак-Мердо. Поскольку ветер, скорость которого достигла 70 м/с, был все время полета попутно-боковым, самолеты сравнительно легко преодолели область струйного течения шириной около 2 км.

Анализ метеорологической обстановки, проведенный непосредственно в этом полете, показал, что между Австралией, Новой Зеландией и антарктическим материком лежит область мощных струйных течений западного и юго-западного направлений со скоростями более 50 м/с. Участок с наиболее сильными ветрами располагался между 59° и 65° ю. ш.

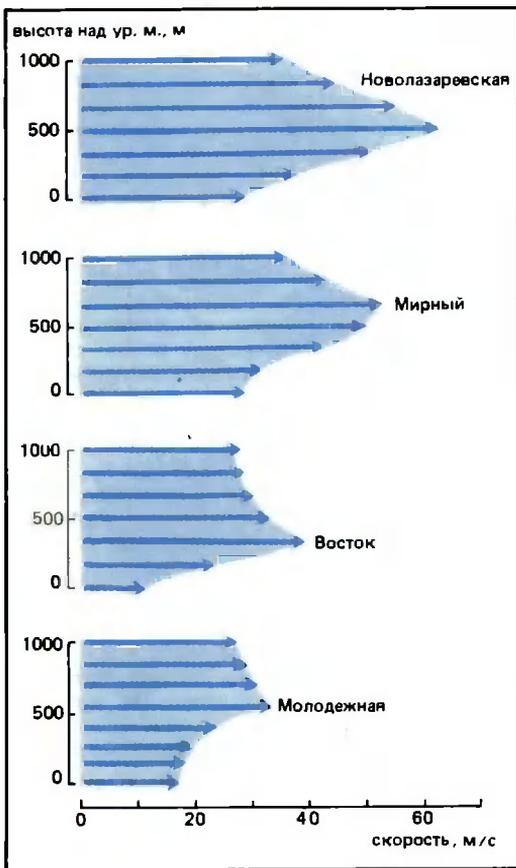
Изучая струйные течения в Южном полушарии, П. Д. Астапенко пришел к выводу, что наиболее рационально организовать полеты в Антарктиду через Южную Африку, что и было сделано в 80-е годы. За последние десятилетия благодаря широкому использованию спутниковой информации прогноз тропосферных и стратосферных струйных течений был значительно усовершенствован. На фото снимках, получаемых со спутников, вращающихся по полярной орбите, струйные течения отчетливо прослеживаются вдоль узких плотных облачных полос.

Гораздо менее исследованы струйные течения в самом нижнем слое тропосферы толщиной около 1 км — так называемом пограничном слое. Это струи нижних уровней, или мезоструйные течения. По своим масштабам они гораздо скромнее тропосферных и стратосферных и по

сравнению с этими воздушными реками выглядят скорее ручейками.

Обобщение и анализ материалов аэрологического зондирования атмосферы последних лет позволили автору установить, что мезоструйные течения, существование которых в Антарктиде было впервые отмечено П. А. Воронцовым, являются характерной чертой ветрового режима пограничного слоя антарктической атмосферы<sup>3</sup>.

Мезоструйные течения в пограничном



Распределение скорости ветра по высоте в нижнем слое атмосферы в периоды, когда на метеостанциях была зафиксирована максимальная скорость ветра на оси мезоструйного течения. Эта скорость в 2—3 раза превышает скорость у поверхности.

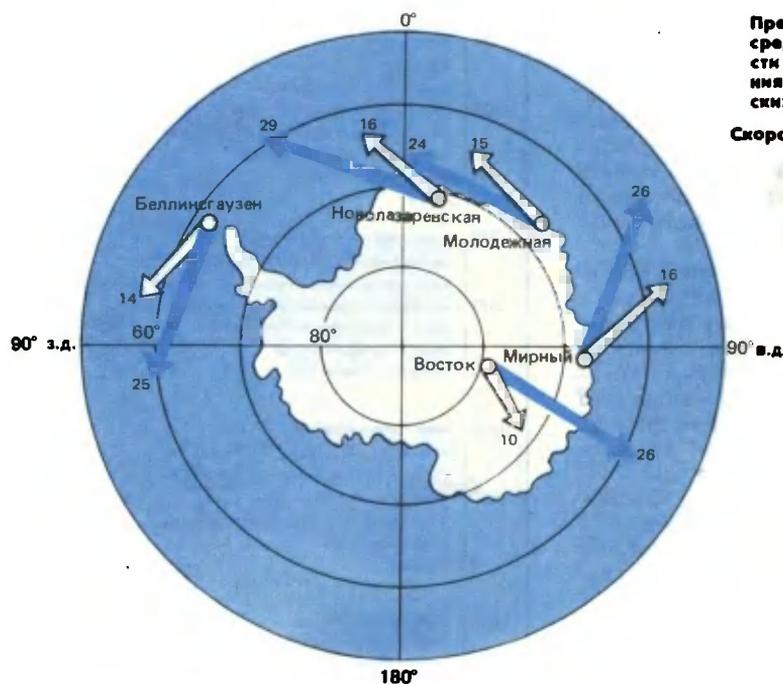
<sup>2</sup> Астапенко П. Д. // Информ. бюлл. Сов. Антаркт. экспедиции. 1963. № 38. С. 9—11.

<sup>3</sup> Цигельницкий И. И. Воздушный буфер над Антарктидой // Природа. 1984. № 11. С. 78—81.

слое образуются подобно струйным на больших высотах — на границе между теплым и холодным воздухом. Но в этом случае поверхность, разделяющая две различных по своему термическому состоянию воздушных массы, проходит близ верхней границы слоя приземной инверсии температуры, т. е. слоя, где температура не понижается, а повышается с высотой<sup>4</sup>. Именно здесь, в области повышенных контрастов температуры и давления,

пик на вертикальном профиле скорости ветра сглаживается.

Самые мощные мезоструйные течения образуются в зонах атмосферных фронтов со свойственными им большими горизонтальными градиентами давления и температуры. Для прибрежной климатической зоны Антарктиды характерны именно такие мезоструи. Вдоль антарктического побережья в зимний период часто проходят циклоны с очень низким атмо-



Преобладающее направление и средняя скорость ветра у поверхности и на оси мезоструйного течения, зарегистрированные на советских антарктических станциях.

Скорость (м/с) и направление ветра:

- на оси мезоструйного течения
- у поверхности

воздушный поток достигает максимальных скоростей.

Механизм образования инверсионных мезоструйных течений до сих пор окончательно не выяснен. Согласно наиболее распространенной точке зрения, увеличение скорости воздушного потока, обусловленного горизонтальными контрастами атмосферного давления, может происходить за счет уменьшения турбулентного перемешивания в слое инверсии. Экспериментальные данные свидетельствуют, что с увеличением турбулентного перемешивания

сферным давлением в центре, до 940—930 гПа. Они несут теплые воздушные массы из умеренных широт. При столкновении теплого воздуха с холодными материковыми воздушными массами образуются атмосферные фронты протяженностью до сотен километров. В таких случаях инверсионные мезоструи усиливаются и достигают максимального развития по интенсивности и протяженности.

Нижним пределом скорости мезоструйного течения считают скорость 12 м/с. Встречая горные гряды, мезоструйные течения огибают их и ослабевают, а попадая в межгорные котловины, резко усиливаются. По мере снижения границы слоя

<sup>4</sup> Там же. С. 79.

приземной инверсии скорость ветра на оси мезоструйного течения обычно уменьшается, а сама ось опускается вместе с верхней границей инверсии.

Анализ ежедневной аэрологической информации на советских антарктических станциях за последние 10 лет позволил установить, что мезоструйные течения наблюдаются и на побережье, и во внутренних районах материка. Высота их постоянна. В некоторых случаях ось струи поднимается до 1,5—2 км, однако чаще всего она располагается в нижнем километровом слое. Так, например, наиболее часто ось мезоструйного течения на станциях Новолазаревская и Беллинсгаузен располагается в слое воздуха на высоте 350—500 м от поверхности, на станции Мирный в двух слоях — 0—200 и 350—500 м, а на внутриконтинентальной станции Восток — в слое 0—300 м.

Скорость ветра на осях мезоструйных течений в отдельных случаях может достигать 60 м/с. При этом скорость ветра на оси в 2—3 раза превышает скорость у поверхности. Таким образом, в то время, когда на уровне станции наблюдается лишь слабый ветерок, всего лишь на высоте 300 м мчится воздушный поток с ураганной скоростью.

Известно, что у поверхности Антарктиды ветры обычно направлены вдоль наклонной поверхности ледника. Направление мезоструйных течений отклоняется от направления ветра у поверхности влево, в среднем на 30°, из-за суммарного влияния силы трения воздушного потока о земную поверхность и отклоняющей силы вращения Земли.

С практической точки зрения, изучение и прогноз мезоструйных течений имеет очень важное значение. Основная масса водяного пара, естественных и антропогенных примесей содержится именно в нижних слоях тропосферы. Возникающие здесь мезоструйные течения принимают самое активное участие в их переносе. Измерения, выполненные на самолетах американскими специалистами в Антарктиде, показывают, что частицы морских солей, переносимые воздушными потоками в верхней тропосфере от побережья в район Южного полюса, постепенно оседают и скапливаются близ верхней границы приземной инверсии температуры. Отсюда они вновь переносятся к периферии материка стоковыми ветрами и мезоструйными течениями.

Острая необходимость в оперативной информации о направлении и скорости

струйных течений в нижних слоях тропосферы возникает в связи с чрезвычайно опасным их влиянием на полеты в наиболее важные и ответственные этапы взлета и посадки самолетов. Дело в том, что скорость ветра в области мезоструйного течения, как мы уже имели возможность убедиться, резко меняется с высотой. Особенно быстро растет она ниже оси струи, примерно в 1,5—2 раза быстрее, чем в слое выше оси. Возникает печально известное явление — сильный вертикальный сдвиг ветра, послуживший причиной ряда авиационных происшествий. Опасность же заключается в том, что если в момент приземления происходит резкое ослабление скорости встречного или усиление попутного воздушного потока, то самолет теряет скорость и мгновенно проваливается вниз. То же самое может произойти и при взлете. Бросок многотонной машины возникает столь неожиданно и при таком малом запасе высоты, что даже очень опытному пилоту не всегда удается выровнять и благополучно посадить ее.

Оказалось, что в Антарктиде, где мезоструйные течения наблюдаются довольно часто и выражены очень резко, вертикальные сдвиги ветра в области мезоструи могут в отдельных случаях вдвое превосходить критические для современных самолетов величины — 6 м/с на 30 м высоты. Это заставляет с еще большим вниманием и осторожностью относиться к струйным течениям самых нижних уровней тропосферы — аналогам могучих воздушных потоков верхней атмосферы.

Изучение мезоструйных течений в полярных областях только начинается. Первоочередная задача здесь — тщательное изучение причин их образования и оценка влияния на циркуляцию атмосферы. Эти знания необходимы для организации службы мониторинга атмосферы, призванной следить за изменениями состояния «воздушного океана», на дне которого сосредоточена вся жизнь на Земле.

## Тайны городища царциатов

**Р. Г. Дзаттаты,**  
кандидат исторических наук

г. Цхинвали

В одном из стихотворений Расула Гамзатова есть такие строчки:

Отделил подоблачный  
хребет  
Южную от Северной  
Осетии.

Действительно, Главный Кавказский хребет является естественной границей между Северо-Осетинской автономной республикой и Юго-Осетинской автономной областью. Первая расположена на Северном Кавказе, вторая — в Закавказье. Предки южных осетин пришли в Закавказье с севера. Но когда? Зачем? Почему? Эти вопросы задают себе не только осетинские историки.

**Селение Едыс. Участок городища «Царциаты калак», где оказались аланские погребения.**

В письменных источниках на эти вопросы ответа нет, и потому естественно обратиться к результатам археологических исследований. Удастся ли пролить свет на темные места в истории Центрального Кавказа — вопрос не праздный и не сразу разрешимый. Но поиски в этом направлении ведутся.

С 1979 г. один из отрядов археологической экспедиции Юго-Осетинского научно-исследовательского института АН ГССР во главе с Б. В. Теховым ведет исследование средневекового городища «Царциаты калак» у селения Едыс в верховьях р. Большая Лиахва (2000 м над ур. м.). Были раскопаны и расчищены относящиеся к зрелому средневековью, к XIV—XV вв., основания больших каменных жилых помещений, боевых башен, могильника с погребениями в каменных ящиках. В 1982 г. на территории городища были обнаружены погребения более древнего периода.

В четырнадцать могильных ямах лежали костные останки людей, захороненных особым образом: умерший покоился на перемешанных костях сразу нескольких (семи — девять-

ти) погребенных в разное время людей. Дело в том, что для ряда последовательных захоронений использовалась одна общая погребальная яма. Новой могилы для каждого покойника не рыли, а старую, прежде уже использованную, расчищали, сдвигая останки погребенного в сторону. За вторым покойником там же хоронили третьего, в свою очередь освобождая для него место. И так до тех пор, пока стенки могильной ямы не осыпались, заполняя ее землей. Последний погребенный поэтому лежал непо потревоженным до момента археологических раскопок.

Разумеется, вещи, которые «сопровождали» покойника, так же были перемешаны, и потому перед исследователем часто встает трудноразрешимая проблема, какому из погребенных принадлежит тот или иной предмет или комплекс вещей.

Погребальный инвентарь едысского могильника разнообразен: украшения, металлические детали костюма, печати-геммы, сосуды, монеты. Рассмотрим этот инвентарь конкретно и посмотрим, нет ли





«Город царциатов». На холме, поросшем соснами, находятся следы строений (углубления).

ему аналогов в других — известных и имеющих точную дату — археологических памятниках.

Украшения — это сотни разноцветных стеклянных бус разнообразной формы, бусы из сердолика, горного хрусталя, агата, халцедона, граната и янтара. Это серебряные перстни (один из них с гранатовой вставкой, на которой вырезаны птицы), золотые и серебряные серьги в виде калачиков (на одной такой золотой сережке — 60 мелких шариков, обрамляющих сердоликовую вставку), золотая серьга в виде виноградной грозди, золотые медальоны с сердоликовой вставкой, золотой полый шарик — привеска с «рожками», в которые вправлены полированные бусинки сердолика, множество бронзовых булавок-фибул, бронзовые же булавки-заколки с круглыми головками. Иногда головкой является сердоликовая бусина, надета на стержень и прикрытая «шапочкой» из зерни — припаянных друг к другу мелких серебряных шариков.

Подобные предметы украшения часто встречаются в памятниках Закавказья и Северного Кавказа, относящихся к эпохе раннего средневековья.

Среди вещей выделяются детали поясного набора — пряжки, накладки, бляшки и наконечники поясов, изготовленные из серебра, бронзы, железа. Круглые или овальные пряжки были не просто деталью одежды. Они являлись частью экипировки воина и, вероятно, служили знаками отличия в воинской иерархии. Пряжки, подобные найденным в Едысе, известны по многим раскопанным могильникам раннего средневековья на Северном Кавказе и в Крыму.

Обращают на себя внимание и печати-геммы на сердолике, халцедоне и янтаре. На них вырезаны изображения оленей, птиц, зебу, скорпиона, крылатого льва с орлиным клювом — грифона, «аташдана» — священного жертвенника огнепоклонников и т. д. Такие же геммы встречаются на обширной территории Закавказья, Юго-Западной Азии, Евразии и относятся к произведениям древнеиранского, а точнее, сасанидского искусства. На связь с сасанидским миром (династия Сасанидов правила Ираном и зависимой Грузией в III—VII вв.) указывают и находки серебряных монет, которые, как определила И. Л. Джалаганиа, относятся к эпохе сасанидских правителей Хормизда IV (579—590) и Хосрова II Парвиза (590—628). На аверсах (лицевой стороне) монет — профильные изображения правителей, на ре-

версах — священные жертвенники «аташданы», а по обе стороны жертвенника — вооруженные воины.

Керамические сосуды, найденные в погребениях, — это небольшие чернолощенные широкогорлые кувшинчики с петлеобразными ручками, со штрихованным орнаментом по шейке. Тулова кувшинчиков иногда украшены выпуклыми сосцевидными налепами. Такие сосуды уникальны в Закавказье, зато обычны опять же для северокавказских могильников раннего средневековья.

В могильнике найдено два стеклянных предмета — миниатюрный флакончик для благовоний и тонкий бокал — «каркезиум». Особый интерес представляет зооморфный сосуд на четырех ножках — красноглиняный лощеный кувшинчик в виде барана с закрученными рогами. На спине барана — горлышко с отогнутым венчиком и петлевидной ручкой, а на груди — носик-слив. А. И. Мартынов считает, что подобные сосуды характерны для салтово-маяцкой культуры<sup>1</sup>.

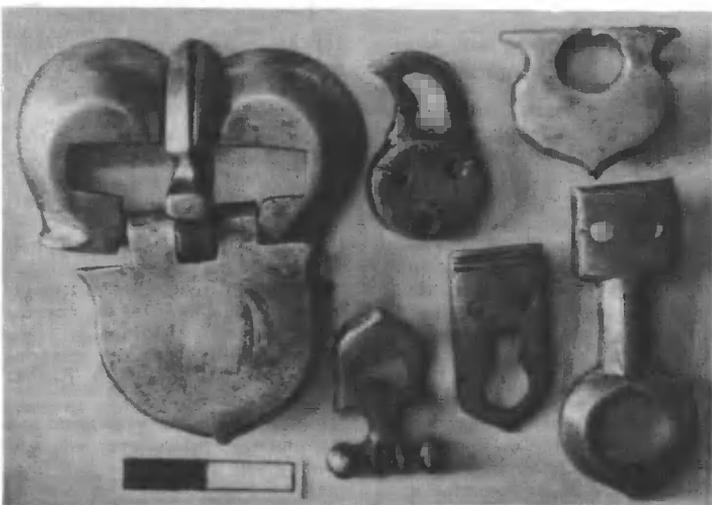
<sup>1</sup> Салтово-маяцкую культуру представляют памятники полукочевых народов, населявших в VIII—IX вв. Подонье и Приазовье. Это остатки кочевий, поселков, замков, городов, могильников.



Ритуальные сосуды из погребений.  
VI—VII вв.

Серебряные поясная пряжка и детали поясного набора из аланского могильника.

Монета эпохи Сасанидов (реверс).  
VI в.



Результаты анализа — сопоставление характера и особенностей предметов из разных археологических памятников — позволяют определить время, к которому относится могильник, раскопанный у селения Едыс: VI—VII вв. Монеты помогают уточнить датировку: конец VI — начало VII в.

И способ захоронения, и устройство могильной ямы, и многие найденные там предметы не свойственны Закавказью — здесь мы имеем дело с чем-то особенным. Но всему этому есть точные аналоги на Северном Кавказе, где обширную территорию в раннем сред-

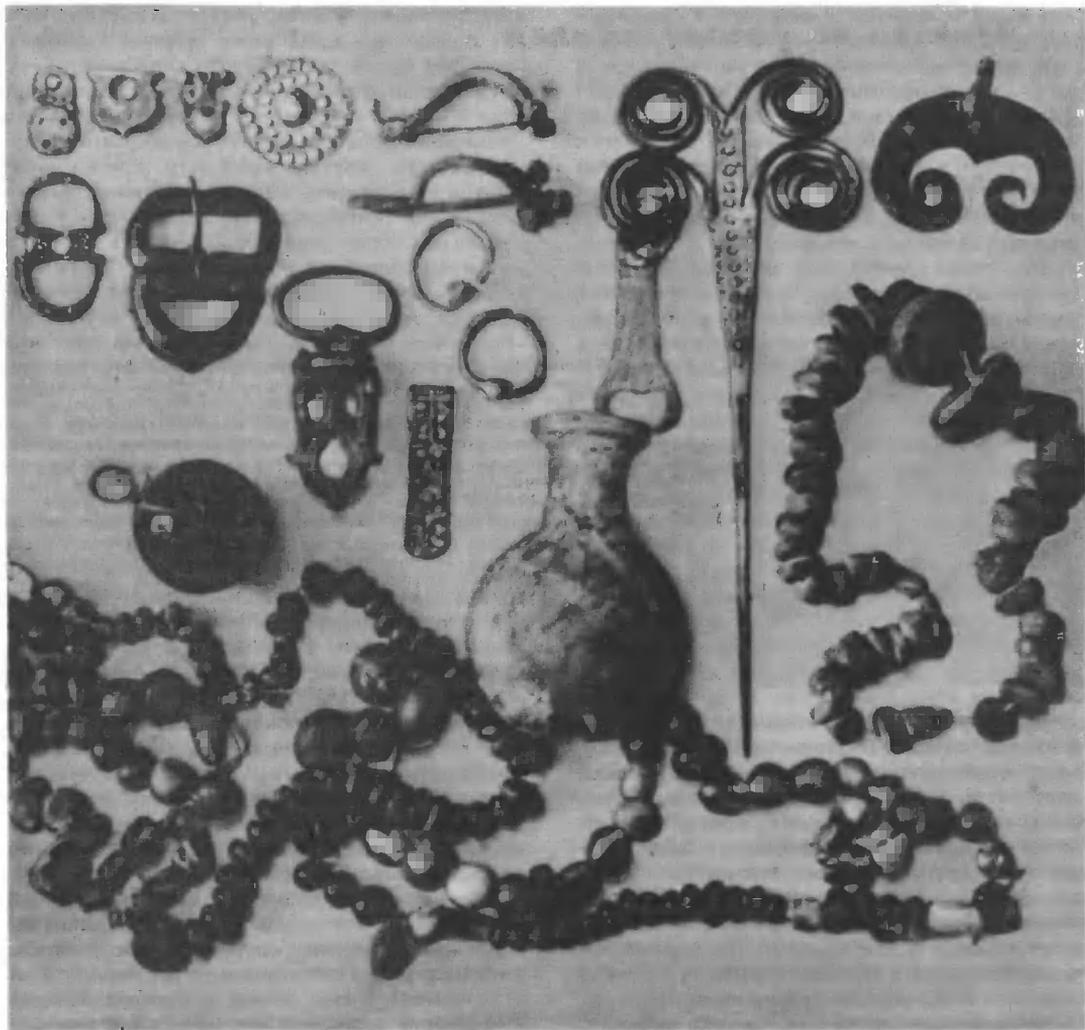
невековье занимали воинственные племена, известные у древнеримских и армянских авторов под именем алан. Грузинские хроники называют их то осами, то асами, русские летописи — то асами, то ясами. Это предки нынешних осетин<sup>2</sup>. Для определения этнической принадлежности Едысского могильника надо иметь в виду следующее. Валанских погребениях нередко находили искусственно дефор-

мированные черепа — с необыкновенно вытянутыми лобной и теменной частями (что случается, когда новорожденным детям туго пеленают головы). Пять таких деформированных черепов (большая часть их раздавлена) были обнаружены в Едысском могильнике.

Таким образом, можно утверждать, что Едысский могильник был оставлен аланами.

Что же могло привлечь степняков-алан в высокогорье Центрального Кавказа со скудными пахотными участками и тяжелыми условиями жизни — по сравнению с предгорьями и равнинами Северного Кавказа?

<sup>2</sup> Об аланах см.: Афанасьев Г. Е. Исчезнувшие народы. Буртасы // Природа. 1985. № 2. С. 90—92.



Украшения, найденные в аланском могильнике. VI—VII вв.

Если бы могильник датировался IV—V вв., то можно было бы предположить, что аланы пришли в эти места, спасаясь от нашествия гуннов. Но речь идет о VI—VII вв., когда особых изменений на политической карте Северного Кавказа не было.

Вполне вероятно, что аланы были наняты или приглашены нести зонную службу на трассе торгового и военного пути.

Селение Едыс, кстати, находится у перевала Кадласан. Кадласанский перевал и прежде был и теперь является как бы запасным: он дублирует Крестовый перевал, через который ныне проходит Военно-Грузинская дорога. Нанимали алан для воинской службы, скорее всего, персы. Именно в VI—VII вв. власть Сасанидов в Грузии достигла наивысшего расцвета. В начале VII в., в первой его четверти, Грузия сбрасывает иго Сасанидов и обретает самостоятельность. Тогда-то и прекратились погребения в Едысском аланском могильнике. Спустились ли аланы в долины Грузии и про-

должили службу у теперь уже грузинских правителей, или они вернулись на Северный Кавказ — неясно. Оба исхода вполне допустимы. Дальнейшие исследования, возможно, позволят ответить и на этот вопрос. Однако можно утверждать, что первое проникновение алан — предков современных осетин — в Закавказье произошло не в XIII—XIV вв., как это до сих пор считалось, а значительно раньше — в VI—VII вв.

## Заметки по поводу юбилея

В. Л. Гинзбург



Виталий Лазаревич Гинзбург, академик, возглавляет Отдел теоретической физики им. И. Е. Тамма Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Научные работы посвящены квантовой электродинамике, физике элементарных частиц, теории излучения, оптике, теории конденсированных сред, физике плазмы, радиофизике, радиоастрономии, астрофизике. Лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР. Иностраный член Национальной академии наук США, Датской академии наук, Лондонского королевского астрономического общества, других академий и обществ. Неоднократно печатался в «Природе».

В октябре этого года В. Л. Гинзбургу исполнилось 70 лет. Редакция и редакционная коллегия журнала поздравляют Виталия Лазаревича с юбилеем, желают ему доброго здоровья и новых успехов в научной деятельности.

Недавно пришлось услышать: «Вам скоро исполняется 70 лет. Это считается юбилеем, и его отмечают по-разному. Одна из возможностей — юбиляр сам пишет статью для какого-либо журнала или сборника. Почему бы и Вам так не поступить?» Услышав это, я спросил: «Хотите выяснить, удержусь ли я на дереве?» Поскольку ответ озадачил собеседника, пришлось рассказать такую историйку, вполне возможно, выдуманную. На неких островах в Тихом океане, когда вождь племени старел, он должен был залезть на самую высокую пальму, а все племя ее раскачивало; если вождь удерживался, он оставался на своем посту, если же срывался, вопрос о выборе нового вождя возникал «естественным» образом.

Такова была моя реакция на рекомендацию написать что-либо в связи с юбилеем. Подумав же, понял ее неправомерность. В самом деле, что значит для физика доказать, что он «еще «держится на дереве», или (используя более привычный образ) еще «сидит в седле»? Это значит выполнить «работу» по физике типа тех, которые делались в более молодые годы. Но то, что я называю работой, не сделаешь по заказу, во всяком случае, я такого никогда не умел и не умею. Главное, такая статья была бы довольно специальной и не имела никакого отношения к юбилею (ма-

лоприятному, надо сказать, событию). Вместе с тем совет что-то написать показался привлекательным. Например, можно было бы предложить журналу какие-то воспоминания или понятный неспециалистам небольшой обзор на физическую или астрофизическую тему. Немало таких обзоров я написал в разные годы, но в данный момент нет на моем горизонте каких-то научных новостей, которые породили бы энтузиазм и стремление поделиться ими с читателями. Нет сейчас и особых оснований писать воспоминания. Вместе с тем накопились отдельные замечания, быть может, представляющие интерес. Вот и решил попытаться их изложить, можно сказать, написать заметки «по поводу» юбилея<sup>1</sup>.

Итак, эти заметки — не воспоминания, но в них затрагиваются вопросы, которые меня волновали и волнуют. Поэтому они преломляются сквозь призму собственной жизни. Отсюда и невозможность изгнать автобиографические элементы и личные местоимения (что нередко вызывает неудовольствие читателей). Я имел в виду

<sup>1</sup> При этом я иногда без оговорок повторяю сказанное в ранее опубликованных статьях. Большинство из них переиздано в сборнике: Гинзбург В. Л. О физике и астрофизике. М., 1985.

это обстоятельство, когда редактировал статью с учетом замечаний, сделанных теми (пользуясь возможностью их поблагодарить), кто прочел первый вариант. Однако заранее ясно, что далеко не все будут удовлетворены. Не раз уже приходилось убеждаться, что даже друзья, мнение которых уважаешь, совсем по-разному оценивают какое-либо утверждение, да и всю статью. Приведу хорошо запомнившийся пример. Одну статью я закончил несколькими фразами «на высокой ноте»<sup>2</sup>. И вот читавшие статью еще в рукописи два известных физика, сами авторы многих публикаций, реагировали на упомянутую концовку по-разному. Один сказал: «Выбрось эти фразы, они совершенно не нужны». Второй заметил: «Эти фразы — лучшие во всей статье». Что из этого следует? Во-первых, ясно, что автор, при всем внимании к критике, в общем необходимой и часто полезной, не должен забывать о многообразии оценок и вкусов читателей, а поэтому не должен заглушать свой внутренний голос. Во-вторых, автору не следует мешать действовать в согласии со сказанным выше. Между тем редакторы (вообще, работники редакций и издательства) наделяны, на мой взгляд, слишком большими полномочиями, нередко диктуют свои требования, считают, что «лучше знают», как нужно и как нельзя писать. Так и родились, пусть остроумные, но по сути горькие определения типа: телеграфный столб — это хорошо отредактированная сосна.

Проблема взаимоотношений между авторами, редакторами и читателями, безусловно, существует. Ограничусь призывом к взаимной терпимости. Нарушений норм и правил русского языка, морали допускать нельзя. В остальном же свобода мнений, свобода в выборе стиля и формы совершенно необходимы. Утверждение «о вкусах не спорят» не представляется безусловным. Но допустимость и даже естественность различных вкусов и оценок несомненны.

## О ЧЕМ ПОЙДЕТ РЕЧЬ

В жизни мы сталкиваемся с рядом трудных, иногда мучительных проблем. Естественно, их характер зависит от многого: возраста, ситуации в семье, окружения, здоровья, специальности, способности, общественного положения — всего не пере-

числишь. Я собираюсь коснуться лишь трех важных этапов на жизненном пути, причем в применении к сравнительно узкой прослойке — тем, кто хочет посвятить, а затем и посвящает свою жизнь естественным наукам, в первую очередь физике<sup>3</sup>. Для определенности только физику и буду упоминать.

Первый этап — выбор профессии. Даже тот, кто решил окончить полную среднюю школу и затем сразу пойти учиться в высшее учебное заведение, нередко еще не имеет четких устремлений и не знает, стать ли ему инженером, физиком, врачом или историком. Мы сталкиваемся и с худшей ситуацией — желанием окончить школу лишь для того, чтобы не пойти в производственно-техническое училище, а в вуз поступить такой, где конкурс поменьше. В результате немало оканчивающих вузы не обладают высокой квалификацией, а то и вообще не работают по специальности. В последнее время положение, по-видимому, меняется: все лучше понимают, что квалифицированный рабочий ценнее и, вероятно, счастливее плохого инженера. Но это уже другая тема. Думаю же я сейчас о тех, кто имеет и необходимые способности, и желание окончить высшую школу, но плохо себе представляет будущее. Им нужно помочь выбрать правильный путь.

Второй важный этап в жизни такого молодого человека — выбор более узкой специальности в вузе. Нередко такой выбор труден и объективно, и субъективно. Заняться ли теоретической физикой, экспериментальной оптикой или биофизикой? Разница большая, а на третьем курсе физического факультета университета или некоторых других вузов (например, Московского физико-технического института) уже необходимо «определиться», пойти на какую-то специальную кафедру.

Оба эти поворотных пункта — выбор профессии физика и более узкая специализация — для меня оказались тяжелыми. Я почувствовал себя «на месте» и по-настоящему начал работать только после того, как в 1938 г. окончил физфак МГУ и почти случайно занялся теоретической физикой. Потом тоже было немало проблем, трудностей и радостей (когда что-то получа-

<sup>2</sup> Гинзбург В. Л. Как развивается наука? (Замечания по поводу книги Т. Куна «Структура научных революций») // Природа. 1976. № 6. С. 73—85.

<sup>3</sup> Проще было бы сказать, что речь пойдет об ученых-естественниках. Я, однако, испытываю буквально идиосинкразию к слову «ученый» и всячески стараюсь его не употреблять. В этом я далеко не одинок. Помню, как Л. Д. Ландау язвил: «Кот ученый — понятно, ученый муж — смешно».

лось). Но в общем научная жизнь лет сорок катилась по установившейся колее: делал работы и доклады, писал статьи и книги. Но начиная с 60—65 лет характер деятельности все больше изменялся. Недаром в 60 лет можно уйти на пенсию, а возраст с 60 до 75 лет, по наиболее распространенной у нас классификации возраста, называется пожилым<sup>4</sup>. Это весьма гуманное название отодвигает начало старости до 75 лет, но не снимает специфических проблем, встающих перед людьми, вероятно, научным работником, достигшим пожилого возраста. На этом последнем, а в рамках настоящей статьи — третьем — этапе научной жизни также собираюсь остановиться.

## ШКОЛА

Положительные отзывы о школе слышишь редко. Как родители, так и школьники почти всегда чем-либо недовольны: тут и перегрузка занятиями, и плохие учебники или их нехватка, и плохие учителя и т. д. У меня критика школы обычно вызывает некоторое раздражение. Объясняя это «житейским принципом относительности», в данном случае сопоставлением школы сегодня (точнее, за последние 50 лет) со школой, в которой учился сам. Очень уж мне не повезло: как раз на мои школьные годы пришлось ломка школы, различные «эксперименты». Кажется, не было обязательным и само посещение школы; во всяком случае, я поступил в 1927 г. в 4-й класс, а до этого учился дома. Не помню причин, приведших к такому, почти невысказанному в наше время решению. Несомненно, родители хотели сделать «как лучше», возможно, их отпугивало тогдашнее состояние школы. Фактически, однако, в той московской школе, в которую я поступил (бывшая «французская гимназия»), сохранились вполне квалифицированные учителя. Они могли научить грамотно писать и освоить школьную математику. (Правда, преподавание литературы и истории носило, по современным меркам, анекдотический характер.) Была в нашей школе и физика, и некоторые другие предметы, что-то лучше, что-то хуже, но главная беда заключалась в том, что в 1931 г., когда я окончил семь классов, на этом все и оборвалось — «было признано», что полная средняя школа не нужна. Через несколько лет одумались, появились школы-десятилетки, но я

так и проучился в школе только четыре года.

И вот в 15 лет нужно было выбрать жизненный путь. Помню, как это было трудно, даже мучительно. В семье особой помощи не было. Отец, высококвалифицированный инженер, на 52 года старше меня, наукой не интересовался. Братьев и сестер не было, т. е. отсутствовала среда, состоящая как из старших, так и из сверстников, которая столь важна при формировании вкусов, интересов в науке. К счастью, еще в школе появилось влечение к физике. Поскольку совсем не помню подробностей, придется сообщить, что у меня своеобразная память с высоким порогом — запоминается только то, что произвело сильное впечатление. Так, о физике первое четкое воспоминание — книга О. Д. Хвольсона «Физика наших дней»<sup>5</sup>. Это была популярная книга о достижениях физики, о лице физики того периода. Сейчас научно-популярных книг много, а тогда было мало. Для меня же вообще была одна — книга Хвольсона, о которой вспоминаю с большой благодарностью. Быть может, именно она решила судьбу. Так или иначе, я не пошел в фабрично-заводское училище, а после полугода неопределенности поступил лаборантом в рентгеновскую лабораторию одного вуза. Там общался в основном с двумя другими лаборантами, бывшими на три года старше, они увлекались физикой и изобретательством (оба, кстати, стали известными физиками). Формально я в лаборатории немногочему научился, но проникся чем-то более важным — интересом к работе, увлеченностью.

В 1933 г. поступление в университеты впервые за ряд лет стали проводить по открытому конкурсу. Я решил поступать и месяца за три подготовился. Вступительные экзамены на физфак МГУ сдал, но без блеска, и принят не был. Чувство обиды отсутствовало (досада — другое дело), ведь я понимал, что плохо подготовлен. Подождать год и вновь поступать не хотелось — я уже «разогрелся» учением. Поэтому поступил на заочный факультет МГУ и только в 1934 г. удалось перевестись на очное отделение. Формально времени я не потерял, окончил физфак в 1938 г. в возрасте 22 лет, как и «полагается» даже сейчас преуспевающему молодому человеку. Но отсутствие нормального школьного образования мне даже через столько лет представляется сугубо отрицательным об-

<sup>4</sup> См., напр.: Демографический словарь. М., 1985.

<sup>5</sup> Хвольсон О. Д. Физика наших дней. М.: Л., 1928.

стоятельством. Провести 10 лет в школе кажется счастьем, кажется, что успел бы так много... Быть может, это иллюзия, но именно отсюда проистекает желание сделать несколько замечаний о школе.

Речь идет именно о замечаниях, пусть это будет выступление «в порядке обсуждения». Не буду повторять общеизвестных истин, касающихся роли и задач школы в общем развитии, духовном и физическом воспитании. Перечислю лишь четыре требования к школе, которые представляются мне особенно важными, скажем, для будущего физика.

Во-первых, должна быть обеспечена грамотность, т. е. умение писать без ошибок и литературным языком, ясно излагать свои мысли. Какой-то опыт будет приобретен и в вузе, например в процессе писания курсовых работ, научных статей и диплома. Но главное должно быть заложено в школе. Та подготовка, которую получил я в школьные годы, не обеспечила грамотности. В 1934 г. на втором курсе университета у нас был диктант, и около половины студентов, в том числе и я, получили неудовлетворительную оценку. Потом у нас проводились занятия по русскому языку, но они мало что дали. Нужны тренировки, тренировки плюс требовательность. Все это может и должна обеспечить школа. Мне же приходится смотреть в словарь, думать над построением даже простых фраз, проверять написанное. Стараюсь побольше давать печатать на машинке. Но разве обязан машинистка исправлять ошибки, и можно ли уповать на это?

Как видите, я себя не щажу, делаю это с единственной целью — подчеркнуть, сколь недопустимо либеральничать в вопросе о грамотности. Между тем сплошь и рядом приходится сталкиваться с «успешно» окончившими десятилетку и вуз, но не умеющими как следует писать. В подавляющей части случаев это не результат отсутствия способностей к языку (бывает и такое), а следствие плохого обучения. Вспоминаю разговор с одним физиком, который очень хорошо писал (он был автором учебника и ряда статей). На вопрос, как он научился так писать, последовал контрвопрос: «Как часто Вы писали в школе сочинения?» Я ответил, что примерно раз в две недели. «А я писал сочинения шесть раз в неделю», — мой собеседник до революции учился во французской гимназии или лицее в Швейцарии, где его семья находилась в эмиграции. Знания, которые полагается вынести из школы в области литературы и истории, нужны. Нельзя, однако,

допускать, чтобы они приобретались за счет грамотности. В конце концов, с историей и литературой можно знакомиться в любом возрасте, а недостаток грамотности после школы не устранишь.

Во-вторых, школа должна обеспечить автоматизм в области элементарной математики. Имею в виду быстрый счет, навыки в арифметике, алгебре, тригонометрии, использованием простых ЭВМ. Это достигается опять тренировкой плюс требовательностью. Школьнику скучно склоняться и спрягать, учить грамматические правила, много раз решать почти одинаковые задачи и делать преобразования, которые уже в принципе ясны. Поэтому-то я, когда овладевал программой 3 классов за 3 месяца, решил, скажем, 100 задач вместо 1000, которые решил бы в школе. Результат — отсутствие автоматизма — ощущаю всю жизнь. Поэтому-то я советую не экономить время на сокращении числа задач, примеров, упражнений. Это — лжеэкономия. Лучше, рациональнее сокращать программу, не вводя в нее многое из того, что будет изучаться в вузе.

Третье, не требование, а пожелание — еще в школе овладеть английским языком. До второй мировой войны в физике доминировал немецкий язык, сейчас даже издающиеся в ФРГ и ГДР физические журналы печатают статьи в основном по-английски. Именно английский язык стал международным языком науки, и его необходимо знать. Тратить в вузе на изучение языка много времени нерационально.

Четвертое, и последнее, замечание — предоставить ученикам возможность выйти за рамки школьной программы, прикоснуться к современному состоянию науки. Этой цели служит журнал «Квант», многочисленные выпуски его библиотечки, ряд научно-популярных журналов. Но на совет ознакомиться с этим факультативным материалом школьники отвечают: «А где взять время, так много задают на дом». Это и верно, и неверно. На то, что действительно интересно, время найдется. Но трудно увлечься, не преодолев какой-то барьер. Нельзя научиться плавать, не входя в воду, а туда не очень-то тянет тех, кто не умеет плавать. Здесь очевидна роль учителя-энтузиаста. Помогут и лекции или беседы квалифицированных людей, не предусмотренные никакой программой.

Когда я все это писал, то до какой-то степени потерял чувство реальности и начал фантазировать на тему: что было бы,

если бы мог все начать сначала. Гипотетическому В. Л. Гинзбургу следовало бы реализовать ту программу, которую я пытался набросать выше, от всего, что нужно, предоставленный самому себе, я всячески увиливал бы от всего, что не люблю: изучения грамматики и правил орфографии русского и английского языков, от всего, что нужно заучивать. Но в нормальной школе все это преодолел бы и поступил на физический факультет (другой выбор кажется немислимым) несравненно лучше подготовленным.

Конечно, далеко не все в судьбе зависит от подготовки. Однако весьма вероятно, что «при прочих равных условиях» гипотетический В. Л. Гинзбург избежал бы многих трудностей, больше успел бы сделать, был бы счастливее...

### ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Заочное обучение на первом курсе физфака в целом было аналогично самостоятельному овладению программой старших классов школы. Ограничусь одним примером. Каким-то образом мне удалось перевестись на второй курс очного отделения, не сдав астрономию. Возможно, на заочном отделении об этом предмете забыли, на очном же небольшой курс астрономии читали, и мои товарищи вспоминали о нем с удовольствием. Я как-то даже не заметил, что совсем не знаком с астрономией. Но в 1946 г. сначала увлекся радиоастрономией, а потом и другими новыми областями: астрофизикой космических лучей, гамма-астрономией. Сделал на астрофизические темы много работ. За границей вообще многие считают меня астрономом, поскольку знают по астрономическим работам, видели и слышали на международных конференциях. Но я так и не удосужился как следует познакомиться с картой звездного неба. И когда знакомые спрашивают, что это за звезда или созвездие, мне остается только сообщить о своей неграмотности в элементарной астрономии. Это скорее смешно, но недаром сказано, что от великого до смешного один шаг. Тот факт, например, что о существовании сверхновых звезд и их оболочек я узнал с большим опозданием, существенно помешал самой работе.

Все эти жалобы, возможно, уже раздражающие читателей, продиктованы одним чувством — сожалением об упущенных возможностях. Придумать (вернее, предсказать) какой-либо эффект или неизвестное явление, объяснить природу уже наблюдавшихся — вот самое большое

счастье, которое пришлось испытывать в науке. А как это происходит? Многое зависит от склада ума. В общем нужно, пусть поверхностно, но знать побольше о разном, иметь время думать и фантазировать, а значит, быть подготовленным так, чтобы зря не тратить драгоценное время, уметь его эффективно использовать.

На физфаке МГУ, когда я там учился с 1934 по 1938 г., «эксперименты» типа бригадного метода и приема не по конкурсу были уже в прошлом. Обучение проходило привычным путем. Главное же, имелись хорошие лекторы, работали (причем не по совместительству) видные физики. Сам я без колебаний отдал свои симпатии Л. И. Мандельштаму и его окружению (И. Е. Тамм, Г. С. Ландсберг, С. Э. Хайкин, М. А. Леонтович), хотя на физфаке имелись и другие квалифицированные специалисты.

### СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ. ТЕОРЕТИКИ И ЭКСПЕРИМЕНТОРЫ

Учился я хорошо и с удовольствием; некоторый кризис наступил при выборе кафедры для специализации. Это очень ответственный момент, причем мне трудно предложить какие-то принципы выбора. Если физика увлекает, то чем же оптика хуже или лучше кристаллофизики, радиофизики или физики полупроводников? Пожалуй, можно выделить физику высоких энергий как посвященную наиболее таинственным проблемам, «переднему краю» физики. И еще имеется существенное различие между экспериментальными и теоретическими специальностями<sup>6</sup>.

Физика — наука о свойствах и строении материи, об общих закономерностях явлений природы. Ясно, что она просто немислима без экспериментов или наблюдений природных явлений. Однако одного накопления фактов недостаточно для понимания явлений, нужен их анализ, в том числе количественный, математический. Последним и занимается теоретическая физика, выявляющая единство ряда внешне различных явлений, дающая математическую формулировку физических представлений и законов, анализ следствий из них. Нет физики без экспериментов и наблюдений, нет ее и без теории. Всем

<sup>6</sup> Некоторые недоразумения, имеющиеся в понимании этого различия, я осознал совсем недавно, когда писал статью о курсе теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица. Подробнее об этом можно прочесть: Гинзбург В. Л. Курс / Наука и жизнь. 1986. № 3. С. 86—93.

известными разделами теоретической физики являются классическая (ньютоновская) механика, квантовая механика, теория электромагнитного поля, общая теория относительности, статистическая физика.

Встречающееся недоразумение № 1 связано с отождествлением теоретической физики с ее высшим эшелонем. Например, считается, что на физических факультетах теоретическая физика преподается лишь на третьем курсе или даже позже и отражена в таких предметах, как, скажем, квантовая механика. Фактически же теоретические представления и законы физики излагаются уже в школе. Курс общей физики доминирует на первых курсах физфака, но теоретическая физика в нем представлена широко и глубоко. В общем, теоретическая физика — органическая часть физики, которую должен знать и использовать всякий физик — иначе он вообще не физик.

Недоразумение № 2 состоит в каком-то противопоставлении физиков-экспериментаторов и физиков-теоретиков, причем работа теоретиков иногда представляется более важной, определяющей. На самом деле теоретики и экспериментаторы просто не могут существовать друг без друга, да и подобное деление достаточно условно. Существует и терминологическая путаница: теоретиками иногда называют не всех, кто специализируется в теоретической физике, а лишь занимающихся ее наиболее математизированными разделами: квантовой теорией поля, общей теорией относительности и т. д. Физиками-теоретиками сейчас нередко называют и специализирующихся в области так называемой математической физики.

В XIX в. физиков было в тысячи раз меньше, чем сегодня, гораздо меньше было материала (областей физики, фактов, теоретических представлений), несравненно проще была техника эксперимента. Не существовало и сколько-нибудь четкого деления на экспериментаторов и теоретиков, хотя, в зависимости от склонностей и способностей, одни физики больше экспериментировали или наблюдали, другие — теоретизировали. В наш век положение изменилось, и все чаще и шире происходит разделение труда. Вместе с тем современный физик-экспериментатор может концентрировать свое внимание на обдумывании аппаратуры, ее расчете, обработке наблюдений, но сам уже не работать «руками», предоставляя это более молодым сотрудникам. В некоторых областях физики теоретики тесно связаны с экспериментом, об-

рабатывают результаты измерений и т. п. В целом, тем не менее, орудие их труда — математика, включая использование ЭВМ. Какая нужна математика, зависит от задачи и ... удачи: понимание физической сущности вопроса нередко позволяет использовать простую модель или работать в разумном приближении, допускающем применение несложного математического аппарата.

Способности к математике, музыке, шахматам выявляются довольно рано. Способности к физике как-то скрыты, по-настоящему проявляются только на деле. Даже такие гиганты, как А. Эйнштейн и Н. Бор, вовсе не блистали в школьные и студенческие годы. Бывает, правда, что уже в юности видны выдающиеся способности к теоретической физике (вспомним В. Паули и Л. Д. Ландау). Но будем ориентироваться не на исключительных людей, а просто на профессионально пригодных. Тот, кто, добравшись до третьего курса физфака, хорошо и без чрезмерного напряжения усваивает материал, утвердился в желании заниматься именно физикой, имеет все шансы стать квалифицированным физиком. Если есть вкус к эксперименту, целесообразность выбора экспериментальной специальности очевидна. Кстати, и на кафедрах, экспериментальных по названию, иногда предлагают теоретические задачи, пусть и тесно связанные с экспериментом. Но даже если начать с экспериментальной работы, это не значит, что закрываешь себе возможность заниматься теорией, а в будущем — стать «чистым» теоретиком.

К последней категории принадлежу я сам. В университете выбрал оптическую специальность, но окончив физфак, стал теоретиком. Мой пример свидетельствует, что в теоретической физике можно работать, так сказать, с физическим уклоном, без больших математических способностей и знаний. Однако вступить на такой путь непросто — должна найтись подходящая задача, нужна моральная поддержка<sup>7</sup>. Такое нельзя запрограммировать. Напротив, если студент-физик имеет математические способности, вычисляет с удовольствием, да еще не любит «работать руками», у него имеются все основания сразу пойти в теоретики. Правда, в случае «фронтových» направлений (квантовая теория поля и др.) риск представляется мне довольно боль-

<sup>7</sup> Подробнее об этом см.: Гинзбург В. Л. Об Игоре Евгеньевиче Тамме // Природа. 1975. № 3. С. 65—71.

шим. Но речь ведь идет о 20-летних, в случае неудачи есть еще время перестроиться.

Не стану подробно рассказывать сейчас о том, как мы учим студентов кафедры проблем физики и астрофизики, которой я заведу в Московском физико-техническом институте. Ограничусь замечанием, что большое значение придаю посещению студентами еженедельного общемосковского семинара по теоретической физике. Не скрою, это мое любимое детище; проводится семинар почти 30 лет; 1985 год был закончен 1108-м заседанием. На семинар приходит в среднем 150—200 человек со всей Москвы, посещают его и «гости столицы», как иногда называют приезжих. Целей у семинара несколько, одна из них — информация о последних достижениях в физике и астрофизике.

Сейчас наблюдается некоторое насыщение физиками, а ускорение научно-технического прогресса требует в первую очередь повышения качества. Таким образом, проблема отбора и подготовки высококвалифицированных физиков, и в частности физиков-теоретиков, остается актуальной и все время должна анализироваться с учетом обстановки.

С. И. Вавилов, помню, не раз повторял: «Теоретик — курица, которая несет золотые яйца». Верно, мощь и возможности теоретической физики огромны, причем не нужна дорогостоящая аппаратура (иногда, правда, необходима ЭВМ). Но верно и то, что могущих нести золотые яйца нужно найти и еще немало потрудиться, чтобы такие яйца действительно появились.

### ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДУКТИВНОСТИ НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ ОТ ВОЗРАСТА (ДО 60 ЛЕТ)

Широко распространено мнение, что количество (объем) и качество «продукции» физиков, и вообще научных работников в области естественных наук, достигает некоторого максимума в довольно раннем возрасте, а затем быстро уменьшается. Отсюда и афоризм: «Physics is the game of the young» (физика — игра молодых). Статистика, казалось бы, подтверждает сказанное. Так, в классической монографии Г. Лемана «Возраст и достижения» для многих специальностей и на довольно большом материале выявляется возраст, в котором получены существенные научные результаты<sup>8</sup>. Вывод при этом дела-

ется такой: больше всего открытий и значительных достижений физики делают в возрасте 30—34 лет. То же относится к математикам, специалистам по электронике, изобретателям. Для химиков максимум приходится на 26—30 лет, для астрономов на 35—39 лет и т. д. К 60 годам продуктивность (число достижений) падает в 2—3 раза по сравнению с максимальной. Данные вроде бы достаточно ясные.

Однако фактически это не так, поскольку не было учтено распределение самих научных работников по возрасту<sup>9</sup>. Действительно, несколько веков вплоть до недавнего времени наука развивалась по экспоненциальному закону — так росло число людей, объем продукции (число публикаций) и т. д. В результате доля молодых людей, работающих в науке, возрастала, в силу чего зависимость продуктивности от возраста нельзя определять так, как это сделал Леман. Необходимо устанавливать число достижений отдельно для каждой возрастной группы.

Поясню это на примере, предложенном С. Коулом (см. табл. 1). Числа, стоящие во втором и третьем столбцах таблицы, выдуманы, взяты для примера. В предпоследнем столбце указан процент сделавших важные открытия, условно говоря, по Леману, т. е. путем деления числа физиков, сделавших важные открытия в каждой возрастной группе, на их полное число (на 1250). В последнем столбце процент определяется (условно — по Коулу) путем деления на число физиков в той же возрастной группе. Пример почти детский, но из него очевидно, что заключение о том, будто важные открытия делаются в основном в молодые годы, может целиком объясняться молодостью большинства физиков, а не падением их продуктивности с возрастом. Итак, зависимость продуктивности от возраста разумно определять для каждой возрастной группы в отдельности. Так Коул и поступает: для шести специальностей (физики, математики, химии, геологии, психологии и социологии) в зависимости от возраста приводится среднее число публикаций научных работников за некоторый пятилетний период. Для оценки важности (качества) публикаций указывается, согласно индексу цитирования, среднее число ссылок на них, появившихся в литературе за один год через 5 лет после опубликования.

<sup>8</sup> Leman H. C. Age and achievement. Princeton, 1953.

<sup>9</sup> Cole S. Age and scientific performance // Amer. J. Sociology. 1979. Vol. 84. No 4. P. 958—973.

**Таблица 1**  
Гипотетические данные о продуктивности физиков разного возраста

Возраст (в годах)	Общее число физиков	Число физиков, сделавших важные открытия	Процент физиков, сделавших важные открытия (по Леману)	Тот же процент (по Коулу)
До 30	5 000	500	40	10
30—39	4 000	400	32	10
40—49	2 000	200	16	10
50—59	1 000	100	8	10
60 и более	500	50	4	10
Полное число	12 500	1 250		

**Таблица 2**  
Возраст и научная продуктивность

Научная продуктивность	Возрастная группа (годы)						Все возрасты
	до 35	35—39	40—44	45—49	50—59	60 и более	
<b>ФИЗИКИ</b>							
Среднее число публикаций за 5 лет	4,5	5,3	6,2	5,6	4,4	3,4	5,1
Среднее число ссылок на эти публикации	11,2	15,1	10,8	6,8	7,4	15,9	11,5
<b>ШЕСТЬ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ</b>							
Среднее число публикаций за 5 лет	6,1	6,8	7,7	6,3	5,9	4,6	6,4
Среднее число ссылок на эти публикации (ссылка)	7,5	8,8	9,1	6,4	5,7	6,3	7,5

Эти данные приведены в табл. 2 только для физиков и для всех шести упомянутых специальностей, вместе взятых (использовались сведения о 2460 научных работниках, из них физиков — 592). До 60 лет продуктивность остается почти неизменной. Некоторый максимум приходится на 40—44 года, на 10 лет позже, чем по данным Лемана, и, главное, максимум столь неярко выражен, что вполне может иметь какое-то побочное происхождение. На основании того материала, с которым я ознакомился<sup>10</sup>, а также собствен-

ных наблюдений, я склонен согласиться с выводами Коула: по крайней мере, в тех науках, которые были мной упомянуты, до 60 лет возраст довольно слабо сказывается на научной продуктивности. Правда, по числу публикаций какой-то спад после 50 лет заметен, но само число публикаций не может считаться достаточно ярким показателем научной продуктивности (например, из табл. 2 следует, что число ссылок для возрастной группы физиков 50—59 лет даже выше, чем для 45—49 лет).

Важную оговорку необходимо сделать в отношении особенно крупных открытий и достижений. В этом случае, как по данным Лемана, так и на основании хорошо известных примеров, максимум продуктивности явно приходится на более молодые

<sup>10</sup> Помимо монографий Г. Лемана и С. Коула, упомяну также: Пельц Д., Эндрюс Ф. Ученые в организациях. М., 1973.

годы<sup>11</sup>. Несомненно, это показательно, но при анализе зависимости продуктивности и качества работы всей массы научных работников от возраста было бы совершенно неправильно ориентироваться на гениев или людей с очень ярким, исключительным талантом. Не следует забывать, что таких людей крайне мало. В каждой области, в каждый период их обычно можно пересчитать по пальцам. Различные критерии оценки продуктивности и важности достижений, использованные Леманом и Коулом, затрудняют, разумеется, сопоставление их выводов. Думаю, заключение Коула все же справедливо в отношении массы научных работников, т. е. некоего «среднего, но вполне квалифицированного» специалиста.

### О РАСПРЕДЕЛЕНИИ НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ ПО ВОЗРАСТУ

Проблема зависимости научной продуктивности (а также активности и работоспособности) от возраста не только любопытна и интересна, но имеет актуальное значение для развития науки и техники и с точки зрения возможностей ускорения научно-технического прогресса. Действительно, долгие годы у нас (да и во всем мире) наблюдался быстрый рост числа научных работников. Так, в Академии наук СССР в 1937 г. это число составляло около 3 тыс., а к началу 1985 г. равнялось уже 54 тыс. В некоторых областях, особенно в физике, рост был еще быстрее. К сожалению, я не располагаю достаточно подробными сведениями на этот счет<sup>12</sup>. По-

этому приведу, пусть и весьма частные, но зато точные сведения, касающиеся Отдела теоретической физики ФИАН СССР. Этот отдел в 1934 г., с переездом Академии наук в Москву, был организован И. Е. Таммом (1895—1971) и сейчас носит его имя. До и во время войны в отделе работало 5—6 человек, в 1945—1946 гг. начался его рост. Ограничусь периодом 1960—1985 гг. (соответствующие сведения отражены в табл. 3). В отделе работает 51 научный сотрудник, имеется несколько стажеров и аспирантов, а также инженеров, ведущих научную работу. В 1985 г. 17 из 21 младших научных сотрудников имели кандидатскую степень. Среди старших научных сотрудников лишь 6 — кандидаты наук, остальные доктора (в числе последних единственная женщина); заведующие секторами — доктора наук; к числу докторов наук относятся академики и члены-корреспонденты (в отделе работают 3 академика и 3 члена-корреспондента АН СССР).

Отдел пополняется исключительно за счет молодежи в возрасте 25—27 лет; в последние годы он растет примерно на 4 % в год (увеличивается на 2 человека в год). Такой рост представляется минимальным, необходимым для нашего отдела. Но и в этом случае, если никто не покинет отдел, средний возраст сотрудников в год будет возрастать примерно на 3 месяца. Непрерывное «старение» почти всех категорий научных работников за последние 25 лет ясно видно и из табл. 3. И это при росте за 25 лет общего числа сотрудников более чем в 3 раза! Можно думать, что эти цифры довольно типичны для многих других отделов и лабораторий. В силу медленности снижения продуктивности с возрастом вплоть до 60 лет происходившее до сих пор увеличение среднего возраста сотрудников, как мне кажется, еще заметно не сказалось на работе. Впрочем, значительно больший приток молодежи все равно был бы весьма полезен для дела.

Однако на это нельзя рассчитывать; напротив, в академических институтах Москвы, по-видимому, достигнуто насыщение

<sup>11</sup> Так, А. Эйнштейн свои знаменитые работы по частной теории относительности и некоторые другие сделал в 1905 г. в возрасте 26 лет; создание общей теории относительности он завершил в 36 лет. Н. Бору, когда он предложил в 1913 г. теорию атома, было 28 лет. П. Дирак открыл релятивистское волновое уравнение для электрона в 26 лет (1928). Э. Шредингер и М. Планк свои наиболее важные работы выполнили в более позднем возрасте, соответственно в 39 лет (1926) и в 42 года (1900).

<sup>12</sup> Некоторые данные приведены, напр., в книге: Ш е л и щ П. Б. Динамика науки. Л., 1981. Согласно этим данным, в 1979 г. у нас было 1340,6 тыс. научных работников с ежегодным приростом в 2 % (последнее значение существенно ниже, чем за предшествующие годы; напр., в 1960, 1965, 1970, 1975 и 1978 г. прирост составил 14,2 %, 8,6 %, 4,8 %, 4,6 % и 2,6 % соответственно). В 1972 г., когда было 1056,0 тыс. научных работников, они распределялись по возрасту так: до 29 лет — 16,3 %, в интервале 30—40 лет 46,3 %, в интервале 41—50 лет 24,7 % и в возрасте 51 года и старше 12,7 %.

Согласно брошюре «Динамика научных кадров СССР (квалификационная структура)» (ИНИОН АН СССР, 1985), сейчас у нас около 1,5 млн научных работников. В 1982 г. их было 1431,7 тыс., в том числе 423,0 тыс. кандидатов наук и 39,7 тыс. докторов наук (около 2,8 %).

Ряд сведений и замечаний, касающихся научных работников пожилого возраста, содержится в книге: Со н и н М. Я., Ды с к и н А. А. Пожилые человек в семье и обществе. М., 1984; в частн., см. с. 126—131.

**Таблица 3**  
**Число научных сотрудников Отдела теоретической физики ФИАН и их средний возраст**

Год	Все научные сотрудники		Младшие научные сотрудники		Старшие научные сотрудники		Заведующие секторами	
	Число	Возраст	Число	Возраст	Число	Возраст	Число	Возраст
1960	15	37,2	4	32,0	8	34,1	3	52,3
1965	19	38,7	6	29,3	10	38,8	3	57,3
1970	27	40,5	10	31,3	12	42,4	5	54,4
1975	32	41,1	13	32,8	12	43,6	7	52,0
1980	41	42,6	16	33,7	17	44,6	8	56,1
1985	51	44,3	21	34,6	22	47,5	8	61,1

по численности. Более того, новое штатное расписание, вводимое в 1986 г. и связанное как с созданием новых категорий должностей (научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, главный научный сотрудник), так и с возможностью увеличивать зарплату (в основном более молодым научным сотрудникам), побуждает к сокращению штатов. На словах сокращать штат академических институтов, быть может, и нетрудно, но в реальных условиях неясно, как это делать. Необходимо обеспечить трудоустройство (отвлечемся сейчас от лиц пенсионного возраста). Переход из одного академического института в другой не решает проблемы в целом, да и вакансий, как правило, нигде нет (вне Москвы и Ленинграда ситуация с вакансиями, по-видимому, лучше, но переезд в другие города сопряжен с рядом трудностей). Переходить, таким образом, нужно в научно-исследовательские учреждения в народном хозяйстве, в вузы, техникумы и школы. Такая тенденция разумна и прогрессивна, но «сомотеком» проблеме не решить, переход нужно организовать, позаботиться о людях. Мне не известны какие-либо меры, предпринимаемые в этом направлении. К счастью, в рамках настоящей статьи я могу не развивать эту малоприятную тему.

Но еще одно замечание нельзя не повторить. Насыщение академических и ряда других учреждений научными кадрами делает особенно острой проблему отбора молодых людей, приходящих в науку. Чем меньше вакансий, тем, очевидно, тщательнее нужно отбирать наиболее профессионально пригодных. Между тем академическая аспирантура совершенно не отвечает этим требованиям, которые могут быть удовлетворены только при наличии открытого всесоюзного конкурса в академическую аспирантуру. Об этом я говорю

(даже кричу!) и пишу<sup>13</sup> уже 10 лет, но результатов пока нет.

### ПОСЛЕ 60 (О НАУЧНЫХ РАБОТНИКАХ СТАРШИХ ВОЗРАСТОВ)

В 60 лет научный работник, как и всякий человек, становится лицом пожилого возраста и в нашей стране может уйти на пенсию (женщины — на пять лет раньше). Возможность перехода на пенсию — огромное социальное завоевание. Представляется правильным как выбор пенсионного возрастного порога (55 и 60 лет), так и отсутствие дифференциации в зависимости от профессии, должности и т. д. Совершенно очевидно, что с возрастом падают работоспособность, продуктивность, возможность работать по-прежнему. Многие, конечно, зависят от здоровья, наследственности, поэтому различают календарный и биологический возрасты<sup>14</sup>. Но в среднем они должны совпадать, и я не буду их различать. Для данного возраста работоспособность и продуктивность зависят от специальности, характера деятельности. Научные работники находятся, конечно, в благоприятном положении по сравнению с теми, от кого требуются большие физические усилия. Для дальнейшей дифференциации в зависимости от профессии у меня нет достаточных данных, хотя в упоминавшейся книге Лемана собран довольно большой фактический материал (в частности, сведе-

<sup>13</sup> Гинзбург В. Л. Известия. 1976. 8 сент.; Лит. газета. 1984. 7 марта, 1 авг.; Вестник АН СССР. 1976. № 9. С. 56—58; 1985. № 6. С. 46—47.

<sup>14</sup> Биологический возраст «определяется состоянием обмена вещества и функций организма, а также соответствием этих процессов возрастным нормам человеческой популяции» (см. сноску 4. С. 63).

ния о продуктивности в разных возрастах в зависимости от продолжительности жизни; еще раз подчеркнута, что критика выводов Лемана, которая была приведена выше, следуя Коулу, имеет ограниченное значение, в основном в силу разных критериев определения продуктивности и достижений). Поэтому сделаю лишь несколько замечаний.

По данным, которые удалось извлечь из «Демографического словаря», в СССР в 1970 г. людей старше 60 лет было 11,8 % от всего населения, а уровень долголетия (отношение числа людей в возрасте 80 лет и выше к людям в возрасте 60 лет и выше) составлял примерно 7—12 % (для мужчин в городах — 6,7 %, в сельской местности — 10,2 %; для женщин, соответственно, 9,6 % и 12,3 %). Значит, людей старше 80 лет было около 1 % от всего населения. Число долгожителей (в возрасте 90 лет и выше) было 0,123 %, а старше 100 лет, по-видимому, около 0,004 %. Вероятно, за последние 15 лет процент людей старших возрастов повысился.

Любопытно сравнить приведенные цифры с возрастным составом Академии наук СССР по данным на 5 мая 1985 г. (табл. 4). В этой таблице в первом столбце ( $\geq 50$ ) указано число всех академиков или членов-корреспондентов в возрасте 50 лет и выше, т. е. родившихся в 1935 г. и ранее (для простоты учитывался лишь год рождения)<sup>15</sup>. Аналогичный смысл имеют данные в столбце ( $\geq 60$ ) и т. д. Средний возраст академиков 69,9 года, а для членов-корреспондентов он равен 63,1 года.

Нельзя считать, что табл. 4 непосредственно отражает возрастной состав квалифицированных научных работников, поскольку их число меняется со временем, изменяется и состав Академии. Тем не менее приведенные в ней данные довольно показательны. Особенно важно, что 80 % академиков и 55 % членов-корреспондентов относятся уже к пожилому (60—75 лет) и старому ( $> 75$ ) возрастам. Ясно, что проблема работоспособности и продуктивности в этих возрастных группах не только интересна или любопытна, но и имеет актуальное значение для развития науки, поскольку члены Академии в большинстве случаев играют довольно видную роль в научной жизни и деятельности нашей страны. К сожалению, соответствующие данные, по-видимому, не проанализированы. Между тем как раз для членов Академии уже

Таблица 4  
Возрастной состав членов АН СССР (по данным на 5 мая 1985 г.)

Возраст	Академики	Процент к общему числу академиков (284)	Члены-корреспонденты	Процент к общему числу чл.-корр. (549)
$\geq 50$	280	98,6	510	92,9
$\geq 55$	261	91,9	426	77,6
$\geq 60$	226	79,6	302	55,0
$\geq 65$	195	68,7	220	40,1
$\geq 70$	157	55,3	175	31,9
$\geq 75$	110	38,7	91	16,6
$\geq 80$	54	19,0	34	6,2
$\geq 85$	15	5,3	18	3,3
$\geq 90$	3	1,06	4	0,73
$\geq 95$	1	0,35	2	0,36
$\geq 100$	0	0	0	0

собран огромный фактический материал. Дело в том, что с 1940 г. систематически издаются «Материалы к биобиблиографии ученых СССР» — распределенные по годам библиографические справочники практически всех публикаций членов Академии (каждый выпуск посвящен одному человеку; всего опубликовано уже около 350 выпусков). Используя эти данные, легко выяснить число публикаций в зависимости от возраста, причем как с соавторами, так и без них. Из указателей можно почерпнуть и некоторые сведения, характеризующие «продукцию» (скажем, объем опубликованного материала, число статей в научных журналах и в других изданиях). Некоторой характеристикой качества или актуальности статей является, как известно, число появляющихся в литературе ссылок на них. Соответствующие сведения можно извлечь из индекса цитирования<sup>16</sup>.

Разумеется, при анализе зависимости продуктивности от возраста не следует ограничиваться членами АН СССР; я хотел лишь подчеркнуть, что для этой категории научных работников старших возрастов материал в значительной мере уже собран, и можно только удивляться, почему он не используется.

<sup>15</sup> За помощь в составлении таблиц 3 и 4 признателен Ю. А. Успенскому и И. И. Мазину.

<sup>16</sup> Об индексе цитирования как методе анализа научной деятельности см.: Хайтун С. Д. Что такое «цитат-индекс»? // Природа. 1980. № 3. С. 40—51.

В связи с отсутствием обработанных данных о других, да и независимо от этого, я попытался заняться «наукометрией» собственных публикаций и работ. Под «работами» понимаю статьи, иногда совсем короткие, но содержащие оригинальные результаты, а также обзоры, книги, некоторые опубликованные доклады. К числу «работ» не относятся научно-популярные статьи, некоторые заметки и статьи, в основном дублирующие опубликованное ранее, рецензии, предисловия, статьи в газетах и т. п. Деление, конечно, довольно условное. Для себя под «работой» понимаю публикации, включенные в список, который начал когда-то составлять по необходимости, а потом пополнял — такой список удобно иметь под рукой. В моем списке за период с 1939 по 1985 г. (т. е. за 47 лет) всего 315 работ; при этом ряд дублирующих или родственных статей фигурируют под одним номером. Следовательно, за год в среднем выполнялось 6,7 работы. С 1977 по 1985 г. (уже пожилой возраст) сделано 40 работ (в среднем 4,4 работы в год). За эти же 9 лет полное число публикаций, упомянутых в моих академических отчетах, равно 90 (в среднем 10 в год; сюда включены, конечно, все работы, но не учтены предисловия к сборникам и книгам и т. п.). Полного числа публикаций за все годы я не знаю; если не считать мелочей, то их примерно в два раза больше числа работ<sup>17</sup>. Замечу, что число работ и число публикаций довольно сильно флуктуируют — год на год не приходится (например, в 1985 г. я подготовил 14 публикаций, из которых 7 можно считать «работами»; из последних, правда, 4 с соавторами).

Физик-теоретик в основном работает сам или с одним, редко — двумя соавторами. Я — не исключение, совместных статей у меня меньше половины, но с возрастом их становится все больше. При анализе продуктивности и работоспособности вопрос о совместных публикациях особенно важен. Выявлять вклад соавторов совместной работы и трудно, и обычно некорректно. Вместе с тем критерии, которыми руководствуются при вхождении в авторский коллектив в разных областях и для разных людей, весьма различны. Поэтому вывод о высокой продуктивности

некоторых руководящих научных работников, полученный на основе числа публикаций, может оказаться совершенно неверным. Рад констатировать, что среди советских физиков-теоретиков «приписывание» к чужим работам в общем не практикуется. Кстати, нужно различать оригинальные работы и обзоры, популярные статьи и т. п. В первом случае (оригинальные работы) в число авторов может входить лишь тот, кому принадлежит идея работы (если эта идея нетривиальна) и ее обсуждение, или тот, кто непосредственно участвовал в ее выполнении (в вычислениях и обсуждении). Если речь идет о неоригинальной публикации, критерии допустимости соавторства более расплывчаты, но все равно появление фиктивных «соавторов» нельзя ни понять, ни оправдать. Последнее, а в какой-то мере и предыдущие замечания, относятся и к экспериментаторам. В целом, однако, ситуация в этом случае сложнее. Сейчас эксперимент нередко проводится большим коллективом, встречаются статьи с десятками авторов. Здесь, несомненно, имеются некоторые трудности, но они мне недостаточно известны и ясны.

**«НИЧЕГО ТАК НЕ СЛЕДУЕТ ОСТЕРЕГАТЬСЯ В СТАРОСТИ, КАК ЛЕНИ И БЕЗДЕЛИЯ» (ЦИЦЕРОН)**

Сознательно или бессознательно, почти все научные работники, кого пришлось наблюдать, руководствуются этим принципом, провозглашенным Цицероном. Те, кто сейчас старше 35—40 лет, в большинстве своем сталкивались в жизни с многими трудностями, привыкли тяжело и много работать (и, кстати, нередко не имели возможности и не научились хорошо отдыхать). Для них, если сохранились здоровье и интерес к науке, уход на пенсию не «заслуженный отдых», а почти трагедия. Для дела, для развития науки уход с работы вполне еще работоспособных и опытных людей также крайне невыгоден. Вместе с тем нельзя не считать с возрастными изменениями и необходимостью освобождать место для молодых. Здесь мы сталкиваемся с подлинной проблемой, о которой нужно думать, решать ее.

Уже довольно давно существует институт «профессоров-консультантов», позволяющий работоспособным докторам наук и на пенсии продолжать работать, получая некоторую дополнительную зарплату. Штатное место при переходе на должность консультанта освобождается,

<sup>17</sup> Подробные библиографические сведения до 1977 г. содержатся в указателе: Материалы к биобиблиографии ученых СССР. Сер. «Физика». Вып. 21. В. Л. Гинзбург. М., 1978.

высвобождается и существенная часть зарплаты. Должен быть узаконен и переход на половину ставки с сохранением пенсии. Такая система представляется мне прогрессивной. Неправильно, однако, ограничивать ее докторами наук. Проводимая сейчас переаттестация научных работников, переход на новую структуру должностей в значительной мере направлены как раз на то, чтобы больше внимания обращать на деловые качества, а не только на ученые степени. В полном согласии с таким совершенно правильным подходом нужно дать возможность продолжать в какой-то форме работать (скажем, на половине ставки, но с сохранением пенсии) и научным работникам — кандидатам наук.

Члены Академии наук СССР и других академий, насколько я знаю, весьма редко выходят на пенсию. Во всяком случае, их к этому не понуждают, мотивируя особенно высокой квалификацией. Но возраст властен над всеми. Поэтому вряд ли можно возражать против перехода на пенсию и членов академий, причем с предоставлением им возможности оставаться консультантами. Впрочем, допустимо разрешить очень небольшой категории лиц и в почтенном возрасте, если силы позволяют, не уходить на пенсию или, находясь на пенсии, сохранить небольшой сектор или лабораторию, скажем, для теоретиков — до 5—8 человек, для экспериментаторов — до 15 человек. Но чего, по моему убеждению, нельзя оправдать — так это возможности в любом возрасте (даже старше 85, а то и 90 лет!) оставаться директором института, иногда огромного. У нас же такие случаи известны.

На Западе также столкнулись с аналогичной проблемой, точнее, с необходимостью введения предельного возраста для замещения ряда должностей: профессоров, мастеров (президентов) колледжей и т. д. В результате во всех известных мне случаях (к сожалению, систематических сведений не имею) на Западе и в Японии введен безусловный предельный возраст для профессоров, занимающих кафедры, и для некоторых других категорий научных работников. Особенно важна безусловность этого правила, не допускающая исключений. В противном случае не избежать обид. В результате, например, даже великий физик П. Дирак в 66 лет (1968) оставил свою кафедру в Кембридже и после этого часть времени жил в США, где до конца жизни (1984) занимал должность, аналогичную нашему профессору-консультанту (в англоязычных странах существует такое звание —

professor emeritus). То, что с возрастом нельзя не считаться, осознала даже столь консервативная «организация», как католическая церковь. С недавних пор в Ватикане принято постановление о неучастии кардиналов старше 80 лет в конклаве — собрании кардиналов, избирающих нового папу. А ведь участие в конклаве считалось чуть ли не основной привилегией кардинальского сана.

Я отнюдь не предлагаю в сколь-нибудь существенной мере использовать опыт Запада, а тем более Ватикана, для решения наших проблем, связанных с возрастом. Не вижу оснований для обязательной отставки по возрасту с любой должности, заведомо нет оснований и как-то ограничивать избирательные права членов Академии. Но необходим обязательный предельный возраст для замещения научных должностей, связанных с большой ответственностью и нагрузкой, причем он не должен допускать исключений (т. е. должен быть безусловным). Тогда заранее известно, когда, скажем, директор заведомо должен уйти, и это облегчает поиски преемника, исключает ряд сложностей.

Поскольку я сам не директор, то боюсь упрека в том, что делаю рекомендации по вопросам, меня лично не затрагивающим (а быть добрым или благородным за чужой счет не так-то трудно). Поэтому поясню, что я заведу сейчас большим отделом, несу ответственность почти за 100 человек. В таких случаях тоже необходим безусловный предельный возраст. Каким он должен быть? У меня нет достаточных данных, чтобы сделать на этот счет обоснованное предложение.

Обсуждаемые организационные вопросы важны, но еще важнее, да и сложнее анализ сути дела — симптомов и причин понижения продуктивности и работоспособности с возрастом, а также путей наиболее эффективного и рационального использования сил. Если не касаться болезней или «нормального» повышения утомляемости, то очевидны следующие причины уменьшения научной продуктивности с возрастом.

Во-первых, падение «творческих» способностей (слово «творчество» стало таким затасканным, что без кавычек обойтись трудно). Можно спорить, приводить в пример Микеланджело, Пикассо, Шагалу. Но в физике даже великие люди, дожившие до старости и сохранившие ясность мысли, становились все же менее оригинальными и

изобретательны, не работали как в молодости.

Во-вторых, уже в пожилом возрасте, не говоря о более позднем, нередко становится неинтересно работать над некоторыми темами, трудно вести сложные вычисления и т. д. В молодости тоже бывает трудно работать, иногда даже очень трудно, и это скорее правило, чем исключение. Важные результаты редко даются легко. Пусть идея и возникла мгновенно, ее ведь еще нужно реализовать, за озарением обычно следует труд, труд и труд. Но с возрастом исчезают некоторые стимулы, в частности падает то «здоровое честолюбие»<sup>18</sup>, которое столь способствует преодолению трудностей.

В-третьих, достижение «степеней известных» сопряжено, как правило, со всякими нагрузками и обязанностями, а поэтому времени для своей собственной работы становится все меньше. Разумеется, руководство научной работой других и научно-организационная деятельность необходимы, полезны и почетны. Если такая деятельность приносит удовлетворение — тем лучше. Но многим, мне в том числе, подлинное удовольствие и удовлетворение доставляет лишь собственная работа, пусть это будет даже скромная научно-популярная статья. Одно из следствий подобной ситуации — то, что в выходные дни я обычно работаю. Вряд ли это должно быть нормой.

Поскольку я опять перешел на себя, отмечу, что испытываю затруднения, обусловленные не только третьей из перечисленных причин, но и первыми двумя. Позволю себе поделиться таким наблюдением. В прошлом я со скуки, во время болезни, в поезде, на лодке, играл в игру, которую неправильно называл «мозговой атакой»<sup>19</sup>: брал часы и старался за 15—30 минут придумать какой-либо эффект,

какое-либо возможное явление. И выходило, придуманные так эффекты (быть может, правильнее сказать — эффектики, ибо речь не идет о чем-то значительном) легли в дальнейшем в основу десятка работ. Не буду приводить конкретных примеров и ограничусь замечанием, что некоторые из них касаются эффекта Вавилова—Черенкова, переходного излучения и переходного рассеяния<sup>20</sup>. Но вот уже лет десять ничего у меня из «мозговой атаки» не получается, перестал и пробовать. Или воображения не хватает, или не можешь достаточно напрячь внимание, либо, наконец, иссяк запас того материала, образов, представлений, из которых конструируется что-то новое. Ответа дать не могу, но факт есть факт.

Один коллега, прочитавший рукопись в первом ее варианте, воспринял некоторые замечания, в первую очередь касающиеся «мозговой атаки», как жалобу на возраст. Мне это представляется не вполне верным. Разумеется, как и всякий другой, я был бы счастлив сбросить с плеч лет десять или более. Поскольку это невозможно, жалобы на возраст не только бессмысленны, но в известной мере и вредны. Они мешают понять, что с возрастом меняются способности, возможности и вкусы. Между тем такое понимание должно помочь трудиться с наибольшим эффектом.

Никогда я не любил вычислять, но приходилось, без этого физик-теоретик работать не может. То, чего не любишь, реже делаешь, поэтому со временем трудности еще больше возрастают. Думаю, в случае рождения идеи, пусть только увлечения (идея может и «не пойти»), я еще сумел бы преодолеть немало трудностей. Ну, а если огонь не зажегся, зачем же заставлять себя работать? Есть, конечно, физики, которые решают разные задачи (конечно, не учебного типа) с удовольствием. Один из моих ныне покойных друзей говорил, что у него в таких случаях чувство мастера, обтачивающего детали. Понимаю такие чувства, даже завидую им. Но раз их нет, то ищешь работу другого типа. Впрочем, и в 1985 г. я выполнил одну «обыкновенную работу» физика-теоретика, ибо возникла небольшая идея. В остальном же писал доклады на две конференции, принял участие в четырех «работах» с соавторами, готовил новое издание своей книги, а также занимался публицистикой.

Л. Д. Ландау не раз подчеркивал, что нельзя, не нужно «работать на премию».

<sup>18</sup> В «Словаре русского языка» С. И. Ожегова нет такого термина, а честолюбие определяется как «жажда известности, почестей, стремление к почетному положению». Честолюбие в таком определении тоже нередко играет важную роль в научной деятельности. Однако можно не жаждать почестей, но сильно стремиться получить важные результаты, стремиться к самоутверждению и признанию. Это я и называю «здоровым (или хорошим) честолюбием»; без него добиться подлинного успеха в науке, измеримого не премиями и почестями, а научными результатами, почти невозможно.

<sup>19</sup> В литературе «мозговой атакой» («brainstorming») называют групповой метод решения проблем путем их свободного обсуждения. См., напр.: Проблемы научного творчества. Вып. 4. М.: Изд. Ин-та научной информ. АН СССР, 1985.

<sup>20</sup> См., напр.: Гинзбург В. Л. О теории относительности. М., 1979. С. 188, 212.

Л. И. Мандельштам в разговоре со мной дал другой, тоже правильный совет, который перефразирую здесь так: лет в 60—65, если станет трудно и (или) менее интересно решать задачи, придет время для философии, истории физики и т. п.<sup>21</sup>

Такой путь не только допустим, но и привлекателен. Меня, однако, всерьез и надолго заняться философией или историей науки не тянет. Впрочем, те заметки и статьи типа настоящей, которые я пишу, представляют собой нечто родственное, хотя их правильнее, по-видимому, отнести к жанру публицистики. Достойн упоминания и пример физиков-теоретиков, успешно возглавивших большие экспериментальные лаборатории. Правда, это делалось не в 60 лет, а раньше, но всерьез и надолго. Для некоторых физиков-теоретиков еще более привлекательным кажется «промежуточный» вариант — участие в интересной экспериментальной работе. Для меня такой работой могли бы оказаться поиски высокотемпературных сверхпроводников. К сожалению, на такой путь у нас очень трудно вступить в силу ряда причин житейского и организационного характера.

Труд бывает, правда, мучительным, но в общем, особенно когда работа идет, доставляет удовлетворение. В этом важнейшем отношении старшие возрасты не составляют исключения, а способность работать может сохраняться очень долго, до конца. Этому есть много примеров, но

<sup>21</sup> Об этом см.: Академик Л. И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения. М., 1979. С. 212.

я опять вспомнил о книге О. Д. Хвольсона, первое издание которой вышло в 1928 г., а четвертое, просмотренное и дополненное, в 1932 г., когда ее автору исполнилось 80 лет. А ведь это была «Физика наших дней (новые понятия современной физики в общедоступном изложении)». Поистине «в здоровой старости плохо только то, что и она проходит» (не знаю точно, кому принадлежит этот афоризм, который я дополнил словом «здоровой»; быть может, это и неудачно с литературной точки зрения, но заведомо верно по существу).

## ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Занятия наукой для тех, кто ее любит и профессионально пригоден к научной деятельности (нужно и то, и другое!), — большое счастье. Повезло научным работникам и в том отношении, что, в отличие от некоторых других профессий, они могут заниматься своим делом и в старших возрастах. Чтобы работа шла успешно, с максимальным эффектом, а вследствие этого приносила побольше удовлетворения, не следует плыть по течению, рассчитывать на слепую удачу. К тому же в пожилом возрасте возникают специфические не легкие проблемы. Чем раньше удастся понять некоторые требования и условия плодотворной научной работы, тем легче будет потом — всю жизнь. В настоящей статье я пытался поделиться кое-каким опытом и соображениями на этот счет, как, впрочем, и рядом других замечаний. Удалась ли моя попытка, хотя бы в скромной мере? Хочу на это надеяться.

## Новый журнал Академии наук СССР

В 1987 г. в издательстве «Наука» будет выходить ежеквартальный журнал «Сенсорные системы».

В журнале будут освещаться различные аспекты междисциплинарных исследований по физиологии органов чувств. Журнал рассчитан на специалистов в области нормальной и патологической физиологии, биофизики, психологии сенсорного восприятия, а также на широкий круг биологов, медиков, инженеров, педагогов, интересующихся современным состоянием и перспективами развития физиологии органов чувств.

Подписка на журнал принимается во всех отделениях «Союзпечати». Индекс журнала в «Каталоге советских газет и журналов» на 1987 г. — 70810. Подписная цена на год — 5 р. 20 к., цена одного номера — 1 р. 30 к.

Адрес редакции: 117312, Москва, В-312, ул. Вавилова, 39.

## Происхождение мордовского народа

**Н. Ф. Мокшин,**  
кандидат исторических наук  
Саранск

Мордва относится к финно-угорской языковой группе. Кроме мордовских языков (а этот народ говорит на двух языках — эрзянском и мокшанском), к той же группе относятся финский, карельский, ижорский, ливский, водский, вепсский, эстонский, саамский, марийские (лугово-восточный и горно-марийский), удмуртский, коми-зырянский и коми-пермяцкий языки, составляющие финскую ветвь, а также хантыйский, мансийский и венгерский, объединяемые в угорскую ветвь.

По Всесоюзной переписи населения 1979 г. мордва насчитывала 1 млн 192 тыс. человек. Из всех финно-угорских народов по численности мордва уступает лишь венграм и финнам.

### СТАНОВЛЕНИЕ ЭТНОСА

Антропологический состав мордвы сформировался в результате смешения различных типов преимущественно европеоидной расы (беломорского, понтийского, восточно-балтийского). Монголоидной примеси у нее меньше, чем у других финноязычных народов Поволжья. Имеющееся сходство в антропологическом облике мордовского и русского населения (особенно восточного) — следствие, во-первых, древней общности антропологических типов, на основе которых шло их формирование, и, во-вторых, последующего процесса сближения и смешения.

К древнемордовским племенам были особенно близки древнемарийские племена. Как показывает проведенное нами сравнительное изучение дохристианских верований мордвы и марийцев, многие их божества идентичны не только по функци-

ям, но и по названиям, теонимам. Теонимы эти, как правило, двойные (двухосновные). Первая часть их обозначает объект олицетворения, а вторая — женщину (ава — по-мордовски и по-марийски). Так, например, божество воды по-мордовски называется Веды-ава (ведь — вода), по-марийски — Вуд-ава (вуд — вода), божество земли по-мордовски Мода-ава, по марийски — Мланда-ава (где мода и мланда — соответственно, по-мордовски и по-марийски — земля) и т. д.

По нашему мнению, указанная система верований была создана еще в эпоху материнско-родового строя, когда предки мордвы и марийцев представляли единую этноязыковую общность или по меньшей мере были близкородственными<sup>1</sup>. Позднее, примерно 2 тыс. лет назад, когда социальный строй волго-окских финно-угров был уже патриархально-родовым, прамордовско-прамарийская соплеменность распалась на древнемордовскую и древнемарийскую семьи племен. Как отмечал Ф. Энгельс: «...первоначальные религиозные представления, по большей части общие каждой данной родственной группе народов, после разделения таких групп развиваются у каждого народа своеобразно, соответственно выпавшим на его долю жизненным условиям»<sup>2</sup>.

Уже с первой половины I тысячелетия в составе древнемордовской семьи племен на-

чинают вырисовываться линии эволюции мокшанской и эрзянской групп племен, которые затем становятся все более явными. Одной из серьезных предпосылок такого раздвоения, или дуализации, была обширность территории их расселения, затруднявшая контакты между племенными группами. Территориальная разобщенность обусловила их связи с разными этносами, что породило особенности в языке, антропологическом облике, культуре и быте мокши и эрзи. Существенной причиной дуализации древней мордвы можно считать и миграционные процессы, происходившие на ее этнической территории. Особенно заметную роль в изменении этнической ситуации, в разрыве ее этнолингвистической непрерывности сыграло, вероятнее всего, вторжение в VI—VII вв. со степного юга тюркских племен. Позднее ряд других политических (например, монголо-татарское нашествие, казанско-ханские захваты), социально-экономических и этнокультурных факторов содействовал закреплению бинарности мордовского этноса, сохранившейся до наших дней.

### МОРДОВСКИЕ ЭТНОНИМЫ

Этноним мордва появляется в довольно ранних письменных источниках. Так, историк готов Иордан (VI в.) писал о народе Восточной Европы *Mordens*, византийский император Константин Багрянородный (X в.) упоминал страну *Мордию* (*Mordia*), которая была в десяти днях пути от Печенегии. В западно-европейских средневековых источниках мордва называется также *Mordani*, *Merdium*. В древнерусских летописях этноним мордва, мордвичи встречается с XII—XIII вв.

В своей основе этноним этот восходит к ирано-скифским языкам (ср. иран. *mard*, тадж. *мард* — мужчина и т. д.). В мор-

<sup>1</sup> Мокшин Н. Ф. Отражение матриархата и периода распада первобытно-общинного строя в религиях некоторых народов Поволжья (мордва, марийцы). М., 1964. С. 1—8.

<sup>2</sup> Энгельс Ф. Людвиг Фейербах и конец классической немецкой философии // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2. Т. 21. С. 313.

довских языках указанное слово сохранилось для обозначения мужа (мирде). В русском слове мордва частица «ва» носит оттенок собирательности. Его можно сопоставить с этнонимами типа литва, татарва и т. п.

Самое раннее письменное сообщение об этнониме эрзя (арису) дошло до нас в послании кагана Хазарии Иосифа (X в.), а об этнониме мокша (Моше) мы узнаем из записок фламандского путешественника XIII в. Гильома Рубрука. Этноним эрзя, вероятно, восходит в своей основе к иранской лексике (иран. *arsāl* — самец, мужчина, герой), а мокша связана с индоевропейским гидронимом Мокша (ср. в санскрите *moksha* — проливание, утеkanie, освобождение)<sup>3</sup>.

Этническая территория мордвы в начале II тысячелетия определяется лишь приблизительно. На западе и севере она доходила до Оки и Волги, которая по-мордовски называлась Рав. Рядом жили мурома, черемисы (марийцы) и восточнославянские племена, затем русские (по-мордовски — рузт). Южными соседями мордвы были половцы и огузы (по-мордовски — гузт), а восточными — волжские булгары, на этнической основе которых несколько позднее происходило формирование таких этносов, как казанские татары и чуваши.

В современных мордовских языках татары обычно называются этнонимом татарт. Но есть некоторые источники, свидетельствующие, что в прошлом для их номинации мордва пользовалась этнонимом печкаст. Впервые этот этноним зафиксирован в рукописном «Словаре языка мордовского», составленном во второй половине XVIII в.<sup>4</sup> Высказывалось мне-

ние, что он был произведен от этнонима печенеги<sup>5</sup>. Однако с такой этимологией вряд ли можно согласиться. По нашему мнению, мордва произвела указанный этноним от мордовского же слова печкезть, т. е. обрезанные — внимание здесь акцентируется на обычаях обрезания, характерном для народов мусульманского вероисповедания. Как известно, исламизация волжских булгар, унаследованная казанскими татарами, началась с 922 г.

Чувашей же мордва называлась этнонимом ветькетъ. Этноним чуваша на страницах русских исторических источников появляется поздно, лишь в начале XVI в., хотя нет сомнений в том, что чуваша жили на занимаемой ими и поныне территории с давних времен, находясь в соседстве с мордвой, марийцами, татарами, русскими, и были хорошо им знакомы, но под другими этнонимами. В свое время М. Н. Тихомиров высказал предположение, что в русских летописях чуваша выступают под этнонимом вьда<sup>6</sup>. Этнографические наблюдения, проведенные мною среди мордвы Чувашии, позволили установить бытование данного этнонима среди мордовского населения этой республики до настоящего времени. Вполне возможно, что этноним вьда (вьда), которым русские в средние века обозначали чувашей, был воспринят ими от мордвы. В любом случае, бытование данного этнонима у мордвы — новый существенный аргумент в пользу того, что чуваша в средневековье были известны на Руси под этническим именем вьда (вьда).

## КОНСОЛИДАЦИЯ МОРДОВСКИХ ПЛЕМЕН

В начале II тысячелетия, по-видимому, намечается процесс формирования из мордовской семьи племен мордовской

народности, что было обусловлено изменением социально-экономической структуры древней мордвы. Имущественная, а затем и социальная дифференциация возникает еще в первой половине I тысячелетия, а во второй половине она приводит к появлению в рамках разлагающегося первобытно-общинного способа производства патриархального рабства.

О былых элементах рабства у мордвы можно судить по этнографическим и лингвистическим материалам. В мордовских языках есть слово уре, обозначающее раба, слугу. Оно входит в мордовские названия сироты (уроэ), и снохи (эрзянское урья, мокшанское рьяня). В термине, обозначавшем сноху, безусловно, отразилась новая идеология брака, характерная для зарождающегося классового общества, когда женщина стала рассматриваться как товар и рабочая сила.

В это время у мордвы, как и у ряда других этносов Среднего Поволжья, бытовавшая ранее «денежная» система, когда средством обмена были беличьи шкурки, заменяется металлческими деньгами. По-мордовски деньги стали называться ярмакт. Слово это имеет тюркское происхождение, означает оно рубленный, разрезанный и заимствовано мордвой от волжских булгар.

Немаловажную роль в этнической консолидации мордовской народности играла международная обстановка, которая в то время была весьма напряженной. Походы на мордву хазар, а затем киевских князей приводили к тому, что она была вынуждена платить дань сначала Хазарскому каганату, а затем, после его ослабления, Киевской Руси. Но русские князья в столкновениях с мордвой порой терпели и неудачи. В «Повести временных лет», например, под 1103 г. значится: «Того же лета быся Ярослав с Мордвою месяца марта в 4 день и побежден бысть Ярослав». Летописные строки свидетельствуют о наличии у мордвы военной организации, что несомненно ускорило консолидацию мордовского этноса.

В конце XII — первой трети XIII в. во главе мордвы

<sup>3</sup> Мокшин Н. Ф. Происхождение этнонима эрзя // Вопросы географии Мордовской АССР. М., 1974. С. 34—36; Он же. О теониме Мокошь, гидрониме и этнониме Мокша // Ономастика Поволжья, 4. Саранск, 1976. С. 325—326.

<sup>4</sup> Отдел рукописей Государственной публичной библиотеки им. М. Е. Салтыкова-Щедрина в Ленинграде. Ф. 885. Ед. пр. 220.

<sup>5</sup> Ахметьянов Р. Г. Сравнительное исследование татарского и чувашского языков. М., 1978. С. 129—131.

<sup>6</sup> Тихомиров М. Н. Русское государство XV—XVIII веков. М., 1973. С. 92.

становится Пургас, при котором происходит концентрация части мордвы в границах так называемой «Пургасовой волости». До сих пор точно не установлено, где находился ее центр, но есть предположения, что им могло быть Пургасово городище, остатки которого раскопаны в 60 км к востоку от города Кадома. Возникшая на основе союза некоторых мордовских племен «Пургасова волость», о чем говорится в русских летописях, способствовала территориальному сплочению этих племен. Оно закрепляло общность их социально-экономических и этнических интересов, ускоряло трансформацию в мордовскую феодальную народность.

Наряду с начавшейся консолидацией мордовских племен в единую народность, которую условно можно назвать народностью высшего таксономического уровня, шла консолидация эрзянской и мокшанской групп племен, образовавших, в свою очередь, две близкородственные народности — эрзя и мокшу. Их, разумеется также условно, можно назвать народностями низшего таксономического уровня. Отмеченные процессы можно соответственно квалифицировать как макроконсолидацию и микроконсолидацию.<sup>7</sup>

## ОБЪЕДИНЕНИЕ МОРДВЫ С РОССИЕЙ

Объединение мордвы с Россией было длительным процессом, растянувшимся на целые века. Начинаясь оно в пору, когда Русь еще не представляла собой единого целого, в период феодальной раздробленности, существования ряда самостоятельных, порой враждовавших между собой русских княжеств, а завершилось, когда было создано единое Российское государство. Значительное воздействие на русско-мордовское сближение оказала совместная борьба против золотордынского ига, а затем и Казанского ханства. Вторжение Батыя на мордовскую землю русская

летопись датирует 1239 годом: «На ту же зиму взяша Батыева Татарове Мордовскую землю...»<sup>8</sup> В 1242 г., когда войска Батия были в Польше, Венгрии, Чехии, Далмации, ему сообщили о большом восстании в тылу, на Волге, что вынудило его вернуться, покорить «мордванов» и обязать их выплачивать Орде ясак.<sup>9</sup>

В конце XIII — начале XIV вв. на реке Мокше, в южной части этнической территории мордвы, на месте некоего мордовского поселения был построен город, названный монголо-татарами Мохши (Мухши), ставший центром северного улуса Золотой Орды. Русские летописи именуют его Наручадью (современный г. Наровчат, Пензенской области). Улус этот, видимо, был разделен и на более мелкие административно-территориальные единицы — аймаки.

После победы на Куликовом поле в 1380 г. все русские князья направили на Орду своих «киличев», послов с дарами хану Тохтамышу. Дмитрий Иванович Донской также снарядил двух «киличев» своих Толбугу да Мокшю. Они благополучно вернулись 14 августа 1381 г. от «Тахтамыша цезря с пожалованием и со мноюю честию»<sup>10</sup>.

Иван Федорович Толбуга — известное лицо во времена Дмитрия Донского, потомок князей Фоминских и зачинатель рода Толбузиных. Что касается второго киличев — Мокши, то есть основания считать его мокшей. Именно в это время часть мордовских (мокшанских) земель в бассейне Цны вошла в состав двух русских княжеств — Московского и Рязанского, что официально было оформлено договором между князьями московским Дмитрием Ивановичем и рязанским Олегом Ивановичем от 1382 г. Анализ мордовских имен и от-

чества, сохранившихся в русских письменных источниках XVI—XVII вв., свидетельствует о бытовании у мордвы ряда личных имен, основу которых составляет этот этноним (Мокшазар, Мокшай, Мокшан, Мокшей, Мокшоват и др.).

В XV в. по мере роста освободительного движения, борьбы с остатками Золотой Орды, в том числе Казанским ханством, русско-мордовские связи продолжали крепнуть. В 1444 г. совместными усилиями русской и мордовской ратей под Рязанью (на р. Листани) было разбито войско татарского царевича Муштафа.

В конце XV в. завершается процесс вхождения мордвы в состав Российского государства. В духовной грамоте великого князя московского Ивана III, составленной в 1504 г., сказано: «Да сыну же своему Василию даю... Новгород Нижний с волостями и с путми и с селы со всеми Мордвами и Черемисою, что к Новгороду потягло... Да ему же даю город Муром с волостями и с путми и с селы и со всеми пошлинами, и с Мордвами и с Черемисою, что к Мурому потягло... Да Князи Мордовские все и с своими отчинами сыну ж моему Василию...»<sup>11</sup>

Вхождение мордовского народа в состав Российского государства имело большое позитивное значение не только для его социально-экономического, политического, но и этнического развития. Об историческом значении этого поворотного события для судеб поволжских народов сказал Ф. Энгельс: «...Россия действительно играет прогрессивную роль по отношению к Востоку... Господство России играет цивилизаторскую роль для Черного и Каспийского морей и Центральной Азии, для башкир и татар»<sup>12</sup>. Слова эти можно целиком отнести и к мордве.

<sup>8</sup> Полное собрание русских летописей. Т. X. Патриаршая, или Никоновская, летопись. М., 1965. С. 115.

<sup>9</sup> Путешествие в восточные страны Плано Карпини и Рубрика. М., 1957. С. 47.

<sup>10</sup> Полное собрание русских летописей. Т. XI. Патриаршая, или Никоновская, летопись. М., 1965. С. 69.

<sup>11</sup> Собрание государственных грамот и договоров, хранящихся в государственной коллегии иностранных дел. Ч. 1. М. 1813. С. 392.

<sup>12</sup> Энгельс Ф. Письмо К. Марксу от 23 мая 1851 года // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2. Т. 27. С. 241.

<sup>7</sup> Бромлей Ю. В., Пучков П. И. Процессы этнического развития и этнических прогнозирование // Природа. 1986. № 2. С. 30.



## Биология

## Необычные вкусы колорадского жука

Л. В. Кулик,  
кандидат биологических наук

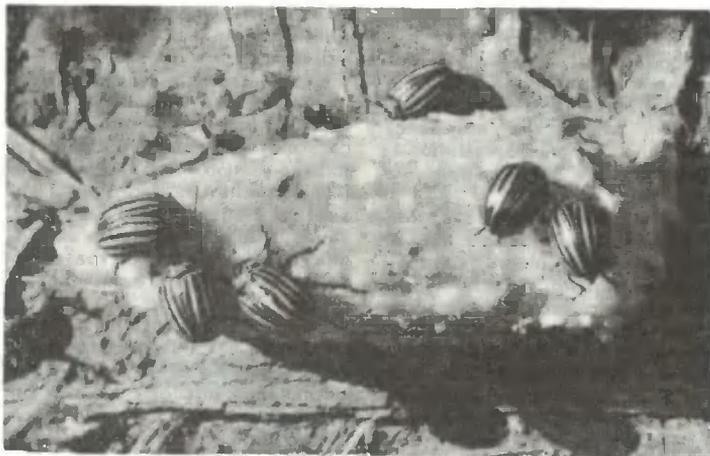
А. А. Тимошин

Курский педагогический институт

Выходец из засушливых районов западных склонов Скалистых гор (США), колорадский жук (*Leptinotarsa decemlineata*) до середины XIX в. питался только дикими растениями семейства пасленовых. Но как только на Западе Северной Америки стали заниматься земледелием, жук перешел на культурный картофель. С той поры и на Американском континенте, и в Европе, куда он случайно попал с корабельными товарами, жук и его личинки предпочитают картофель всем другим пасленовым.

Но осенью 1984 г. мы заметили, что вкус колорадского жука изменился. Мы находили жуков, которые буквально вгрызались в початки кукурузы молочной и молочно-восковой спелости, в мякоть раздавленной недозрелой тыквы, а со стеблей вьюнка соскабливали эпидермис столь же тщательно, как с еще зеленых, но уже потерявших листья стеблей своего излюбленного картофеля. Обедали жуки и незрелые бобы гороха.

С чем могла быть связана несвойственная колорадскому жуку многоядность? К концу августа в Курской области обычно успевают появиться жуки второго поколения. Листья и стебли картофеля к этому вре-



Колорадские жуки, поедающие початок кукурузы (вверху) и тыкву.

мени уже усыхают, а не получившие полноценного питания жуки неглубоко зарываются в землю и за зиму обычно погибают. Мы не знаем, выжили ли те жуки, которые питались бобовыми, вьюнковыми, злаковыми и тыквенными, и потому не можем определенно сказать, представляют ли они большую опасность

по сравнению с жуками, питающимися картофелем. Вероятно, это была случайность (нередкая в мире насекомых), возникшая из-за недостатка обычной пищи. Но если учесть высокую экологическую пластичность колорадского жука, его способность к массовому размножению, такого рода аномалии не могут не настораживать, а потому требуют тщательных наблюдений и исследований.

## Охрана природы

## Яды против грызунов опасны для муравьев и ящериц

Д. А. Бондаренко

Институт медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е. И. Марциновского Министерства здравоохранения СССР  
Москва

Эффективное средство борьбы с вредными грызунами — различные яды с общим названием родентициды. Однако такие яды опасны и для других животных. Многие виды птиц и млекопитающих гибнут, в частности, от фосфида цинка, чаще других используемого для уничтожения грызунов.

Мы обнаружили, что фосфид цинка опасен также и для насекомых. В пустынных районах Средней Азии, где для борьбы с песчанками применяется зерно, последовательно обработанное растительным маслом и порошкообразным фосфидом цинка, гибнут муравьи-жнецы, широко распространенные в пустынях. Свои гнезда муравьи обычно строят по соседству с норками песчанок.

Наблюдая за двумя видами жнецов — *Messor denticulatus* и *M. gulftarsis* — в течение четырех экспедиционных сезонов (1982—1985 гг.) в Каршинской степи (юг Узбекистана), мы видели, как насекомые, отыскав приманку, уносят ее в гнезда, устроенные глубоко в грунте. Там жнецы счищают масло, а вместе с ним и яд с зерен и очищенную приманку выносят на поверхность и складывают в отвалы у входа в гнездо вместе с сухими остатками растений и шелухой от разных семян. Чтобы очистить и вынести 250 г приманки, муравьям нужно несколько суток.

Оказалось, что приманка, побывавшая в гнезде, очищается только частично и зерно из отвалов по-прежнему привлека-

ет жнецов, но уже другой, соседней семьи. Очевидно, этих муравьев в приманке больше интересует масло, а не зерно, хотя они питаются преимущественно семенами. Поэтому, пока совсем не останется масла на зерне, оно переходит из одного гнезда в другое, отравленная приманка успевает побывать в двух—шести гнездах. Каждая очередная семья получает все меньше яда, так как часть зерна теряется в подземных камерах гнезда.

Действие яда на *M. denticulatus*, первыми обнаруживших приманку, сказывалось через несколько суток, в течение которых зерно находилось в камерах; из гнезда выходили малоподвижные насекомые с явными признаками отравления и через некоторое время погибали. Большая их часть гнила в гнездах, откуда их выносили оставшиеся в живых рабочие особи. Муравьи другого вида — *M. gulftarsis* — оказались менее чувствительными к яду.

Как мы выяснили, яд начинает действовать только через несколько дней, когда во влажной среде камеры фосфид цинка превратится в газообразный фосфористый водород и попадет в дыхательные пути насекомых. Но не исключено и попадание фосфида цинка в их пищеварительный тракт.

Однако действие приманки не ограничивается муравьями. Мы убедились, что мелкие ящерицы, весьма многочисленные в пустынных ландшафтах, охотятся на муравьев, когда те перетаскивают отравленное зерно. Фосфид цинка с тела насекомых попадает в желудок ящериц и вызывает их гибель. Оказалось, что их смерть не связана со случайным попаданием отравленного зерна в желудок и не вызвана поеданием отравившихся муравьев. Мы скормили их группе такырных круглоголовок (*Phrynoscephalus helioscopus*) в течение двух недель, но признаков отравления не заметили. Значит, на ящериц действует только чистый фосфид цинка, который в кислой среде желудка превращается в тот же фосфористый водород.

Мы обращаем внимание

на отравляющее действие родентицидов на муравьев-жнецов потому, что они играют заметную роль в биогеоценозах пустынь: разносят огромное количество семян растений и тем самым участвуют в формировании растительного покрова (некоторые виды растений приспособлены именно к такому способу распространения семян); семена, постепенно скапливающиеся в гнездах муравьев, обогащают почву органическими веществами; сами муравьи составляют основу рациона некоторых мелких пустынных животных. Поэтому из-за массовой гибели муравьев-жнецов там, где ведется борьба с вредными грызунами, могут возникать неблагоприятные изменения в составе и функционирование биогеоценозов. Следовательно, необходимо тщательно изучить последствия, к которым приводит борьба с вредными животными и продолжить поиски новых, менее вредных способов такой борьбы.

## Зоология

## Сорока гнездится на Южном берегу Крыма

Б. А. Аппак  
А. В. Чернов

Алушта

Сорока (*Pica pica*) — обычная оседлая птица степей и северных предгорий Крыма. Численность ее постепенно растет, а постоянные районы обитания становятся все менее пригодными. И вот сорока, заселяющая лесостепи, все выше поднимается в горы, стала обычной в лесных полосах степей, в посадках вдоль автомобильных и железных дорог, появляется на вершинах гор, поросших степной и луговой растительностью. Залетает в Симферополь! И на одной из окраинных улиц города мы нашли сорочье гнездо.



Участок дороги Алушта — Судак, на котором гнездятся сороки.



Подросший птенец.

На Южном берегу Крыма сороку встречали с 1967 г., причем в Алуштинскую долину сначала она прилетала только поздней осенью и зимой, но никогда не строила там гнезд.

Однако обследуя эти места два года назад, мы обнаружили гнездящихся сорок на небольшом участке (длиной около 5 км) вдоль автотрассы Алуш-

та — Судак. Здесь небольшие леса чередуются с виноградниками, строятся городские очистные сооружения, и именно в районе строительства больше всего сорок зимой.

В конце февраля на растущем вдоль дороги боярышнике, реже на грабиннике и дубе супружеская пара начинает строить гнездо, для чего использует иногда кроме обычного строительного материала также проволоку, шпагат для подвязки виноградных лоз. Интересно, что, поселяясь вдоль самого шоссе, со-

роки на 10—15 дней раньше приступают к строительству гнезда и откладывают больше яиц, чем те, которые гнездятся вдали от дороги. Вероятнее всего, избегают тесного соседства с дорогой молодые птицы.

Насиживают кладку и вскармливают птенцов оба родителя. Когда одна птица с кормом приближается к гнезду, другая, слетев с него, следит за безопасностью. При приближении автомобиля сторожащая птица подает сигнал тревоги, а кормящая прячется на земле за деревьями. Человека птицы тоже боятся, но ведут себя иначе: поднявшись с гнезда, они с беспокойными криками летают на большой высоте. Птенцы, предупрежденные об опасности, обычно затаиваются в гнезде, а вылетевших птенцов от нападающих ворон защищают родители.

Судя по всему, сороки стали заселять новые районы потому, что в обычных местах зимой не могут найти достаточно корма, так как численность их постепенно увеличивается. Именно в зимний период сороки впервые залетели в Алуштинскую долину, и обнаружив там обилие пищи, а потом и пригодные для гнездования места, осели там и стали выводить птенцов.

## Загадки наскальной живописи

Читатель В. И. Соколов из Красноуральска спрашивает: «Каким образом люди научились рисовать, как появилась наскальная живопись?» Ответает кандидат философских наук В. М. Розин.

Ответ на этот вопрос, конечно же, весьма проблематичен, поскольку изображения людей и животных появились в то время, от которого не осталось письменных источников. Ученые предполагают, что это случилось уже в эпоху позднего палеолита (40—30 тыс. лет назад).

Наскальные изображения, как правило, представляют собой высеченный каменным орудием или нанесенный охрой контур зверя или человека. Животные обычно изображались в профиль, люди фронтально, пропорции фигур увеличены. В Джабарене (Сахара) найдено, например, шестиметровое изображение человека. Оно занимает всю стену пещеры, куда свет практически не проникает, голый нарисован на потолке. Позднее, начиная с 6—5 тысячелетия до н. э., лицо и ноги человека изображаются в профиль, а грудь и плечи фронтально, да и предметы рисуются как бы в разных проекциях.

Поставим мысленный эксперимент: погрузимся в атмосферу забот архаического человека (предупредив читателей, что наша реконструкция того, как человек научился рисовать, хотя и основана на некоторых реалиях давно прошедших времен, все же в значительной степени произвольна). Основная деятельность мужчин — охота, основной досуг — тренировка в стрельбе из лука или метании копья.

Мишенью для тренировок вполне могло быть какое-либо животное, добытое на охоте, например олень, бизон, антилопа, а то и человек — пленник. Животное ставили боком, а человека — фронтально. В эту мишень метали копья или стреляли из луков. Естественно предположить, что наконечники копий и стрел оставляли на поверхности скалы или стены, вблизи границы тела, отметки, выбоины. Затем мишенью могли быть шкуры животных, надетые на палки, или большой ком глины. Вполне возможно, что вскоре и эта модель разрушалась или использовалась в хозяйственных целях, а вместо разрушенной мишени использовали следы, оставленные на стене от ударов копий и стрел. Иногда животное или пленного обводили линией (чаще всего охрой) и оббивали такую обводную линию каменным орудием. В результате на поверхности оставался профильный контур животного или фронтальный — человека. Он не был ничем заполнен внутри, пропорции фигур были немного изменены, поскольку для целей тренировки в меткости обвод могли делать грубо.

Дальнейшее развитие техники обвода подсказывает Леонардо да Винчи. «Какова была первая картина?» — спрашивает он в «Книге о живописи» и отвечает: «Первая картина состояла из одной-единственной линии, которая окружала тень человека, отброшенную солнцем на стену». Освоив технику обвода животных и людей, древние художники стали обводить их тени, падающие на поверхность. Можно было, например, обвести тень человека от костра, которая начиналась на стене и заканчивалась на потолке.

По мере того как крепили глаз и руку, художники могли рисовать контуры людей и животных «на глазок». Такие случаи вытеснили затем технику непосредственного обвода. Сам же

рисунок из модели зверя и человека превратился в изображение. Древние охотники стали обращаться к ним как к живым существам. Вокруг подобных изображений устраивали ритуальные танцы, обращались к ним с просьбами и даже, рассердившись, изображения били, а изредка и уничтожали (замазывали краской), считая, что в них переселяются души изображенных животных и людей. Постепенно и рисовать их стали «как живых»: и глаза, и цвет шкур, и одежду людей, и внутренние органы. От простого обвода «на глазок» художники перешли к суммированию отдельных частей. Получали такой образ, вероятно, рассматривая предмет с разных сторон, обходя его; только при этом условии можно было узнать предмет обстоятельно. Именно так могли формироваться изображения-развертки, составленные из нескольких проекций, «перекрученные» люди и т. д.

Таким образом, рисовать человека «научили» обстоятельство, а также собственное мастерство и воображение.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ларуа-Гуран А. АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕЩЕРЫ ЛАСКО // В мире науки. 1983. № 2.

Столяр А. Д. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОГО ИСКУССТВА. М.: Искусство, 1985.

## Космические исследования

### Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1986 г.)

В мае—июне 1986 г. в Советском Союзе было запущено 24 космических аппарата, в том числе 19 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для исследования космического пространства. На «Космосе-1744» установлена научная аппаратура, с помощью которой проводятся эксперименты по космическому материаловедению. Научная аппаратура на «Космосе-1746 и -1757» предназначена для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация от них поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

Космический корабль «Союз ТМ», запущенный в беспилотном варианте, представляет собой усовершенствованный корабль новой серии для доставки экипажей на многоцелевые пилотируемые комплексы модульного типа. Цель его запуска — комплексная экспериментальная отработка корабля в автономном полете, а также совместно с орбитальной станцией «Мир».

Очередной спутник телевизионного вещания «Экран» оборудован ретрансляционной аппаратурой для передачи в дециметровом диапазоне волн программ Центрального телевидения СССР на сеть приемных устройств коллективного пользования. Эксплуатацию системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1742»	14.V	209	388	73	90,1
«Космос-1743»	15.V	657	678	82,6	97,8
«Союз ТМ»	21.V	200	240	51,6	88,6
«Космос-1744»	21.V	227	395	62,8	90,4
«Космос-1745»	23.V	984	1 024	83	104,9
«Экран»	24.V	35 500	35 500	0,3	1 424
«Метеор-2»	27.V	953	974	82,5	104,1
«Космос-1746»	28.V	195	308	82,3	89,2
«Космос-1747»	29.V	217	420	70,4	90,6
«Космос-1748—1755»*	6.VI	1 444	1 506	74	115,1
«Космос-1756»	6.VI	182	368	64,9	89,7
«Горизонт»	10.VI	36 540	36 540	1,5	1 474
«Космос-1757»	11.VI	189	252	82,3	88,6
«Космос-1758»	12.VI	644	682	82,5	97,8
«Космос-1759»	19.VI	985	1 016	82,9	104,9
«Космос-1760»	19.VI	218	421	70	90,6
«Молния-3»	20.VI	640	40 679	62,9	736

\* Спутники «Космос-1748,-1749,...,-1755» запущены одной ракетой-носителем.

СССР на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества обеспечивает также очередной спутник связи «Молния-3». Выведенный на близкую к стационарной круговую орбиту, спутник связи «Горизонт» запущен в соответствии с программой дальнейшего развития систем связи и телевизионного вещания с использованием ИСЗ.

На метеорологическом спутнике «Метеор-2» установлены комплексы аппаратуры для получения глобальных изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, а также радиометрическая аппаратура для непрерывных наблюдений за потоками проникающих излучений в околоземном космическом пространстве и необходимые служебные системы.

## Космические исследования

### Экспедиция на двух орбитальных станциях

В мае—июне 1986 г. космонавты Л. Д. Кизим и В. А. Соловьев продолжили работу в космосе.

5 мая был завершён первый этап полета станции «Мир» в пилотируемом режиме: в 16 ч 12 мин по московскому времени корабль «Союз Т-15» с экипажем отделился от орбитального комплекса «Мир» — «Прогресс-26» и начал сближение с научно-исследовательским комплексом «Салют-7» — «Космос-1686». Успешно выполнена эту операцию, 6 мая в 20 ч 58 мин «Союз Т-15» состыковался с орбитальной станцией «Салют-7». Впервые в

практике пилотируемых полетов выполнен перелет с одной орбитальной станции на другую.

На станции «Салют-7» космонавты продолжили научно-технические исследования и эксперименты, предусмотренные программой ее эксплуатации, а также провели ряд профилактических работ. В течение двух первых недель были проведены расконсервация станции, проверка функционирования всех систем и агрегатов, необходимые профилактические работы, в частности замена отдельных блоков, выработавших свой ресурс.

В конце мая космонавты два раза выходили в открытый космос. Первый выход состоялся 28 мая, работы продолжались 3 ч 50 мин. Отработывались методы сборки крупногабаритных конструкций, при этом в качестве типового элемента использовалась шарнирно-решетчатая ферма, доставленная на «Салют-7» в сложенном виде.

На одном из иллюминаторов рабочего отсека космонавты установили новый прибор для экспериментов по передаче телеметрической информации в оптическом диапазоне длин волн.

Во время первого выхода в открытый космос экипаж провел демонтаж кассет с образцами биополимеров и различных конструкционных материалов, длительное время находившихся на наружной поверхности станции, а также созданной советскими и французскими специалистами аппаратуры, предназначенной для сбора метеоритного вещества в космическом пространстве.

Второй выход в открытый космос состоялся 31 мая и продолжался 5 ч. Космонавты продолжили испытания шарнирно-решетчатой фермы, начатые 28 мая, и провели научно-технические и технологические эксперименты.

Во время второго этапа работ вне станции космонавты развернули ферму на длину 12 м и с помощью установленных на ней приборов провели оценку динамических характеристик ее конструкции. Одновременно исследовалась атмосфера вблизи орбитального комплекса.

Далее космонавты воз-

вратили ферму в исходное положение и демонтировали ее. Затем на внешней поверхности станции они установили аппаратуру для изучения влияния факторов открытого космического пространства на циклически нагружаемые образцы конструкционных материалов. С помощью портативной усовершенствованной электронно-лучевой установки провели технологические операции по сварке и пайке элементов ферменных конструкций.

Л. Д. Кизим и В. А. Соловьев впервые в мировой практике за время всех своих полетов 8 раз выходили в открытый космос; общая продолжительность их работы на внешней поверхности станции составила 31 ч 40 мин.

По программе геофизических исследований космонавты провели несколько серий экспериментов, включавших визуальные наблюдения, фотосъемку и спектрометрирование земной поверхности, изучение структуры атмосферы, определение ее оптических характеристик. В частности, наблюдались биосферные заповедники на территории Советского Союза. До 20 июня были сняты районы Украины, Краснодарского и Ставропольского краев, республик Закавказья, акватории Черного и Каспийского морей, а также другие районы территории Советского Союза и акватории Мирового океана.

С помощью аппаратуры «Мария» выполнено несколько серий экспериментов по измерению потоков электронов и позитронов высоких энергий с целью изучения механизмов генерации этих частиц в околоземном пространстве. Определялась также плотность аэрозольных слоев космического происхождения в земной атмосфере.

По программе биологических исследований проведены эксперименты на установках «Оазис», «Биогравиастат», «Светоблок», в них изучалось влияние искусственной силы тяжести и факторов орбитального полета на развитие высших растений.

Много времени космонавты уделяли медицинским исследованиям, в частности был выполнен ряд биохимических эк-

спериментов, в которых изучался механизм регуляции водно-солевого обмена и особенности углеводного обмена в организме человека, длительное время находящегося в невесомости.

Проведены работы с аппаратурой «Кристаллизатор», изготовленной специалистами Чехословакии и предназначенной для исследования процессов массо-, теплопереноса и кристаллизации различных материалов в условиях слабой гравитации.

После 20 июня космонавты начали работу по подготовке к возвращению на орбитальную станцию «Мир».

С. А. НИКИТИН

Москва

#### Космические исследования

### Ионные фонтаны в полярных каспах

Специалистов по физике магнитосферы давно волнует вопрос, каковы источники плазмы, «насевающей» магнитосферу Земли. Спутниковые измерения последних лет показали, что кроме главного источника — плазмы солнечного ветра, обтекающей магнитосферу, — важную роль играют и частицы, приходящие из ионосферы. Однако протоны ( $H^+$ ) присутствуют в обоих источниках, и определить, откуда они, довольно трудно. Установить источник плазмы в удаленной от Земли области магнитосферы можно по наличию в ней либо ионов кислорода  $O^+$  (ионосферный источник), либо  $\alpha$ -частиц (солнечный источник).

Комплекс ионосферно-магнитосферных связей, в том числе обмен заряженными частицами, исследовался в экспериментах на американском спутнике «Дайнемикс Эксплорер-1». Измерения велись на довольно низких высотах (менее 2 радиусов Земли) в 1981—1983 гг. Получены интересные данные об ионных фонтанах, бьющих из

ионосферы<sup>1</sup>. (Следует, однако, подчеркнуть, что сходные идеи уже высказывались в работах советских исследователей в экспериментах на спутнике «ОРЕОЛ» в советско-французском проекте АРКАД-3<sup>2</sup>.)

Основным местом фонтанирования кислородных ионов в ионосфере оказались полярные каспы. Каспы, или магнитосферные щели, представляют собой особые области магнитосферы — своеобразные воронки, где плазма солнечного ветра получает непосредственный доступ к Земле. Каспы расположены на высоких геомагнитных широтах около 78°. Силовые линии магнитного поля Земли, проходящие через них, разомкнуты и уходят в межпланетное пространство. Теперь обнаружено, что каспы — не только место вторжения солнечной плазмы, но и место фонтанирования ионосферной. Эффект фонтанирования, или убегания ионов от Земли, связан с тем, что самые легкие заряженные частицы, электроны, имеют возможность уйти вдоль магнитных силовых линий очень далеко от планеты. Происходит разделение зарядов, и возникающее электрическое поле «подтягивает» вслед за электронами и ионы. Вторгающиеся плазменные потоки «прогревают» полярный касп и его ионосферу, поэтому эффект электронного убегания и последующего ионного фонтанирования выражен там наиболее сильно.

В исследованиях на «Дайнемикс Эксплорер-1» рассмотрено и влияние ветра, «сдувающего» фонтанирующие частицы. Роль ветра выполняет магнитосферная конвекция — глобальная циркуляция магнитосферной плазмы. Ионы  $O^+$ , ушедшие достаточно далеко от ионосферы, подхватываются конвекционным движением и уносятся на ночную сторону магнитосферы. Если магнитосфера находится в «возбужден-

ном» состоянии, конвекция достаточно сильна, чтобы разнести фонтанирующие ионы  $O^+$  по всей ночной магнитосфере (как это и было обнаружено в эксперименте).

Влияние интенсивности конвекции (поперечного электрического поля) на распределение ионов  $O^+$ , а также  $He^+$ ,  $N^+$ ,  $O^{++}$  в обсуждаемой работе было рассмотрено также и численно. Результаты неплохо совпадали с данными наблюдений.

Л. М. Зеленый,  
кандидат  
физико-математических наук  
Москва

#### Астрофизика

### Механизм образования кометных лучей

С волокнистой структурой мы встречаемся при изучении самых различных явлений природы — от галактик до облаков. Кометные лучи — один из таких примеров, давно известный астрономам. Их подробный анализ был выполнен в 1973 г. при исследовании кометы Когоутека<sup>1</sup>. Наблюдались кометные лучи и совсем недавно: во время пролета кометы Галлея. Они зарождаются где-то в голове кометы, затем вытягиваются солнечным ветром вниз в направлении от Солнца и постепенно (подобно спицам закрываемого зонтика) прижимаются к оси кометного хвоста.

Модель образования кометных лучей, качественно описывающая их структуру и эволюцию, недавно предложена Р. Вольфом (R. Wolff; Калифорнийский университет, США). Во многом она опирается на результаты, полученные при исследовании магнитосферы Венеры<sup>2</sup>. Это неудивительно, ведь взаимодействие солнечного ветра с

Венерой можно рассматривать как предельный случай взаимодействия с кометой: у обоих тел имеется проводящая ионосфера и нет собственного магнитного поля, только выделение газа кометой из-за малой силы тяжести на много порядков превышает венерианское.

В космическом пространстве вблизи Венеры был обнаружен интересный тип магнитных «волокон», который из-за своей скрученности получил название магнитных жгутов<sup>3</sup>. Кометные лучи, по-видимому, представляют собой те же самые магнитные жгуты, только они еще светятся из-за гораздо большей плотности содержащегося в них вещества и потому оптически наблюдаемы. Лучи образованы потоками ионов, выходящими из ионосферы кометы. Поток ионов направлен вдоль трубок силовых линий межпланетного магнитного поля, «обтягиваемых» вокруг кометы солнечным ветром. Граница кометной ионосферы, вдоль которой движется такой поток, может оказаться неустойчивой, подобие морской поверхности, вдоль которой дует сильный ветер. Из-за неустойчивости часть магнитных трубок «проваливается» внутрь ионосферы (на Венере именно они и наблюдаются как магнитные жгуты), а их концы увлекаются солнечным ветром и постепенно прижимаются к оси хвоста кометы.

Плазма в кометной ионосфере из-за сильных соударений с нейтральными частицами может довольно быстро диффундировать поперек магнитного поля, так что центральная часть трубки постоянно пополняется свежей кометной плазмой, которая затем растекается и образует видимый поворачивающийся пучок в форме волокна (луч). Разнообразие лучевых волокон у комет авторы модели связывают как с различным удалением комет от Солнца, так и с вариациями в направлении межпланетного магнитного поля.

Geophysical Research Letters. 1985. Vol. 12. № 11. P. 749—752 (США).

<sup>1</sup> Lockwood M. et al. // J. Geophys. Res. 1985. Vol. A 90. № 10. P. 9736—9748.

<sup>2</sup> Zinin L. V., Galperin Y. I. et al. // The book of results of ARCAD-3 project. Toulouse, 1985. P. 409.

<sup>1</sup> Jockers K. // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. 1985. Vol. 62. P. 791—838

<sup>2</sup> Вайсберг О. Л., Зеленый Л. М. Взаимодействие солнечного ветра с Венерой // Природа. 1983. № 6. С. 26—31.

<sup>3</sup> Зеленый Л. М. Магнитные жгуты в ионосфере Венеры // Природа. 1984. № 2. С. 104—105.

## Метеоритика

**Падение метеоритов на людей и здания**

В истории нашей планеты известны падения гигантских метеоритов, вызывавшие катастрофические изменения на Земле. Например, считается, что около 60 млн лет назад падение метеорита массой в миллиарды тонн привело к вымиранию многих видов животных<sup>1</sup>. Глобальные явления, связанные с Тунгусской катастрофой, произошедшей в 1908 г., часто объясняют столкновением с Землей небольшой кометы.

Играют ли какую-либо роль в жизни людей падения значительно более мелких метеоритов? Этим вопросом задались И. Холлидей, А. Блекуэлл и А. Гриффин (J. Halliday, A. Blackwell, A. Griffin; Институт астрофизики Национального исследовательского управления Канады).

На протяжении 9 лет с помощью 60 фотокамер они вели наблюдения в западной части Канады. Накопленные данные позволили рассчитать частоту падения метеоритов на Землю в зависимости от их массы. При этом предполагалось, что общая масса метеорита вдвое больше массы наибольшего из осколков, зафиксированных камерой. Оказалось, что в среднем в год на миллион квадратных километров суши падает примерно 39 метеоритов массой не менее 100 г. каждый (т. е. на всю поверхность суши Земли — 5800 метеоритов).

Какова вероятность того, что метеорит падает в человека или здание? Авторы сделали ряд допущений: каждый человек занимает площадь 0,2 м<sup>2</sup>; наименьший осколок метеорита, о котором сообщает при его падении в человека, весит не более нескольких граммов; в типичном случае метеорит распадается на 5 главных осколков; осколки более 200 г

обычно пробивают крышу и потолок; если общая масса метеорита 500 г, каждый из 5 осколков может пробить крышу, но осколки меньшей массы не сделают этого; жители Северной Америки проводят 95 % времени под крышей; общая площадь зданий составляет 50 м<sup>2</sup> на каждого человека.

На основании этих допущений была рассчитана средняя частота попадания метеоритов в людей для США и Канады с населением около 250 млн человек; она составила 0,0055 ударов для всего населения в течение года, или одно прямое попадание в человека за 180 лет. Гораздо чаще метеориты, естественно, падают на здания — в год 0,8 ударов, приводящих к повреждению крыши.

Соответствует ли расчет наблюдениям? Единственный, подтвержденный документально, случай попадания метеорита в человека произошел 30 ноября 1954 г. в США в небольшом городке штата Алабама: фрагмент каменного метеорита массой 3,9 кг, пробив крышу и потолок, поразил спящую женщину. Итак, в соответствии с расчетами, прямое попадание метеорита в человека — очень редкое событие.

Падения метеоритов на крыши зданий наблюдаются. Так, за последние 20 лет сообщалось о 16 находках свежесвыпавших метеоритов в США и Канаде. 7 из них вызвали заметные повреждения зданий — обычно, крыш домов и гаражей. Два других падения не повредили крыш из-за малой массы метеоритов, а один метеорит массой 1,3 кг угодил в почтовый ящик и сильно деформировал его. Если учесть, что часть метеоритов падает на крыши общественных и промышленных зданий, где на них вряд ли обращают внимание, предсказанная частота (0,8 прямых падений в год или 16 за 20 лет) вполне удовлетворительно подтверждается наблюдениями.

Экстраполируя полученные данные на население Земли и все континенты, авторы пришли к выводу, что из 5 млрд жителей Земли 1 человек каждые 10 лет становится жертвой прямого попадания метеорита

массой не менее 100 г. Каждый год метеориты пробивают крышу 16 зданий на Земле.

Nature. 1985. Vol. 318. № 6044. P. 317—318 (Великобритания).

## Планетология

**Куда исчез ксенон Земли!**

Для сохранившихся с начальных стадий эволюции планетной системы углистых хондритов характерны очень устойчивые, типичные соотношения концентраций благородных газов. Они отличаются от соотношений тех же газов в экзосфере Солнца и близки к соотношениям на планетах. Поэтому метеоритные благородные газы, в отличие от солнечных, назвали планетарными. Для них характерно постепенное уменьшение распространенности от гелия к ксенону в 100 тыс. раз. Примерно такое же уменьшение распространенности обнаружено в газах атмосфер Венеры и Марса.

Благородные газы земной атмосферы также следуют этой закономерности, с двумя исключениями. Во-первых, в атмосфере Земли наблюдается дефицит гелия. Объясняется это тем, что гравитационное поле планеты не может удерживать атомы гелия и он рассеивается в космическое пространство. Во-вторых, атмосфера Земли содержит ксенона в 23 раза меньше, чем «планетарные газы».

Куда же исчез ксенон Земли? Он не растворился в воде Мирового океана, так как там его всего 4 % от количества ксенона атмосферы. Не содержится исчезнувший ксенон и в осадочных породах, как подозревали прежде: способность их к поглощению ксенона не столь большая, чтобы ею можно было объяснить дефицит ксенона в атмосфере.

Предполагается, что ксенон, в отличие от других благородных газов, не выделился в атмосферу при дегазации мантии или же что он в ходе переноса материала коры в нижележащие горизонты верхней мантии попадает туда с этим материалом. Но эксперимен-

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: Чуянов В. А. Следы космической катастрофы // Природа. 1982. № 3. С. 31—33.

тальные данные последних лет показали, что концентрация ксенона в породах мантии очень низка.

А не содержится ли «исчезнувший» ксенон в ледниковых льдах? Американские исследователи Т. Бернатович, Ф. Подосек и Б. Кеннеди (Т. Bernatowicz, F. Podosek, B. Kennedy; Вашингтонский и Калифорнийский университеты) экспериментально проверили эту возможность. Хотя ледниковых льдов на Земле относительно немного (2 % от массы морской воды или глинистых осадочных пород), ксенон может эффективно концентрироваться во льдах. Лед образуется на ледниках из снега. А поскольку удельная поверхность снега очень велика, можно было предполагать интенсивную сорбцию ксенона на снежинках при низких температурах и последующее захоронение его в толще ледников.

Во время экспедиции 1985 г. по поискам метеоритов в Антарктиде были взяты 5 проб льда с ледников. Концентрация ксенона в них оказалась очень низкой — в 8 тыс. раз ниже той, которая требовалась для объяснения дефицита ксенона в земной атмосфере вследствие поглощения его антарктическими и арктическими льдами. Итак, и эту гипотезу исчезновения ксенона Земли следует отбросить.

Последняя возможность объяснения дефицита ксенона в атмосфере Земли — предположить, что ксенон Земли и планетарный ксенон углистых хондритов имеют различное происхождение. В пользу этого говорит также резкое различие изотопного состава ксенона атмосферы и углистых хондритов.

Полученные данные — еще одно свидетельство того, что общепринятая гипотеза об углистых хондритах как носителях летучих Земли неверна, и ксенон Земли (типичный летучий элемент) напрямую отношения к ксенону углистых хондритов не имеет. Это очень важный вывод, заставляющий по-новому рассмотреть процесс образования Земли из первичного протопланетного вещества. *Geochemica et Cosmochemica Acta*. 1985. Vol. 49. № 12. P. 2561—2564 (Великобритания).

## Физика

### Резонанс в осцилляциях нейтрино

С. П. Михеев и А. Ю. Смирнов (Институт ядерных исследований АН СССР) теоретически обосновали, что в веществе при определенных условиях должно происходить резонансное усиление осцилляций нейтрино. В среде с изменяющейся плотностью резонансный эффект может приводить к почти полному и необратимому превращению одного типа нейтрино в другой.

Осциллирующие нейтрино, например  $\nu_e \leftrightarrow \nu_{\mu}$ , представляют собой систему двух слабосвязанных осцилляторов, периодически передающих друг другу свои колебания. В среде нейтрино испытывают упругое рассеяние на электронах и ядрах, которое приводит к появлению показателей преломления у волн, описывающих движение нейтрино. Это эквивалентно изменению собственных частот осцилляторов. Среда не симметрична по отношению к осциллирующим компонентам: например,  $\nu_e$  и  $\nu_{\mu}$  по-разному рассеиваются на электронах, следовательно, частоты осцилляторов изменяются по-разному. При некоторой плотности, определяемой энергией нейтрино, эти частоты совпадают, и в системе осциллирующих нейтрино наступает резонанс — максимальное эффективное смешивание нейтрино. Влияние материи можно описать в терминах эффективных масс нейтрино, которые зависят от плотности среды. Резонанс соответствует равенству эффективных масс  $\nu_e$  и  $\nu_{\mu}$ .

Проявления резонанса зависят от характера изменения плотности вещества. Если плотность постоянна и на объект падает поток нейтрино с непрерывным энергетическим спектром, то при определенной (резонансной) энергии осцилляции будут происходить с максимальной глубиной. При этом шири-

на резонанса пропорциональна углу смешивания в вакууме (который характеризует жесткость связи между осцилляторами). В среде с медленно меняющейся плотностью (что важно для приложений) наблюдается адиабатический режим осцилляций: усредненная вероятность обнаружить нейтрино исходного типа уменьшается или увеличивается вслед за уменьшением или увеличением плотности. Значительные превращения в нейтринном потоке происходят, когда начальная и конечная плотности сильно различаются и нейтрино в процессе распространения пересекают резонансный слой. Чем больше начальная плотность по сравнению с резонансной и чем меньше вакуумное смешивание, тем меньше глубина осцилляций около среднего положения и тем больше фактор подавления потока рождаемых нейтрино на выходе из объекта. При очень больших начальных плотностях распространение нейтринного пучка в среде представляет собой безосцилляционный переход одного типа нейтрино в другой.

Существование резонанса зависит от относительных знаков амплитуд рассеяния и разности квадратов масс нейтрино. Поэтому для конкретной среды резонанс наступает только для нейтрино или антинейтрино. Кроме того, в вакууме полный или близкий к полному переход нейтрино происходит только в случае максимального смешивания. В среде это возможно при малых смешивающих углах. И еще одно различие: в вакууме на заданном расстоянии полный переход происходит только при определенных дискретных значениях энергии. В среде такое превращение в пучке нейтрино возможно в широком интервале энергий, определяемом разностью плотностей: начальной — в точке генерации нейтрино — и конечной — на выходе из слоя вещества.

Влияние материи становится существенным лишь при больших ее толщах. Поэтому область приложений резонансного эффекта — нейтринная астрофизика и геофизика (Солнце, оболочки коллапсирующих звезд, Земля и др.).

Значительный переход  $\nu_e$

<sup>1</sup> Об этом см.: Bethe H. // *Phys. Rev. Lett.* 1986. Vol. 56. P. 1305—1308.

в  $v_\mu$  или  $v_\tau$  позволяет объяснить результаты хлор-аргонового эксперимента Р. Дэвиса по детектированию солнечных нейтрино<sup>2</sup>. Малая скорость счета (по сравнению с предсказанием стандартной модели Солнца) связана с тем, что  $v_\mu$  и  $v_\tau$  низких энергий не переводят хлор в аргон.

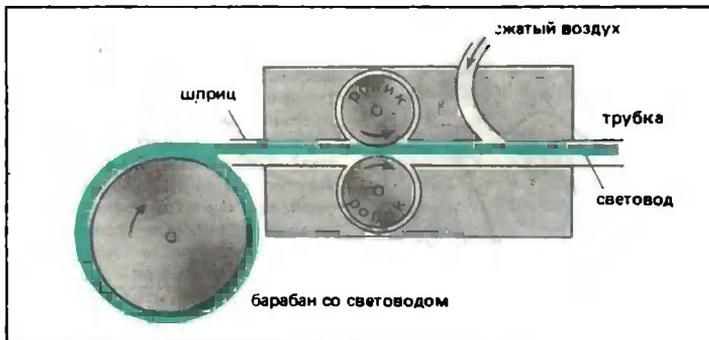
Полная нейтринная спектроскопия Солнца, предполагающая проведение галлиевого и других радиохимических экспериментов, а также экспериментов, основанных на прямых электронных методах регистрации, позволит, во-первых, установить, происходит ли в Солнце резонансное превращение нейтрино, и, во-вторых, практически однозначно определить массы нейтрино и параметры их смешивания.

Ядерная физика. 1985. Т. 42. С. 1441—1448; ЖЭТФ. 1986. Т. 91. Вып. 1. № 7. С. 7—13.

Физика

**Световоды «вдуваются» в кабель**

П. Йеннадью, С. Кэссида, С. Хорнунг и М. Риви (P. Yennadhiou, S. Cassidy, S. Hornung, M. Reeve; «Бритиш-Телеком-Ризерч-Лэбс», Ипсвич, Великобритания) разработали новую технологию введения волоконно-оптических компонентов в кабельную оболочку. Вначале кабель, содержащий значительное число полиэтиленовых трубок, представляющих собой оболочки для волоконных световодов, изготавливается по обычной технологии. Затем в каждую из полиэтиленовых трубок с помощью сжатого воздуха вдувается миниатюрный гибкий оптический мини-кабель, содержащий несколько световодов. Втягивающей силой является гидростатическая сила, или сила плавучести, обусловленная падением



Устройство для вдувания световода в кабель с помощью сжатого воздуха. Световод протягивается резиновыми роликами, создающими постоянный момент вращения, достаточный для компенсации падения давления в вакуумном шприце и для сматывания световода с барабана. Поток сжатого воздуха подхватывает световод и протягивает его по трубке.

давления вдоль трубки, совместно с чисто вязкой составляющей, обусловленной «царапающим» трением на поверхности мини-кабеля. Сила распределена вдоль всей длины кабеля, так что большие напряжения на концах световодов, характерные для технологии обычного протягивания, отсутствуют. В то же время изгибы кабеля, даже с поворотом на 90°, и вертикальные участки не представляют особых трудностей для изготовления.

Втягивающая сила и, следовательно, максимальная достижимая длина протягивания зависят от градиента давления воздуха, диаметра трубок и световодов. Эксперименты показали, что световодный мини-кабель длиной 600 м может быть введен в трубку диаметром 6 мм при давлении сжатого воздуха 10 атм. Описанная техника позволяет протягивать световоды через разветвляющиеся участки кабеля, избегая соединений в местах разветвления, что сильно упрощает монтаж разветвленной цепи.

С помощью нового метода были связаны световодными кабелями здания, содержащие ЭВМ, в Лидсе. Максимальная расчетная деформация световода при длине 500 м составила 0,08 % на одном конце и нуль на другом. Эксперименты пока-

зали, что реальная деформация вряд ли должна быть больше; значительная часть ее является обратимой и исчезает при окончании процесса введения световода. Столь малая деформация гарантирует небольшую вероятность усталостного обрыва. Даже влажные световоды, для которых вероятность обрыва повышается, должны выдерживать не менее 20 лет эксплуатации. Это позволяет снизить требования к условиям их работы, в частности не нужно защищать кабель от воды.

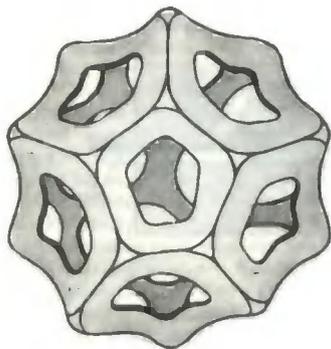
Laser Focus. 1986. Vol. 22. № 3. P. 56—58 (США).

Техника

**Крупногабаритные зеркала из пористых материалов**

Основные проблемы, с которыми сталкиваются конструкторы при создании больших оптических зеркал (диаметром 1 м и больше), — уменьшение их веса и термостабилизация оптической поверхности при одностороннем нагреве. Для облегчения зеркала обычно используют не монолитный жесткий материал, а конструкцию, представляющую собой две пластины (одна из них имеет зеркальную поверхность), жестко соединенные ребристым каркасом, который образует структуру из правильных шестиугольников, треугольников или квадратов. Такие зеркала удается облегчить по сравнению с монолитным зеркалом тех же раз-

<sup>2</sup> Подробнее об этом см.: «Главное — мы видим сигнал от солнечных нейтрино». (Интервью с Р. Дэвисом) // Природа. 1983. № 8. С. 70—74.



Элементарная ячейка пористого материала, представляющая собой полнэдр.

меров и жесткости в 2,5—4 раза. В результате зеркало диаметром, например, в 1 м будет весить всего 300 кг.

Чтобы еще уменьшить вес зеркала, в Институте общей физики АН СССР стали создавать крупногабаритные зеркала из пористых материалов. Зеркало диаметром 1 м состоит из корпуса, изготовленного из пористой меди, верхней зеркальной пластины толщиной 5 мм из монокристаллической меди и нижней пластины, также толщиной 5 мм, из нержавеющей стали. Общая толщина такого зеркала составляет 100 мм, вес — 150 кг.

Вес пористой меди, из которой изготовлен корпус зеркала, составляет всего 17 % от веса монокристаллической меди, занимающей тот же объем. Размер элементарной пористой ячейки примерно равен 1,5 мм.

Сейчас можно получать пористые материалы из металлов и их сплавов с пористостью, достигающей до 98 % и размером ячеек от десятка микрон до десятков миллиметров. Элементарная ячейка такого материала представляет собой полнэдр (см. рис.); их укладка близка к плотной упаковке шаров; в среднем каждая ячейка имеет 12 соседней и столько же граней. Материал основы сосредоточен в матричном каркасе из трехгранных ребер-перемычек, которые сами также являются полыми и как бы сообщаются внутренними каналами, что еще больше увеличивает пористость

материала и, следовательно, уменьшает вес зеркала.

Главное преимущество рассматриваемых структур по сравнению с известными пористыми материалами (типа порошковых, войлочных, сетчатых) — их высокая удельная жесткость и изотропность свойств. Изготовление из них зеркал позволяет успешно решать и вопросы термостабилизации, так как пористость материала открытая.

Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 22. С. 1350—1354.

#### Биофизика

### Диагностика опухолей по свечению

Диагностика злокачественных новообразований занимает одно из центральных мест в онкологии. Интересен в этом отношении флуоресцентный метод, основанный на способности опухолевых клеток избирательно поглощать и накапливать вводимые в организм флуоресцентные соединения. Сотрудники НИИ ядерной физики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова Н. Н. Дзевановский, В. И. Полсачев, А. Т. Рахимов и Л. Б. Рубин использовали для окрашивания злокачественных клеток диатриевую соль флуоресцеина — хорошо растворимый в воде краситель, характеризующийся высоким квантовым выходом флуоресценции. Важно, что флуоресцеин натрия нетоксичен. Это дало возможность провести опыты в клинических условиях.

С помощью разработанной авторами волоконно-оптической системы исследована флуоресценция тканей человека. Благодаря использованию световодов изучались не только поверхностные ткани, но и расположенные в полости тела. Разрешающая способность установки позволяет надежно регистрировать области размером до 0,5 мм. На черном или темном фоне свечения нормальной ткани отчетливо проявились участки ярко-салатового

свечения, соответствующего по спектру флуоресценции натрия.

Во всех случаях обнаружения таких участков из зон флуоресценции и ближайшего окружения брали пробы для детального анализа. Многочисленные эксперименты показали 100 %-ную корреляцию между способностью ткани накапливать флуоресцеин натрия и ее злокачественностью. Это соединение медленно выводится из организма и обнаруживается по свечению вплоть до 5—7 суток после введения раковым больным, тогда как концентрация его в моче здоровых людей снижается в 10 тыс. раз уже на третьи сутки. Полученные данные позволяют сделать вывод о высокой эффективности флуоресцеина натрия при диагностике рака.

Доклады АН СССР. 1986. Т. 287. № 6. С. 1478—1481.

#### Молекулярная биология

### Механизм включения онкогена

Проблема регуляции экспрессии (т. е. включения и выключения) онкогенов в ходе нормального развития клетки оказалась в центре внимания всех специалистов, так или иначе связанных с изучением аппарата наследственности<sup>1</sup>.

Исследователи из лаборатории молекулярной биологии в Гейдельберге (ФРГ) под руководством Р. Мюллера (R. Müller) изучили регуляторные механизмы экспрессии клеточного онкогена *c-fos* в клетках амниона (зародышевой оболочки) мыши. В организме эти клетки постоянно вырабатывают белковый продукт онкогена *c-fos*, а при выращивании в искусственных условиях экспрессия гена (а вместе с ней и синтез белка)

<sup>1</sup> Клеточные онкогены — нормальные гены, способные при определенных условиях активироваться, изменять свойства клетки и превращать ее в злокачественную.

постепенно уменьшается и в конце концов прекращается вовсе. Несмотря на утрату белка *c-fos*, клетки продолжают нормально расти и делиться.

Авторы предположили, что экспрессия этого гена зависит от стимулирующего влияния факторов внешней среды, т. е. микроокружения амниотических клеток. Для проверки гипотезы в культуральную среду клеток амниона добавляли среду, в которой предварительно выращивали клетки плаценты или зародыша. Расчет исследователей оправдался — амниотические клетки сохраняли способность вырабатывать белок *c-fos* даже при длительном культивировании.

На следующем этапе работы синтез этого белка останавливали, помещая клетки в обычную среду, а затем вновь «включали», добавляя среду от плаценты или клеток зародыша. Таким образом, впервые появилась возможность выделить внешний для клетки фактор, регулирующий экспрессию гена, и не простого, а онкогена. Возможно, выяснение этого фактора позволит распутать всю цепочку регуляции экспрессии, а вслед за этим, научиться управлять синтезом белков.

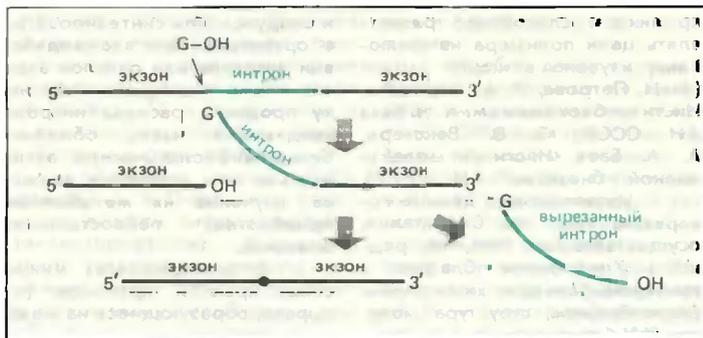
The EMBO Journal. 1986. Vol. 5. № 2. P. 311—316 (ФРГ).

Биохимия

**Каталитические свойства РНК**

Ферментативная активность РНК впервые была обнаружена Т. Чехом (Т. G. Cech) и его сотрудниками из Университета штата Колорадо (США) при изучении рибосомальной РНК инфузорий из рода тетрахимен<sup>1</sup>. К настоящему времени завершён целый ряд исследований по этой проблеме.

Процесс транскрипции (перевода информации с ДНК



Вырезание (сплайсинг) интрона из цепи рРНК инфузории под воздействием ГТФ (обозначенного G—OH).

на РНК) завершается так называемым сплайсингом, удалением из предшественника, про-РНК, в точности воспроизводящей цепь ДНК, интронов (участков цепи, не кодирующих белки). Обычно вырезание интронов из цепи про-РНК катализируется особыми белковыми ферментами. В экспериментах Т. Чеха удаление одного из интронов происходило без таких ферментов — лишь при добавлении производных гуанозина (на рис. G—OH) в микромолярных количествах. Остаток G—OH присоединялся к 5'-концу интрона, и цепь РНК разрывалась точно на границе кодирующего участка (экзона) и некодирующего интрона. Затем другой конец интрона отщеплялся от следующего экзона, а оба экзона снова объединялись в одну цепь. Все эти реакции не требуют дополнительной энергии и являются термодинамически нейтральными.

К удивлению исследователей, выяснилось, что после сплайсинга вырезанный интрон обладает ферментативными свойствами: при добавлении к олигорибонуклеотидам он гидролизует их. В особых условиях — при нагревании до 95 °С в присутствии ионов магния и последующем охлаждении — интрон способен к полимеризации безо всяких катализаторов. Очевидно, что способность к образованию длинных молекул РНК из интрона обусловлена самой его структурой. Более того, недавно в лаборатории Т. Чеха установлено,

что под влиянием этого же интрона можно получать из пентацитидиловой кислоты кроме ее три- и тетрамеров более длинные молекулы длиной до 30 аминокислотных остатков. Стало ясно, что интрон рРНК способен служить катализатором для большого числа субстратов.

Очень важно, что биокаталитические свойства интрона сохраняются и в живой клетке. Это доказано опытами, в которых соответствующий интронный участок ДНК был встроен в ген, кодирующий фермент β-галактозидазу кишечной палочки. Такая модификация гена должна была бы сделать его неактивным, т. е. привести к прекращению синтеза фермента. Однако, когда ген фермента со встроенным интронном вводили в бактериальную клетку, синтез фермента все же происходил. Объясняется это тем, что и в данном случае интрон был способен катализировать реакцию своего вырезания из про-РНК. При этом процесс шел столь точно, что разведенные участки мРНК воссоединялись с полным восстановлением ее способности кодировать β-галактозидазу.

На наличие каталитических свойств у РНК указывают также результаты опытов с рядом ферментов, в состав которых входит не только белок, но и РНК. Наиболее изучена так называемая РНК-аза Р, которая осуществляет сплайсинг всех транспортных РНК. Хотя белковая часть этого фермента и способствует ферментативной активности, специфичность катализа обуславливается нуклеиновой кислотой. Известно уже несколько таких комплексных ферментов. Химическое строение одного из них, выделенного из мышц

<sup>1</sup> Может ли РНК быть ферментом? // Природа. 1983. № 8. С. 106.

кролика и способного разветвлять цепи полимера из  $\alpha$ -глюкана, изучено в нашей стране (А. Н. Петрова, Г. А. Корнеева, Институт биохимии им. А. Н. Баха АН СССР; Т. В. Векстерн, А. А. Баев, Институт молекулярной биологии АН СССР).

Накопившиеся данные говорят о том, что биокатализ, осуществляемый РНК, не редкость. Хотя белки обладают в принципе большим химическим разнообразием, структура молекул РНК более подвижна и может как бы подстраиваться к большему числу субстратов. Исследования в этом направлении должны оказать влияние на понимание проблем происхождения жизни. Можно предположить, что молекулы РНК, способные к самовоспроизведению и обладающие каталитическими свойствами, были первыми биополимерами. Позже они могли присоединять аминокислоты и короткие пептиды, что способствовало стабильности молекул РНК и усиливало их каталитические свойства. Дальнейшая эволюция таких комплексов шла, вероятно, по линии усложнения белкового компонента и появления самостоятельных белковых молекул. Science. 1985. Vol. 228. № 4700. P. 719—722; Vol. 229. № 4718. P. 1060—1064; 1986. Vol. 231. № 4737. P. 470—476 (США); Biossays. 1986. Vol. 4. № 2. P. 56—61 (Великобритания).

#### Биохимия

### Механизм действия канцерогенов

Группа сотрудников НИИ по биологическим испытаниям химических соединений Министерства медицинской и микробиологической промышленности под руководством А. Н. Саприна исследовала метаболизм нитрозосоединений (НС) — органических веществ, в которых нитрозогруппа —  $N=O$  непосредственно связана с атомом углерода. Эти чужеродные для организма биологические активные соединения обладают ярко выраженной канцерогенностью и мутагенностью. Они могут попадать в организм с пищей

и воздухом или синтезироваться в организме при взаимодействии нитритов или окислов азота с аминами и амидами. Поскольку продукты распада нитрозосоединений часто обладают большей биологической активностью, чем исходные вещества, изучение их метаболизма приобретает первостепенное значение.

В экспериментах микросомы крыс и кроликов (пузырьки, образующиеся из мембран гомогенизированной печени) подвергали действию нитрозометилмочевины и других НС. Продукты воздействия исследовали методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) с помощью спиновых ловушек (веществ, образующих стабильные соединения со свободными радикалами). Установлено, что при распаде НС в печени образуются метаболиты свободнорадикальной природы — короткоживущие аминные радикалы. Анализ сверхтонкой структуры спектров ЭПР позволил определить строение образующихся радикалов, которые, по мнению авторов, и служат причиной канцерогенности НС.

Последующие опыты показали, что антиоксиданты значительно снижают образование свободных радикалов при метаболизме таких сильных канцерогенов, как диметил- и диэтилнитрозамины. При введении крысам антиоксиданта бутилгидрокситолуола, а затем диэтилнитрозамина выживало 100% животных. Это подтверждает предположение Н. М. Эмануэля, выдвинутое еще в 1958 г., о том, что вещества, способные связывать свободные радикалы, должны препятствовать развитию злокачественных новообразований.

Доклады АН СССР. 1986. Т. 286. № 5. С. 1182—1185, 1264—1268

#### Иммунология

### Новый вид вакцин

Применяемые сейчас для профилактики инфекционных заболеваний вакцины имеют ряд

недостатков. Если используются убитые бактерии, есть некоторая опасность воздействия на организм токсинов, содержащихся в бактериальных клетках. Определенный риск существует и при введении живых ослабленных штаммов. Поэтому ведутся постоянные поиски новых подходов к вакцинации. Очень интересна в этом отношении возможность применения так называемых анти-идиотипических вакцин.

На введение чужеродных молекул (антигенов) организм отвечает синтезом антител, способных образовывать комплекс с этими антигенами. Связывается с антигеном определенный участок молекулы антитела, построенный из аминокислотных остатков так называемых вариабельных областей и называемый идиотипом. Если ввести эти антитела (обозначим их АТ-1) в качестве антигена другому животному, то его организм будет синтезировать антиантитела (или АТ-2). Часть из них будет реагировать с тем же участком АТ-1 (идиотипом), с которым контактирует исходный антиген. Таким образом, с одним и тем же идиотипом могут специфически реагировать как антиген, так и АТ-2.

Можно поэтому предположить, что реагирующие с идиотипом участки антигена и АТ-2 очень сходны по своей пространственной структуре. Если это так, нельзя ли применить АТ-2 вместо антигена при иммунизации для выработки антител типа АТ-1? Модельные эксперименты лауреата Нобелевской премии Н. К. Эрне показали, что действительно при введении животного АТ-2 происходит синтез антител, способных реагировать с исходным антигеном, хотя иммунная система животного никогда с ним не встречалась.

Р. Кеннеди (R. C. Kennedy) и Г. Дрисмен (G. R. Dreesman) из Юго-Западного центра биомедицинских исследований (Техас, США) показали, что введение антител типа АТ-2, заменяющих поверхностный антиген вируса гепатита В, создает иммунитет против гепатита у мышей. Антигенность таких же антител подтверждена в лаборатории А. Ройта (I. M. Roitt;

Медицинская школа Мидлсексской больницы, Лондон). В опытах Р. Финберга и сотрудников (R. W. Finberg; Гарвардская медицинская школа, США) установлена действенность метода в отношении энцефалита лошадей и трипаносомиаза мышей, а также заболевания, вызываемого у мышей вирусом Сандай.

Дальнейшие исследования должны выяснить эффективность безантигенных анти-идиотипических вакцин в предупреждении различных инфекций и возможности их применения для иммунизации людей.

International Review of Immunology. 1986. Vol. 1. № 1. P. 1—90. (США).

Иммунология

**Необычное формирование гена**

Специфичность рецепторов Т-лимфоцитов, распознающих антигены, определяется переменными участками этих белков. Гены, кодирующие переменные участки, строятся в ходе развития лимфоцита из двух или трех сегментов ДНК. В настоящее время интенсивно изучаются механизмы, приводящие к объединению таких сегментов в единый переменный ген. Французские исследователи из Иммунологического центра в Марселе, возглавляемые В. Малиссеном (V. Malissen) вместе с американскими иммунологами из Чикагского университета и Калифорнийского технологического института обнаружили необычный вариант соединения V- и D-сегментов ДНК при образовании переменного гена одной из полипептидных цепей рецептора Т-лимфоцитов.

Как правило, синтез РНК на цепи ДНК (транскрипция) идет в направлении от конца ДНК, содержащего 5'-углеродный атом рибозы, к концу, содержащему 3'-углеродный атом рибозы. В этом отношении гены в цепи ДНК ориентированы в одном направлении. Однако при изучении первичной структуры сегментов ДНК, кодирующих Т-рецепторы, неожиданно вы-

яснилось, что до соединения V-сегмент гена рецептора ориентирован противоположно D-сегменту. Тем не менее после соединения V- и D-сегментов в Т-лимфоцитах оба они ориентированы в одну сторону.

Очевидно, перед присоединением к D-сегменту V-сегмент должен «перевернуться» (инвертироваться). Возможно, такой механизм присущ не только генам Т-рецепторов, но и генам иммуноглобулинов при объединении некоторых их V-сегментов с соответствующими J-сегментами. Обнаруженная инверсия представляет большой интерес, поскольку по некоторым данным аномальные процессы инверсии могут быть причиной ряда хромосомных нарушений.

Nature. 1986. Vol. 319. № 6048. P. 12—13, 33—38 (Великобритания).

Медицина

**Сердце обезьяны — ребенку**

Врожденное недоразвитие левого желудочка сердца — это тяжелый дефект развития сердечно-сосудистой системы у новорожденных. Большинство детей с этим пороком умирает в течение первого месяца жизни. Реконструктивные хирургические операции малоэффективны, а пересадка человеческого сердца в этих случаях, как правило, неосуществима из-за огромных трудностей в поисках донора.

Американские кардиохирурги Л. Бейли, С. Хельсен и другие (L. L. Bailey, S. L. Nehlsen et al; Медицинский центр университета в Лома, Калифорния) впервые предприняли попытку пересадки сердца молодой обезьяны (бабуина) девочке 2-недельного возраста с недоразвитым левым желудочком. Состояние ребенка было очень тяжелым, в период подготовки к операции жизнь ее поддерживалась искусственной вентиляцией легких и внутривенными вливаниями питательных смесей. Родители, узнав о несовместимом с жизнью пороке развития де-

вочки, дали согласие на операцию.

Подбор донора среди бабуинов проводился по целому ряду иммунологических показателей. Операция трансплантации была проведена успешно. Состояние ребенка в течение первых дней после операции улучшилось, была прекращена искусственная вентиляция легких, начато питание через рот. Проводились инфузии циклоспорина А — нового высокоэффективного лекарства, препятствующего отторжению трансплантата. Поиски человеческого донорского сердца продолжались, но были безрезультатными.

Через 20 дней после операции ребенок умер вследствие прогрессирующего некроза острой почечной и легочной недостаточностью. Хирурги считают, что необходимо дальнейшее изучение примененного метода лечения. Очевидно, что технически пересадка сердца обезьяны новорожденному вполне осуществима. Ожидается, что тщательный иммунологический подбор трансплантата и некоторые изменения в медикаментозном лечении позволят рассчитывать на более успешный исход трансплантации.

The Journal of American Medical Association. 1985. Vol. 254. Dec. P. 3321—3329 (США).

Медицина

**Ранняя диагностика болезни Паркинсона**

В клинической практике все большее значение приобретает диагностика и биомедицинские исследования на основе позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ). Этот метод позволяет получать пространственное распределение радионуклидов в исследуемых органах человека, т. е. построить изображение самого органа. Наиболее эффективен ПЭТ в исследовании головного мозга. Сейчас одна из наиболее серьезных проблем — раннее распознавание невропсихиатрических болезней по химическим

процессам, происходящим в различных частях головного мозга. В основе, например, болезни Паркинсона лежит нарушение метаболизма допамина — вещества, переносщего возбуждение с одной нервной клетки на другую. Наибольшую плотность допамина в мозгу имеют подкорковые ядра (полосатое тело мозга, или базальные ганглии), управляющие движениями.

Для изучения методом ПЭТ биохимических нарушений в мозге, сопровождающих болезнь Паркинсона, применяются радиофармацевтические препараты, которые в основном распределяются в допаминных рецепторах. По реконструированному с помощью ПЭТ изображению можно получить информацию о распределении концентрации допамина и рассчитать его метаболизм в подкорковых ядрах.

Исследователям из США и Канады с помощью метода ПЭТ удалось определить роль допамина при возникновении болезни Паркинсона. Применялся радиофармацевтический препарат  $^{18}\text{F}$ -6 флуоро- $L$ -допамин (или 6-FD). Для его производства использовался фтор, меченный атомами  $^{18}\text{F}$ , которые получали на циклотроне.

Были обследованы 3 группы пациентов: 7 здоровых людей, 6 пациентов с болезнью Паркинсона (те и другие в возрасте от 28 до 73 лет), а также 4 здоровых пациента в возрасте от 26 до 48 лет, которым был введен психоактивный препарат МФТП (синтетический героин). Этот препарат вызывает кратковременные симптомы болезни Паркинсона. Всем группам давался радиопрепарат 6-FD и затем проводилось томографическое исследование головного мозга. Использувавшийся позитронный томограф обладал разрешением 8 мм и позволял получать одновременно изображение 7 срезов объекта.

После приема радиопрепарата у пациентов, подвергнутых действию МФТП, распределение радиоактивных изотопов в подкорковых узлах было меньше, чем у здоровых людей, но больше, чем у страдающих болезнью Паркинсона. (Напомним, что радиоактивные препа-

раты в основном распределяются в допаминных рецепторах.) По-видимому, уменьшение концентрации допамина в подкорковых узлах обусловлено повреждением нервных окончаний, что вызвано действием препарата МФТП на здорового человека, а также является синдромом болезни Паркинсона. Эта болезнь долгое время развивается скрытно и проявляется только в нарушении метаболизма допаминов. С возрастом происходит полная деградация допаминэргических нейронов, что ведет к появлению явных клинических признаков болезни Паркинсона.

Таким образом, измеряя концентрацию радиоактивного препарата в подкорковых узлах головного мозга методом ПЭТ, возможно осуществить раннее диагностирование болезни Паркинсона.

Nature. 1985. Vol. 317. № 6034. P.246—248 (Великобритания).

#### Физиология

### Скорость нервного импульса у правой и левой

Турецкий физиолог Ю. Тан (Ü. Tan; Университет им. Ататюрка, Эрзерум) сравнил скорость проведения нервного импульса на правой и левой руках у правой и левой. Скорость измерялась на чувствительных волокнах срединного нерва (несущих информацию о болевых, осязательных и других ощущениях) и двигательных волокнах локтевого нерва (через которые осуществляется управление мышцами кисти). Ни в том, ни в другом случае никаких различий между правой и левой рукой, между правшами и левшами не обнаружено.

Таким образом, преобладание той или иной руки не связано со скоростью проведения нервного импульса.

Perceptual and Motor Skills. 1985. Vol. 60. № 2. P. 625—626 (США).

#### Физиология

### Клетки человеческих надпочечников пересажены в мозг крыс

К настоящему времени успешно проведены пересадки клеток большинства областей мозга животным-реципиентам от эмбрионов и новорожденных доноров того же вида или даже от особей других видов. Трансплантаты образуют обширные связи с мозгом реципиента и дозревают до тех же нейронов и структур, какими они стали бы в мозге донора. В результате происходит их нормальная структурно-функциональная адаптация.

Нейротрансплантации применялись для лечения искусственно вызванной болезнью животных, моделирующей человеческий недуг — паркинсонизм. Возникает он из-за поражения нейронов в черной субстанции (ЧС) мозга и снижения выделения ими медиатора допамина. Характерные нарушения движений у паркинсоников связывают с недостаточным поступлением допамина в другую область мозга — стриатум, регулятор плавных движений. Крысам разрушали ЧС мозга, что вызывало паркинсонические проявления, а затем пересаживали эмбриональные нейроны или клетки крысиных надпочечников, также вырабатывающие допамин. Это давало стойкий нормализующий эффект.

Однако проведенная в 1983 г. в Швеции трансплантация в мозг двум больным паркинсонизмом клеток их же надпочечников принесла лишь недолгое облегчение. Чтобы выяснить причину неудачи, необходимо проследить судьбу пересаживаемых клеток надпочечников в мозге, а это можно сделать только на животных.

Эту задачу попытались решить Д. Чин (D. N. Chin) с сотрудниками из нескольких научных центров Канады. Клетки человеческих надпочечников, выделенные из абортинного материала, обработали ферментом для разъединения межклеточных связей и полученную суспензию ввели в стриатум крыс. Пред-

варительно животным разрушили ЧС мозга для моделирования паркинсонического поражения. Исследователи не обнаружили очагов воспаления или других признаков отторжения трансплантатов. Более того, надпочечниковые клетки синтезировали медиаторы катехоламиновой группы, а часть клеток превратилась в нейроны, пославшие свои отростки в стриатум.

Однако общий уровень допамина в стриатуме крыс-реципиентов не достиг нормального. Иначе говоря, хотя пересаженные клетки и синтезировали медиатор, их отростки в стриатуме не выделяли его. Почему это происходит и в чем причина неудачи шведских нейрохирургов — все это будет выясняться в дальнейших экспериментах.

Neuroscience. 1985. Vol. 57. N 1. P. 43—48 (США).

Психология

**Исчезновение иллюзий при утомлении**

Группа психологов под руководством Г. Н. Кечухашвили (Тбилисский государственный университет) изучала зрительные, осязательные и некоторые другие иллюзии восприятия у людей, находящихся в состоянии утомления.

В одном из опытов испытуемый получал листок с обозначенными на расстоянии 30 мм двумя точками — требовалось поставить третью точку «на вдвое большем расстоянии». Такое задание давалось несколько раз, после чего инструкция менялась: следовало поставить третью точку «на таком же расстоянии». У лиц, находившихся в нормальном, неутомленном состоянии, предварительная установка «на вдвое большее расстояние» приводила к тому, что в пробном опыте они преуменьшали расстояние между точками, ставя третью на расстоянии, например, 22 мм вместо 30. В противоположном варианте опыта давалось несколько предварительных заданий поставить третью точку

«на вдвое меньшем расстоянии». В этих случаях расстояние между двумя точками в пробном опыте, наоборот, преувеличивается (третья точка ставится, например, на расстоянии 35 мм вместо 30).

В другой серии опытов сходная установка создавалась парой шаров диаметром 60 и 90 мм. После предъявления нескольких таких пар подряд проводился пробный опыт: сравнение шаров диаметром 85 и 90 мм, 80 и 90 мм, 75 и 90 мм, 70 и 90 мм. При этом за счет предшествовавшей настройки испытуемый преувеличивает размер меньшего шара, и возникает иллюзия: шары разного диаметра оцениваются как равные. Величина этой иллюзии равна разнице между шарами, которые воспринимаются как одинаковые.

Третья иллюзия основана на том, что из двух предметов равного веса меньший предмет при прочих равных условиях кажется более тяжелым. Величину иллюзии можно измерить, постоянно увеличивая вес «более легкого» предмета, пока испытуемый не скажет, что их вес «одинаков».

Состояние утомления приводило к резкому уменьшению — вплоть до исчезновения — всех иллюзий, независимо от их модальности (зрение или осязание), направления (преувеличение или преуменьшение), экспериментальной структуры и т. д.

Известно, что подобных иллюзий не возникает у маленьких детей и у психически больных. По-видимому, они характеризуют лишь определенное состояние мозга («нормальное» в условиях нашей культуры) на определенной стадии его развития. Вопросы психологии. 1985. № 6. С. 117—122.

Зоология

**Ориентация плывущего сверчка**

Вполне сухопутные сверчки *Pteronemobius heydeni* регулярно плавают, если живут на

бережье у линии воды: спасаясь от птиц или ящериц, они прыгают в воду, а затем возвращаются вплавь обратно. Интересно, что сверчок плывет к берегу кратчайшим путем. Как он ориентируется при этом? Экспериментальное изучение этого вопроса предпринял Г. Беньон (G. Beugnot; Университет Пауля-Сабатье, Франция).

Бросая пойманных сверчков в воду озера, исследователь установил, что в солнечную погоду каждый сверчок, где бы его ни выпускали, плывет по прямой к тому берегу, где обитает. Выпущенный в двух метрах от родного берега, он достигает его примерно за 10—15 секунд; выпущенный в противоположного берега, преодолевает расстояние до 50 м, подвергаясь при этом большой опасности быть съеденной рыбой. Однако при сплошной облачности поведение сверчка меняется: он плывет к ближайшей от него суше и движется не прямо, как в солнечную погоду, причем медленнее всего сверчки достигали северного берега, лишенного деревьев, кустарников и других заметных с воды ориентиров.

В другой серии экспериментов Г. Беньон использовал круговую ширму, скрывающую от глаз сверчка все наземные ориентиры. Оказалось, что сверчок способен выбирать направление к своему берегу, руководствуясь только небесными ориентирами, т. е. положением солнца или плоскостью поляризации света неба. И утром, и в полдень — при разных положениях солнца — сверчки, выпущавшиеся в центре пространства, окруженного ширмой, двигались всякий раз в направлении своего берега. Однако в пасмурную погоду направления, избираемые сверчками, становились случайными.

Таким образом, при ориентации на водной глади сверчок, как и при сухопутных маршрутах, использует взаимосвязанные системы астрономических и наземных ориентиров, которые индивидуально запоминает. Последнее доказывалось также поведением контрольной группы сверчков, пойманных в лесу: в какую бы погоду их ни

выпускали на участок воды, ограниченный ширмой, они всегда плыли в случайных направлениях.

Acta oecologica: Oecologia generalis. 1985. Vol. 6. № 3. P. 235 (Франция).

#### Биология

### Серый журавль зимует в Ставрополье

В январе 1985 г. в нескольких километрах от с. Балахонского (Кочубеевский район, Ставропольского края) нами была обнаружена зимующая стая серых журавлей из семи особей. Это наблюдение представляет исключительный интерес, поскольку, как известно, серый журавль (*Grus grus*) зимует обычно в Северной Африке от Марокко до Эфиопии, в долине реки Тигра и Евфрата, в Индии и на юго-востоке Китая, а небольшое число особей — в странах Южной Европы.

В Ставропольском крае пролеты серых журавлей отмечаются даже зимой, но только в теплую погоду, когда дневная температура воздуха поднимается выше +10 °С. Декабрьские встречи этого вида в Ставрополье не вызывают удивления, так как декабрь здесь чаще всего — это глубокая осень, а настоящая зима приходит в январе.

Большую часть времени обнаруженная стая держалась на плохо убранном кукурузном поле. Иногда птиц видели в пойме р. Кубани. Февраль 1985 г. выдался самым холодным за последние годы, но журавли удачно перезимовали. В самый критический период охотовед В. А. Кухаренко организовал их подкормку отходами зерна. Журавли вели себя очень осторожно: пеших подпускали на расстояние до 250—300 м, а едущих на бричке — на 50—60 м. Шесть зимующих серых журавлей В. А. Кухаренко видел неоднократно в этом же месте и в январе 1977 г. С потеплением, в начале марта, журавли улетали.

Зимующая стая серых журавлей на Ставрополье — это, видимо, первая достоверная встреча их в разгар зимы в пределах всей Европейской части Советского Союза.

**А. Н. Хохлов,**  
кандидат биологических наук  
Ставрополь

#### Палеонтология

### К истории динозавров

Динозавры появились во второй половине триаса, около 225 млн лет назад. Некоторые из ранних видов этих животных (например, крупные растительноядные прозавроподы — платеозавры — и мелкие орнитоподы, или птицепогие динозавры, — фаброзавры и др.) распространились довольно широко. Однако до настоящего времени науке не были известны более поздние формы, существовавшие на протяжении последующих примерно 30 млн лет, а уже в отложениях средней юры (170 млн лет назад) было обнаружено большое число совершенно новых видов. В Европе, например, в это время обитали гигантские растительноядные завроподы — цетиозавры — и покрытые панцирем стегозавры — лексовизавры. В поздней юре появились и широко распространились, в частности в Северной Америке, бронтозавры, диплодоки и много других форм.

Новые находки фауны динозавров в Индии, Европе, Китае, а также произведенное в ряде случаев уточнение возраста геологических слоев, содержащих фауну динозавров, позволили М. Бентону (М. Benton; геологический факультет Университета в Белфасте, Великобритания) заключить, что «перерыва» в истории развития динозавров в действительности не существовало.

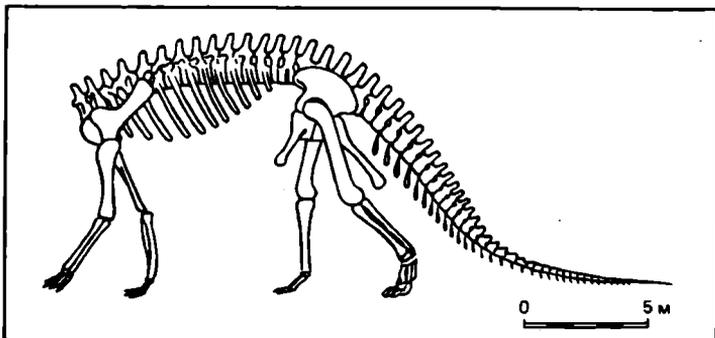
Выяснилось, что в конце триаса (187 млн лет назад) были широко распространены такие виды динозавров, как мелкие тероподы, средних и крупных размеров прозавроподы, мелкие орнитоподы (фаброзавры и гетеродонтозавры). Находки в Индии, а также в Зимбабве (на основании которой в 1984 г. описан вулканодон — *Vulcanodon karibaensis*) заполнили пробел, отвечающий ранней юре (около 180 млн лет назад).

В Китае, в Сычуанском районе, обнаружены слои с фауной динозавров ранне- и среднеюрского возраста (176—163 млн лет назад)<sup>1</sup>. В частности, там описан примитивный стегозавр, между тем как ранее считалось, что эти динозавры появились несколько позднее и совсем в другом месте — в Европе.

Находки последних лет дают возможность по-новому описать историю развития такой крупной группы животных, как динозавры. Например, открытия, сделанные в Китае, показывают,

*Vulcanodon karibaensis* (реконструкция).

<sup>1</sup> Подробнее см.: Динозавры из провинции Сычуань // Природа. 1984. № 11. С. 120.



что завроподоы произошли от прозвроподо позднего триаса — ранней юры.

Nature. 1985. Vol. 317. № 6034. P. 119 (Великобритания).



Экология

## Безвредные дозы сточных удобрений

Стоки животноводческих комплексов, богатые азотом, фосфором, калием, магнием, кальцием, могут служить хорошим удобрением при условии их глубокой очистки от содержащихся в физиологических выделениях животных вредных веществ и микроорганизмов. Стоки собирают в отстойники, где их подвергают биологической и физико-химической очистке, а в качестве удобрений используют осадки отстойников и избыточный активный ил, который образуется в результате жизнедеятельности бактерий, осуществляющих биологическую очистку. Однако и после этого использование стоков животноводческих ферм требует эффективного контроля.

В Украинском НИИ земледелия (пос. Чабаны, Киевской области) на полях с дерново-среднеподзолистой супесчаной почвой проведен 4-годовой опыт применения очищенных животноводческих стоков при севооборотах: картофель, ячмень, кукуруза на силос, озимая пшеница. Осадки отстойников ежегодно вносятся осенью под пропашные культуры в количестве 50 (одинарная доза), 100, 200, 300 т/га, а избыточный активный ил — в полтора раза большем количестве. Дозы удобрений под зерновые культуры были в полтора раза меньшими. Установлено, что введение двойных доз обоих видов удобрений прибавляет урожай на 20—30 %. Большие дозы менее эффективны, так как с их повышением уменьшается коэффициент использования азота удобрений (К): для одинарных доз осадка и ила К равно 25 и 15 %, для 6-кратных — не превышает 4—5 %. Не использованный растениями избыточный

азот (количество которого при двойной и 6-кратной дозах составляет соответственно 99 и 540 кг/га в год) накапливался в почвогрунтах и загрязнял грунтовые воды. Особенно возрастало с увеличением дозы удобрений содержание в почвогрунтах нитратов, причем нитраты находились и на больших глубинах (~5 м), загрязняя грунтовые воды до 200—700 мг/л NO<sub>3</sub>. Большие дозы сточных удобрений приводили к избыточному содержанию азота во всей растительной продукции.

Данные исследования позволили определить оптимальные экологически безвредные дозы сточных удобрений в зависимости от типа почвогрунтов, уровня грунтовых вод и вида возделываемых культур. Например, стоки животноводческого комплекса, который производит 100 тыс. свиней в год и дает удобрений порядка 1000 т в пересчете на азот, должны распределяться на сельскохозяйственных угодьях площадью не менее 4,4 тыс. га при оптимальной вносимой дозе азота 225 кг/га в год.

Агрохимия. 1985. № 8. С. 71.



Охрана природы

## Орикс возвратился в пустыню

Саблерогий орикс, или сахарский сернобык (*Oryx dammah cretchmar*), когда-то встречался в Северной и Центральной Африке очень часто. Но с конца прошлого столетия его численность неуклонно снижалась. Согласно оценке зоологов, в естественных условиях ныне насчитывается всего от пятисот до полутора тысяч представителей этого вида антилоп. Все они живут на территории Чада и Нигера, а в Тунисе, например, последнего саблерогого орикса видели только в начале века.

В настоящее время возникает надежда возродить африканское стадо ориксов. В декабре 1985 г. 5 самцов и 5 самок, родившиеся и выращенные в английских зоопарках, были направлены в Тунис. Здесь в юж-

ной, сахарной зоне страны расположен Национальный парк Бу-Хедма, на территории которого, тогда еще не заповедной, этот вид когда-то встречался.

С тех пор, правда, домашний скот уничтожил большую часть растительности, служившей пищей для диких копытных. Однако удалось отвести менее пострадавшую территорию (около тысячи гектаров) для размещения репатриантов. Сейчас они проходят акклиматизацию, чтобы подготовиться к довольно суровой среде, где жили их предки. В конце 1986 г. саблерогие ориксы будут выпущены на свободу.

New Scientist 1986. Vol. 168. № 1486. P. 13 (Великобритания).

Геология

## Земная кора поднимается

Научный сотрудник Чикагского университета (США) Д. Сахаджан (D. Sahagian) изучил древние геологические отложения, характерные для береговой линии. Результаты анализа привели его к выводу о том, что значительная часть Североамериканского континента в течение последних 100 млн лет (т. е. с начала сеноманского века мелового периода) претерпела подъем, достигающий по меньшей мере 2 тыс. м. Процесс охватывал область, расположенную далеко от края континента и простирающуюся на тысячу километров: Великие Равнины запада США, плато Колорадо и Скалистые горы.

Точно определить механизм столь крупномасштабного явления исследователю не удалось. Однако он исключил влияние таких факторов, как «горячие точки» (области подъема разогретых масс из недр), которые для этого слишком малы. Возможно, здесь были замечательные сдвиговые перемещения на границе литосферы и астеносферы, вызванные субдукцией (погружением плит земной коры в недра).

Установлено, что по мере повышения уровня моря, происходившего в сеноманское время, шла трансгрессия (отступление в глубь суши) береговой линии

от нынешней территории Колорадо до Миннесоты. Об этом свидетельствуют обширные формации сеноманских песчаников, встречаемые далеко от нынешних побережий Северной Америки.

Для получения надежной точки отсчета в измерении вертикального движения земной коры Д. Сахаджян избрал один из районов Миннесоты, расположенный далеко от известных проявлений тектонической активности и, по-видимому, не перемещавшийся со времени сеномана. Также учитывались изменения уровня моря, происшедшие с тех пор, и изостатические эффекты, вызванные нагрузкой новых осадочных пород поверх сеноманских. Привлеченные исследователем палеоботанические данные и свидетельства об изменении в направлении стока рек позволили ему заключить, что обнаруженный им подъем относится, вероятно, к эпохе среднего и позднего миоцена, т. е. последним 5—15 млн лет.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1986. Vol. 67. № 2, P. 18 (США)

#### Геология

### Редкие металлы и драгоценные камни Гималаев

Р. Б. Баратов и Л. Н. Россовский (Институт геологии АН ТаджССР) систематизировали данные о возможности открытия крупных месторождений редких металлов и драгоценных камней в системе Гималаев.

В горных районах Южного Памира, Гиндукуша, Каракорума и Гималаев широко распространены пегматиты — источник драгоценных камней. За последние годы советские геологи открыли на Памире и в Гиндукуше месторождения редкометаллических пегматитов. Грандиозный пегматитовый пояс, названный Гималайским мегапоясом, существует, по оценкам специалистов, в северном складчатом обрамлении Индостанского щита.

Этот мегапояс шириной от 200 до 400 км протягивается с запада на юго-восток более чем на 3000 км и прослеживается в хребтах Гиндукуша (Афганистан, Пакистан), на Южном Памире (СССР), в Каракоруме и Гималаях (Китай, Индия, Непал, Бутан). Самые крупные поля пегматитов обычно приурочены к выступам докембрийского фундамента.

Пегматиты Гималайского мегапояса могут быть подразделены на ряд формаций: глубинные пегматиты с драгоценными камнями, в том числе сапфиром, рубином, скаполитом; слюдоносные глубинные пегматиты; редкометалльные пегматиты средних глубин; хрусталеносные пегматиты малых глубин (хрусталеносные пегматиты, выявленные на Южном Памире, труднодоступны и пока еще недостаточно исследованы).

В редкометаллических пегматитах западной части Гималайского мегапояса, в горах Гиндукуша, обнаружены промышленно ценные концентрации минералов лития, тантала, цезия, бериллия, олова, драгоценных камней. Среди них наибольшее значение имеют крупнейшие месторождения лития и тантала в Афганистане, берилла в Афганистане и Пакистане (вес отдельных кристаллов берилла достигает 0,5 т).

На северо-западе Гималаев обнаружены пегматиты, из которых добывались пользующиеся мировой известностью сапфиры васильково-синего цвета (длина самых крупных сапфиров — 12,5 см при поперечнике 7,5 см). В восточной части Непала существует месторождение пегматитов, из жил которого в 1975—1979 гг. было добыто несколько сот килограммов ювелирного турмалина.

Анализ распространения пегматитов и геологического строения Альпийско-Гималайского складчатого пояса в северном обрамлении Индостанского щита свидетельствует об удивительной общности процессов альпийской тектономагматической активизации. Эта общность в геологическом строении и однотипность редкометаллических пегматитов на протяжении всего Гималайского мегапояса говорит о больших перспективах выявле-

ния месторождений редких металлов и драгоценных камней в еще плохо изученных районах Гималаев — в Северной Индии, в Непале и Бутане.

Доклады АН СССР. 1986. Т. 287. № 5. С. 1183—1187.

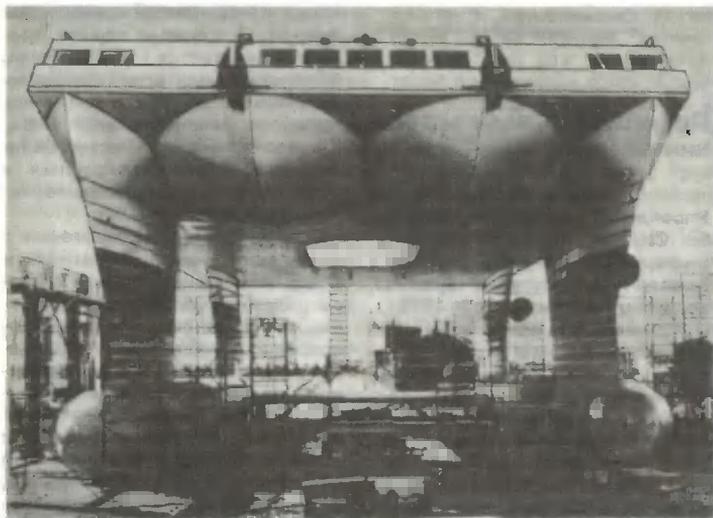
#### Океанография

### Океанографические суда оригинальной конструкции

Объединение американских университетов, изучающих Мировой океан, разрабатывает 30-летний план замены и модернизации своих научно-исследовательских судов, которым предстоит вести работы в XXI в. Уже начато строительство судов оригинального типа SWATH (small waterplane area twin hull vessel — двухкорпусное судно с малой площадью соприкосновения с водной средой). Первое из них, названное «Каималино» (в переводе с гавайского — «Спокойное море»), провело в 1985 г. четыре пробных рейса в водах, омывающих Гавайские о-ва.

«Каималино» — весьма устойчивая самоходная погруженная платформа, имеющая размеры 27×15 м, водоизмещение 228 т, скорость хода 10 узлов. По своим ходовым и динамическим характеристикам она превосходит даже такие суда, которые по длине корпуса втрое, а по водоизмещению в 10 раз больше.

Верхний корпус «Каималино», расположенный на 4,4 м выше ватерлинии, представляет собой алюминиевую платформу, установленную на четырех стальных обтекаемых опорах, соединяющих ее с нижними стальными полыми корпусами (поплавками), которые находятся под водой. Благодаря такому устройству значительно уменьшается взаимодействие судна с водной средой; площадь поперечного разреза подводной части конструкции невелика, что тоже уменьшает это взаимодействие. Одновременно обеспечивается необходимая



Научно-исследовательское судно «Каималино» в доке.

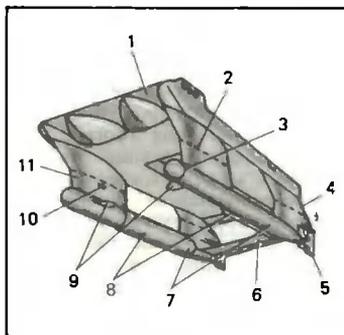


Схема судна: 1 — верхняя платформа, 2 — ватерлиния, 3 — акриловый колпак, 4 — кормовая опора, 5 — левый руль, 6 — стабилизатор, 7 — нижние корпуса-поплавки, 8 — элементы, обеспечивающие плавучесть, 9 — дополнительные стабилизаторы, 10 — иллюминатор для наблюдений, 11 — носовая опора.

для исследовательских работ стабильность судна, превышающая даже стабильность катамаранов.

В верхнем корпусе имеется «колодец» (4×7 м), который позволяет спускать в воду измерительную аппаратуру. Когда «колодец» закрывается крышкой, палуба превращается в вертолетную площадку (316 м<sup>2</sup>). Вместимость каждого из ниж-

них корпусов, заполненных горючим или балластом, — 3846 л. Грузоподъемность судна, включая горючее и научное оборудование, достигает 52 т. С передних торцов нижние корпуса закрыты плотным прозрачным акриловым колпаком (диаметр 2 м), что позволяет вести подводные наблюдения и съемки. На малых скоростях маневренность нового судна выше, чем у обычных: оно может развернуться на 360° практически на месте. Приводимое в действие от ЭВМ стабилизирующее устройство позволяет сохранять точность курса ±1° почти при любых условиях.

К числу немногочисленных недостатков «Каималино» относится высокая шумность его главной палубы, обусловленная работой двух газотурбинных двигателей; однако во всех помещениях ниже ватерлинии они не слышны. Некоторую трудность для погружающихся за борт подводников представляет необходимость спускаться и подниматься по высоким трапам. Хотя уязвимость вертикальных опор для плавучих льдов и не допускает плавания судов такого типа в полярных водах, им доступны средние и относительно высокие широты, до сих пор остававшиеся слабо изученными в те сезоны, когда там устанавливаются тяжелые метеоусловия.

Вудсколский океанографический институт приступил к

разработке проекта подобного судна, по размерам вдвое превышающего «Каималино». Вооруженные силы США планируют построить для своих нужд три таких гидрографических судна. Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1985. Vol. 66. № 36. P. 626—627 (США).

Океанология

Глубоководные исследования в желобе Нанкай

В июне 1985 г. новый подводный аппарат «Наутилус», принадлежащий Французскому научно-исследовательскому институту по эксплуатации богатств моря (IFREMER<sup>1</sup>), совершил серию погружений в глубоководном желобе Нанкай вблизи берегов о. Сикоку (Япония). Работа велась в рамках франко-японского сотрудничества.

За 8 погружений в ходе двухнедельной экспедиции «Наутилус» обследовал дно на протяжении 20 км, преимущественно на глубинах 3—4 км. Полученный материал обрабатывался на борту судна сопровождения «Надир» (Франция). Сделан ряд важных открытий, связанных с тектоникой глубоководных желобов, а также в области гидробиологии. Так, на глубине около 4 км обнаружены значительные концентрации донных животных: двустворчатых и брюхоногих моллюсков, кольчатых червей и др. Две колонии, поперечником около 500 м, находятся на расстоянии 40 км друг от друга и обе приурочены к зонам деформаций (разломам, складкам, хорошо различимым в осадочном чехле). Вне зон деформаций скопления донных животных не наблюдалось. Аналогичные донные сообщества были обнаружены и в 1984 г. экипажем подводного аппарата «Алвин» (США) при обследовании зоны поддвига Тихоокеанского лова под Североамериканский

<sup>1</sup> IFREMER — Institut Français de Recherches pour Exploitation de la Mer.

материк; здесь колонии тоже приурочены к узкой полосе деформаций на континентальном склоне. Исследователи делают вывод, что такие локальные «оазисы» возникают на глубоководном дне благодаря поступлению в зонах деформаций из земной коры прогретых, по сравнению с придонной водой, грунтовых вод, а также метана. Поглощающие метан бактерии активно размножаются в этих зонах и служат пищей донным животным. Похожие оазисы возникают и в рифтовой долине, в области выхода гидротерм. Вероятно, уже само наличие таких оазисов может служить диагностическим признаком развития на островных и континентальных склонах процессов деформаций.

В непосредственной близости от жлоба Нанкай, на ложе Филиппинского моря, также обнаружены структуры деформаций осадочного чехла. Они свидетельствуют о том, что земная кора, еще не достигнув зоны поддвига (глубоководного жлоба), начинает испытывать сжатие в горизонтальном направлении.

Наблюдения с «Наутилуса» имеют большое значение для Японии, так как позволяют прогнозировать степень сейсмической опасности того или иного района побережья. Например, у одного из подводных каньонов, где в 1944 г. произошло землетрясение, вызвавшее сильные разрушения на суше, выявлены молодые деформации в осадочном чехле. По мнению участников экспедиции, этот район из-за накапливающихся напряжений в земной коре относится к весьма опасным в сейсмическом отношении.

Наиболее важным результатом подводных работ в области тектоники дна нужно считать открытие того факта, что деформации на островном склоне, связанные с процессом поддвига плит, проявляются в узкой, не более 500 м, полосе дна. Эта зона расположена в самом низу аккреционной призмы — глубоко погруженной части островного склона, сложенной осадочными породами.

IFREMER (Bulletin d'Information). 1985. № 258. P. 1—3 (Франция).

### Сейсмология

## Предсказано землетрясение в Паркфилде

Группа сейсмологов из Управления геологической службы США в Менло-Парке и Калифорнийского университета в Беркли опубликовала прогноз, согласно которому до 1993 г. с вероятностью 95 % возможно землетрясение магнитудой 5,5—6 по шкале Рихтера вблизи местечка Паркфилд, расположенного в равном удалении от Сан-Франциско и Лос-Анджелеса.

Паркфилд находится на известном разломе земной коры Сан-Андреас, где сейсмическая активность отличается определенным постоянством характеристик. Два последних землетрясения (в 1966 и 1934 гг.) одинаково начинались с форшоков (предшествующих толчков) магнитудой 4 по шкале Рихтера и в обоих случаях отмечались за 17 мин до главного толчка; почти идентичными были их эпицентры, вызванные ими разрывы земной поверхности и афтершоки (последующие за главным толчком). Землетрясения, зарегистрированные в Паркфилде в 1857, 1881, 1901 и 1922 гг., отделены друг от друга примерно равными промежутками времени (около 22 лет). Все они происходили вдоль разлома Сан-Андреас в ограниченной области пространства (около 25 км в длину, 5 км в ширину и от 3 до 8 км в глубину). Этот участок земной коры находится в неподвижном состоянии, либо перемещается, но со скоростью, значительно меньшей той, что должна соответствовать уровню накопившегося здесь напряжения. В результате время от времени происходит внезапная встряска, разрыв поверхности.

Все это, вместе взятое, и позволило исследователям выработать долгосрочный прогноз с указанием наиболее вероятной даты нового землетрясения — январь 1988 г. Обычно сейсмологи весьма осторожны в прогнозах, к чему их побуждает и современное состояние науки, и нежелание посеять панику, ко-

торая может оказаться неоправданной. В данном случае прогноз считается достаточно обоснованным, его поддержали Национальный совет оценки прогноза землетрясений США, Комиссия по сейсмической безопасности штата Калифорния и Центральное управление геологической службы США.

Паркфилд — местечко с очень малым числом жителей и домами на деревянных каркасах. Однако существует опасение, что прогнозируемое землетрясение и выделенная им энергия послужат «спусковым крючком» для более крупных сейсмических событий, способных охватить густонаселенные районы Южной Калифорнии. Умеренной силы толчок 1857 г. в Паркфилде, вероятно, был причиной последовавшего за ним спустя несколько часов мощного землетрясения в южной части штата. Оппоненты, правда, возражают, указывая, что столь сильная разрядка требовала существенно большего времени для накопления нового напряжения. Ввиду этого предстоящие события в Паркфилде рассматриваются как «пробный камень» для ряда сейсмологических теорий. Весь район плотно насыщен сейсмическими и другими приборами, регистрирующими активность недр, деформации земной коры. В ряде точек пробурены скважины на глубину до 350 м. Опущенные в них приборы фиксируют накопленные в коре напряжения, измеряют крип — сползание отдельных ее участков в зоне разлома. Ведутся измерения вариаций магнитного поля, уровня воды в колодцах и пр. Цель всех этих комплексных исследований — усовершенствовать краткосрочный сейсмический прогноз, который более ценен для спасения жизни и материальных ценностей, чем долгосрочный.

New Scientist. 1985. Vol. 106. № 1455. P. 9 (Великобритания).

### География

## Эрозия берегов Западной Африки

Начиная с 1980 г. береговая линия на значительной час-

ти побережья Республики Того отступила в сторону суши примерно на 135 м. Аналогичный процесс наступания моря наблюдается теперь и в расположенных к востоку от Того районах Бенина и Нигерии.

Эту интенсивную эрозию северного побережья Гвинейского залива специалисты связывают со строительством крупной дамбы Акасомбо на р. Вольта в Гане. Новая плотина удерживает осадочные породы, ранее свободно поступавшие в Гвинейский залив и распространявшиеся по нему в восточном направлении. Отлагаясь, они препятствовали эрозионному воздействию волн и океанских приливов на побережье.

Возможно также, что эрозии способствует новый большой пирс, возведенный в порту Ломе (столица Того): он отклоняет к востоку прибрежное течение, которое несет с собой значительную массу осадочных пород, также способных противодействовать наступанию океана.

Episodes. 1985. Vol. 8. № 4. P. 261 (Канада).

#### Вулканология

### Озеро-убийца в Камеруне

По сообщениям из Объединенной Республики Камерун, ранним утром 16 августа 1984 г. группа местных жителей обнаружила на дороге возле оз. Монун мертвого мотоциклиста. Вокруг стоял удушливый запах, от которого один из жителей тут же потерял сознание, другие попытались добраться до ближайшей деревни, но не успели — вскоре погибли. В 10.30 утра на дороге было обнаружено 37 трупов. Местный врач, проводя рано утром обследование участка дороги вместе с полицейским, видел протянувшееся на 200 м над дорогой облако, напоминавшее дым. Газ был горьким на вкус, вызывал головокружение, слабость, рвоту, и работу пришлось прекратить, пока облако не рассеялось.

По заключению врача, шедшие на базар жители еще до

рассвета погибли от удушья, попав в загадочное ядовитое облако. Изо рта и носа жертв текла пенившаяся кровь и слизь, тела застыли в судороге, на коже обнаружены химические ожоги первой степени, хотя одежда не повреждена. Трава, кустарник и животные, находившиеся между берегом озера и дорогой, погибли. Жители ближайшей деревни сообщили, что накануне за полчаса до полуночи со стороны озера раздался громкий взрыв. 17 ноября озеро приобрело красно-коричневую окраску, не свойственную его обычно спокойной воде. Для проведения исследования правительство Камеруна пригласило из США вулканологов Х. Сигурдссона и Дж. Девейна (H. Sigurdsson, J. Devine), которые пришли к следующим выводам.

Оз. Монун образовалось в кратере одного из многочисленных в этом районе Африки вулканов. Ширина кратера 350 м, находится он на дне озера, вблизи места, где обнаружены трупы. Вулканические газы могли вырваться на поверхность воды и образовать над ней удушливое облако. Химический анализ воды показал очень высокое содержание ионов бикарбоната и двуокиси углерода в глубине озера. Хотя изотопный анализ углерода подтвердил его вулканическое происхождение, идея внезапного извержения была отвергнута: в придонных водах обнаружено лишь незначительное количество серы, галогенов и других химических веществ, характерных для высокотемпературной вулканической активности. В озере на глубине оказалась исключительно высокая концентрация ионов двухвалентного железа и большое количество сидерита в осадках. Двуокись углерода, таким образом, постепенно скапливалась в озере, а не была результатом внезапного вулканического выброса.

Как же образовалось облако? Резкая стратификация вод озера приводит к поддержанию высокого уровня бикарбоната в глубинах. Что-то нарушило стратификацию, и насыщенные бикарбонатом глубинные воды поднялись к поверхности. Внезапное падение давления вызвало бурное выделение двуокси-

си углерода (как из откупоренной бутылки с газированной водой). Связанная с выбросом пятиметровая волна повалила деревья на берегу, а образовавшееся облако было вынесено ветром на дорогу и, будучи тяжелым из-за двуокиси углерода, стало стелиться по земле. Очевидно, в предрассветных сумерках люди не видели облака, а днем, вероятно из-за наличия в нем окислов азота, оно стало видимым; окислы азота и могли вызвать ожоги на теле погибших. Но это лишь предположение: все же химический ожог остается пока загадочным.

Не ясна и причина волнения воды в озере. Туристы сообщили, что 15 августа они ощутили землетрясение. На подводном склоне кратера был обнаружен оползень. Высказано предположение, что волнение на озере мог вызвать ветер.

Х. Сигурдссон считает, что случай на оз. Монун уникален, особенно по смертоносному эффекту. Процесс такого типа наблюдался, однако, и на оз. Киву (Восточно-Африканский рифт). Это озеро тоже сильно стратифицировано, и в свое время инженеры обсуждали вопрос об использовании стратификации в качестве источника энергии. Идея не получила развития из-за угрозы крупного выброса газа. Специалисты предупреждают, что подобная трагедия может повториться на любом озере Камеруна, образовавшемся в кратере вулкана!

Science News. 1985. Vol. 128. № 23. P. 356—357 (США)

<sup>1</sup> Когда верстался этот номер журнала, из Камеруна поступили сообщения о катастрофе в районе оз. Ниос, расположенного на северо-западе страны. 21 августа 1986 г. со дна этого озера произошел выброс вулканических газов. По предварительным данным, пострадало 20 тыс. человек, погибло более полутора тысяч.— Прим. ред.

## Квантовая механика в исторической перспективе

**И. С. Алексеев,**  
доктор философских наук  
Москва



**М. Джеммер. ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЙ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ** (Пер. с англ. В. Н. Покровского. Под ред. Л. И. Пономарева. М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 380 с.

Давно уже стало привычным оценивать создание квантовой механики как революционный шаг в физическом мышлении, оказавший влияние на все естественнонаучное мировоззрение и заставивший суще-

ственно изменить постановку и решение целого ряда философских вопросов, касающихся природы и отношения к ней человека. Но по мере того как время отодвигает все дальше «золотой век» физики и основные принципы квантовой теории становятся достоянием школьных учебников, утрачивается свежесть восприятия и осознание тех громадных трудностей, которые надо было преодолеть на пути построения теории микромира. То, что когда-то было новым и неожиданным, становится привычным и чуть ли не само собой разумеющимся — оно уже свершилось и свершилось достаточно давно. Впрочем, это относится не только к научному прошлому.

Но в человеческой культуре никогда не угасало стремление к оживлению прошлых событий — история как наука постоянно сопровождает историю как человеческое деяние. Возрастание роли науки в жизни общества естественно и закономерно сопровождается сейчас заметным увеличением доли историко-научных исследований в общем массиве продукции ученых-историков. Естественно, что история становления и развития квантовых представлений, уже успевшая обрести изрядным количеством легенд и мифов, тоже привлекает пристальное внимание историков физики и подвергается скрупулезному анализу.

Книга М. Джеммера была первым в мировой литературе последовательным и достаточно полным исследованием исторического развития квантовой механики, воссоздающим логику неповторимого взаимодействия эксперимента и теории на фоне философско-методологических концепций, способствовавших усвоению и дальнейшему развитию собственно физиче-

ских представлений. За те 20 лет, которые успели пройти между выходом в свет английского оригинала книги до появления ее русского перевода, литература по истории квантовой теории пополнилась целым рядом монографий и статей. Но, как справедливо отмечает в своем предисловии редактор перевода, ни одно из этих исследований не является столь цельным и сбалансированным, как монография М. Джеммера.

Ее девять глав охватывают период с середины прошлого века до начала 60-х годов нашего столетия. Книга открывается обсуждением возникновения проблем в рамках классической физики, с которыми она оказалась не в силах справиться, и заканчивается рассмотрением все еще остающихся дискуссионными вопросов о полноте квантовой механики и о построении квантовой теории измерений. Вопросам интерпретации квантовой механики уделено сравнительно мало места — автор ограничивается довольно скудным анализом истории только одной из школ, копенгагенской. Это, однако, специально оговорено автором в предисловии и восполняется специальной монографией, вышедшей в свет в 1974 г. и анализирующей различные направления поисков решения как в копенгагенском, так и антикопенгагенском духе<sup>1</sup>.

В самом начале первой главы рецензируемой книги М. Джеммер заинтриговывает читателя, выражая сожаление, что систематическое развитие квантовой теории началось с та-

<sup>1</sup> Jammer M. The philosophy of quantum mechanics. The interpretations of quantum mechanics in historical perspective. N. Y., 1974.

кой сложной концептуальной проблемы, как квантование энергии электромагнитных колебаний. По его мнению, логически более просто было начать с квантования энергии частиц вещества — атомов и молекул, что гораздо легче было осуществить, опираясь на данные по удельной теплоемкости твердых тел при низких температурах или кинетическую теорию газов.

Такое предположение выдвигает серьезную проблему для методологии историко-научного и вообще исторического исследования. Насколько единственный осуществившийся в реальной истории порядок событий можно рассматривать как логически необходимый? Можно ли говорить об упущениях в истории и что было бы, если бы их не было? При всей кажущейся безнадежности поисков ответа на подобные вопросы — ведь история делается в одном экземпляре, прошлого не вернуть, и гипотезы о возможном ином ее ходе эмпирически принципиально непроверяемы — вопросы эти нет-нет да и возникают. Так, во втором издании своей книги «История квантовой теории» (1975; рус. пер. М., 1980) Ф. Хунд посвятил полновну заключительную главу рассуждению поставленной М. Джеммером проблемы: могла ли история развиваться по-иному?

Разумеется, невозможность эмпирической проверки историко-научных гипотез отвращает прагматически мыслящих людей от их обсуждения. Но если задачей истории считать не просто констатацию и выявление причин того, «как было», но и выявление скрытой рациональности исторического процесса, то обсуждение нереализованных возможностей вполне может представить материал и для более оптимистических выводов. Ведь история продолжается, она направлена в будущее, и, может статься, то, что сегодня представляется естественным и единственно возможным, покажется из будущего, когда оно станет настоящим, не оптимальным...

Реально имевшее место в истории начало квантовой теории также служит предметом полемики среди историков нау-

ки. В противовес общепринятой трактовке, связывающей начало квантовой теории — ее «день рождения» — с докладом М. Планка 14 декабря 1900 г., в котором было введено представление об «элементах энергии» системы осцилляторов, моделировавших атомы вещества, М. Джеммер предлагает отсчитывать историю квантовых представлений с более ранней даты — с 19 октября 1900 г., даты выступления Планка в дискуссии по докладу Ф. Курльбаума на заседании Немецкого физического общества, в котором он предложил формулу для распределения энергии в зависимости от температуры в спектре излучения абсолютно черного тела.

В этом выступлении о квантах не было сказано ни слова — они были введены в качестве «элементов энергии» лишь 14 декабря, когда Планк представил теоретическое обоснование своей формулы. Тем не менее М. Джеммер склонен рассматривать именно 19 октября 1900 г. в качестве «дня рождения» квантовой теории на том основании, что в формуле Планка, обнародованной в этот день, неявно содержался корпускулярно-волновой дуализм, как было показано А. Эйнштейном спустя девять лет, а этот дуализм может (и должен) рассматриваться как существенная характеристика квантовой теории.

М. Джеммер указывает еще на одну возможность установления «дня рождения» квантовой теории. Если считать определяющей характеристикой последней введение универсальной константы  $h$ , пусть не связываемой явно с дискретностью значений энергии, то это относится к «гораздо более ранней дате». По этому пути пошел А. Герман, относя этот день к 18 мая 1899 г., когда Планк опубликовал статью «О необратимых процессах излучения», в которой подчеркивалось универсальное значение константы, входящей в выражение для закона Вина. Но тогда почему не считать родоначальником квантовой теории самого В. Вина?

Не так давно Т. Кун высказал мнение, что истинным основателем квантовой теории

следует считать А. Эйнштейна, который в 1906 г. явно ввел дискретные уровни самих осцилляторов:  $E = nh\nu$ . Поэтому Кун предлагает считать датой рождения квантовой теории 1906 г., или, если иметь в виду кванты света, то 1905 г.<sup>2</sup>

Нетрудно видеть, что в бегло описанных выше контроверзах по поводу реально имевшего места начала квантовой теории прoustупает кардинальная для всякого исторического исследования методологическая проблема исторического факта. Легко также видеть, что историко-научные факты, пожалуй, еще более теоретически и методологически «нагружены», чем естественнонаучные. Эта проблема тесно связана и с соотношением исторического и логического, явного и неявного в знании — вопросами, продолжающимися интенсивно дебатироваться.

Можно было бы поразмышлять и над многими другими вопросами, возникающими в ходе чтения монографии И. Джеммера. Одни из них интересны только для специалистов, другие — как, например, вопрос о правомерности умозаключения от наличия историко-методологических параллелей к выводу о влиянии одной из параллельных сторон культурного развития на другую (в связи с мыслями М. Джеммера о философском фоне неклассических интерпретаций) — привлекут значительно большее число читателей. Но не хочется лишать читателя удовольствия самому выбрать круг этих проблем.

<sup>2</sup> K u h n T. Black-body theory and the quantum discontinuity, 1894—1912. N. Y., 1978.

## Физика

**С. Вайнберг. ОТКРЫТИЕ СУБАТОМНЫХ ЧАСТИЦ** / Пер. с англ. А. Н. Кондрашовой. Под ред. и с предисл. Е. М. Лейкина. М.: Мир, сер. «В мире науки и техники», 1986. 285 с. Ц. 80 к.

С. Вайнберг — один из крупнейших современных физиков-теоретиков, удостоенный Нобелевской премии за предсказание единой природы электромагнитного и слабого взаимодействий (совместно с Ш. Глэшоу и А. Саламом). В 1980 г. он прочитал в Гарвардском университете цикл лекций для студентов, не прошедших специальной подготовки в области физики и математики, а затем на основе лекционных набросков написал эту книгу.

Она посвящена истории открытия частиц, из которых состоит атом, — электрона, протона, нейтрона. Важнейшие события, о которых идет речь, разворачиваются на исходе XIX в., в необычных для современных исследователей маленьких лабораториях, с примитивным, по нынешним понятиям, оборудованием. Но именно эти события дали мощный толчок развитию научной мысли в начале XX в.

Для неподготовленных читателей по мере изложения даются основные понятия и сведения из классической физики, необходимые для понимания материала. Такие отступления вводятся в книгу под специальным названием «Экспурс в прошлое». В завершение автор коротко характеризует и другие частицы, которые были открыты с начала нашего столетия до наших дней. Их список непрерывно пополняется, физики вскрывают новые, все более глубокие пласты в организации материи. Пристальный анализ этого процесса делает книгу С. Вайнберга интересной не только для людей, не сведущих в физике, но и специалистов, прекрасно знакомых с сутью открытий, в ней рассказанных.

## Астрофизика

**ЯДЕРНАЯ АСТРОФИЗИКА** / Под ред. Ч. Барнса, Д. Клейтона, Д. Шрамма. Пер. с англ. Д. К. Надежина, С. В. Стрельниченко, Л. И. Антиповой, Ю. С. Колысова и Д. А. Птицына. Под ред. А. Г. Мазович. М.: Мир, 1986. 519 с. Ц. 5 р. 90 к.

Эта книга, недавно переведенная на русский язык, вышла в США в 1982 г., к 70-летию Уильяма Фаулера, ставшего через год лауреатом Нобелевской премии по физике. Она состоит из 23 статей по различным разделам ядерной астрофизики, написанных сотрудниками и учениками Фаулера. Среди них физики и астрономы, геохимики и математики; имена многих хорошо известны — это Ф. Хойл, М. и Дж. Бербиджи, Г. Бете, А. Камерон, Д. Клейтон, Э. Солпитер и др.

Статьи охватывают широкий круг проблем, связанных с происхождением химических элементов во Вселенной и ядерными реакциями в космических объектах. Рассмотрены ядерные реакции в звездах, быстрый и медленный захват нейтронов, ядерные реакции при взаимодействии космических лучей с межзвездным веществом, эмпирические данные о распространении химических элементов в космических объектах, изотопные аномалии в метеоритах, ядерная космохронология и другие проблемы, интересующие не только астрономов, но и специалистов, работающих в других областях науки.

По существу, ядерная астрофизика представляет собой применение результатов, полученных в области лабораторной и теоретической ядерной физики, к астрономическим объектам для объяснения их природы, возраста и особенностей химического состава. Но, как отмечается в предисловии к английскому изданию, «нет сомнения в том, что со временем астро-

физика в знак благодарности добудет новые сведения о ядерном веществе и субъядерных частицах, которые невозможно получить в лаборатории».

## Энергетика

**Н. В. Вершинский. ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА**. М.: Наука, сер. «Наука и технический прогресс», 1986. 152 с. Ц. 50 к.

Истощение мировых топливных ресурсов вызвало в последние годы обострение интереса к различным источникам энергии, в частности к энергетическим запасам Мирового океана. В популярной книге доктора технических наук Н. В. Вершинского — сотрудника Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР — рассматриваются различные виды энергии океана, но основное внимание уделяется энергии волн, в частности ветровых волн и зыби, а также тепловой и осмотической (созданной градиентом солености воды). Станции, использующие ветровые волны и зыби для выработки электроэнергии, могут быть построены в любой прибрежной зоне и не требуют больших и дорогостоящих плотин. Мощность таких станций, конечно, невелика. И все же экономисты считают это выгодным, потому что энергия волн возобновляема. Так, в Великобритании намечено строительство большого числа энерговолновых установок. Автор дает описание различных преобразователей ветровых волн и зыби в электрическую энергию.

В последние десятилетия для использования тепловой энергии океана созданы установки ОТЕС (начальные буквы английских слов: Ocean Thermal Energy Conversion — преобразование тепловой энергии океана). Читатель познакомится с

принципом работы мини-ОТЕС (первое такое устройство начало работать в 1979 г. вблизи Гавайских о-вов), с более мощной системой ОТЕС-1, вырабатывающей в 20 раз больше энергии, чем мини-ОТЕС, с установкой ОТЕС, построенной по японскому проекту на о. Науру (мощность ее 100 кВт).

#### Минералогия

**В. П. Петров. РАССКАЗЫ О ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЯХ** / Отв. ред. М. А. Лицарев. М.: Наука, 1985. 174 с. Ц. 65 к.

Эта книга по стилю напоминает полевой дневник геолога. Как в дневнике, здесь приводятся описания экзотических районов земного шара, уникальных месторождений, шахт, карьеров, где добывают или добывали когда-то драгоценные камни. Здесь записаны древние легенды и вполне правдивые истории событий, близких нашей эпохе; немало размышлений об увиденном, дискуссии с геологами-оппонентами. Все эти записи объединяет тема — драгоценные камни, редкое, красивейшее и совершеннейшее произведение природы.

Первыми драгоценными камнями, высоко оцененными людьми, были ярко окрашенные цветные минералы — бирюза, лазурит, изумруд. На бирюзовых коях Синайского п-ова бирюза добывалась уже более 7000 лет назад! Позднее появились крупнейшие центры добычи бирюзы в Средней Азии и на севере Ирана. И сейчас, как в далекие времена, славится иранская бирюза, добываемая около города Нишапура. Хорошая бирюза в три-четыре раза дороже золота (если считать по весу). Обычно же мы имеем дело с подкрашенным и «облагороженным» камнем.

Но если в древние времена бирюза добывалась в нескольких районах, то другой распространеннейшей самоцвет — лазурит — вообще добывался в одном-единственном месте, отличавшемся к тому же исключительной труднодоступностью: в горах Бадахшана (Се-

верный Афганистан) и отчасти на Южном Памире. Тем не менее изделия из лазурита в большом количестве были встречены археологами в Давурье. Из тех же месторождений синий камень привозили и в Древний Египет. Самыми замечательными изделиями из бадахшанского лазурита в пределах нашей страны являются знаменитые колонны Исакиевского собора.

Прекрасно описана в книге история нефрита и жадеита. Бесчисленные изделия из этих камней с древних времен сопровождали в загробный мир китайских императоров. Обилие нефрита в Китае тем более удивительно, что нефритовых месторождений в стране нет, камень привозили издалека, с гор Кунь-Лунь, из района Кашгара.

«Ю» — так называли нефрит в Китае; этот же иероглиф использовался и для обозначения жадеита, другого минерала, имеющего сходство с нефритом. Сравнительно недавно жадеит был найден в СССР, к северу от озера Балхаш. Однако выяснилось, что это месторождение разрабатывалось древними рудокопами еще за две тысячи лет до нашей эры! Не оттуда ли попадал он в древний Китай?..

#### Метеорология

**М. Нейбурген, Дж. Эдингер, У. Боннер. ПОЗНАНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ НАС АТМОСФЕРЫ.** Пер. с англ. В. С. Иванова. М.: Знание, 1985. 224 с. Ц. 70 к.

Книга известного американского метеоролога М. Нейбургена и его коллег, которую можно было бы назвать «Популярной метеорологией» (как отмечает в предисловии академик К. Я. Кондратьев), привлечет внимание тех, кто хочет понять, как и почему изменяется погода.

В первую очередь авторы рассказывают о явлениях, происходящих в нижних слоях атмосферы. В частности, о том, как поглощение электромагнитного излучения Солнца приводит к горизонтальному и вертикальному распределению температуры и сказывается на цирку-

ляции ветра. Процессы, протекающие в верхних слоях атмосферы, рассматриваются более бегло.

Важную роль, особенно в тропосфере, играет вода; поэтому в книге подробно описаны процессы, при которых в этом слое образуются туман, облака, дождь и снег. Объяснено, как формируются воздушные массы с фронтальными границами между ними при возникновении неоднородного распределения температуры и ветра; как возникают ветры различного масштаба и силы — от небольших ветерков до циклонов, обрушивающихся на целые континенты.

Особо выделены проблемы предсказания погоды. Читатель получит представление о современных методах синоптического прогнозирования с помощью быстродействующих ЭВМ. В заключение авторы останавливаются на проблеме управления погодой. Книга хорошо иллюстрирована.

#### Минералогия

**Ф. П. Кренделев. ЛЕГЕНДЫ И БЫЛИ О КАМНЯХ.** Красноярск: Красноярское книжное издательство, 1985. 144 с. Ц. 65 к.

Наряду с минералогической и геохимической информацией, в книге содержатся обширные сведения о традициях разных культур, связанных с камнем, о способах использования его в технике, искусстве, медицине. Автор выяснил происхождение названий многих минералов и показал связи этих названий в разных языках, напоминая тем самым, что камень всегда был элементом духовной культуры.

Шесть частей книги — это шесть новых точек зрения на определенные группы камней и минералов, давно известных, забытых или описанных совсем недавно. В первой части рассказывается о рядовых, но важнейших, как указывает Ф. П. Кренделев, минералах. Это глины, соль, тальк, гипс, селитра и другие, без которых люди обойтись не могут. Во второй части описаны минералы семи цветов радуги: красная кино-

варь, оранжевый реальгар, желтая сера, зеленый малахит, голубая бирюза, синий лазурит и фиолетовый флюорит. Цветовой спектр дополняется рассказами о горном хрустале и черном как ночь гагате.

В третьей части представлены полуклами, или биолиты: янтарь, мумиё, жемчуг, кораллы и разновидности нефти. Затем читатель может с неожиданной стороны взглянуть на минеральные «знаменитости»: золото, алмаз, изумруд и... магнетит. И, наконец, в двух последних частях описываются редкие, малоизвестные камни и совсем недавно открытые минералы.

Книга заинтересует многих, в ней удачно сочетаются академическая строгость и увлекательность. Избранная автором форма изложения с широким привлечением исторических, лингвистических, культуроведческих материалов безусловно способствует популяризации геологических знаний.

#### География

ОТ ГЛУБИН ОКЕАНА ДО ПРОСТОРОВ ВСЕЛЕННОЙ / Под ред. Г. И. Марчука. М.: АПН, 1986. 102 с. Ц. 65 к.

В книге представлены комментированные материалы встречи за «круглым столом» видных советских ученых и специалистов под председательством академика Г. И. Марчука, на которой обсуждались проблемы освоения Мирового океана и космического пространства. Среди участников этой встречи, организованной Агентством печати «Новости», — академик А. Л. Яншин, член-корреспондент АН СССР Ю. А. Израэль, академик Л. М. Бреховских, академик О. Г. Газенко, член-корреспондент АН СССР А. С. Саркисян, летчик-космонавт Г. М. Гречко и другие.

При обсуждении перспектив освоения Мирового океана — гигантского источника продовольствия, энергетических и сырьевых ресурсов — были затронуты такие актуальные те-

мы, как проблема глубоководной связи (в частности, акустической томографии океана) и задача создания марикультуры (по аналогии с агрокультурой), возможности освоения подводных недр и управления морскими экосистемами. Особенный интерес читателя несомненно вызовет дискуссия об исследовании «кухни погоды» — взаимодействия атмосферных и океанических процессов — и о современном понимании природных катаклизмов.

Проникновение человека в океанические глубины не только по изначальным задачам, но и в техническом отношении сходно с освоением космического пространства. В книге ярко представлены результаты исследований невесомости и морально-психологического фактора космических полетов, анализируется опыт работы интернациональных экипажей. Эти и многие другие достижения космонавтики найдут применение и в океанологии.

Все участники «круглого стола» согласны в оценке резкого обострения идеологической борьбы вокруг проблем Мирового океана и околоземного пространства. Они решительно заявляют о недопустимости милитаризации этих сфер, жизненно важных для человечества.

Книга богато и красочно иллюстрирована, что помогает читателю более полно воспринять содержащуюся в ней информацию.

#### География

В. И. Лымарев. МОРСКИЕ БЕРЕГА И ЧЕЛОВЕК. М.: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1986. 160 с. Ц. 65 к.

Автор открывает свою популярную книгу историческим очерком о развитии береговедения в России, затем внимание читателя акцентируется на ландшафтно-зональном подходе к изучению побережий как методологической основе природопользования в этих зонах. Такой подход дает возможность

выяснить взаимосвязь между географическими компонентами и природными комплексами, позволяет установить естественно-исторические особенности изучаемых природных и природно-хозяйственных систем. Книга содержит зонально-региональный обзор морских берегов нашей страны.

Большое внимание отводится охране и преобразованию прибрежной природной среды. Рассказывается об организации морских заповедников и национальных парков, т. е. своеобразной консервации природы для научных целей и отдыха населения, о создании службы охраны береговой зоны, инженерных проблемах защиты морских берегов, о сооружении новых пляжей и искусственных рифов, о наращивании береговой суши и многих других мерах, способствующих рациональному использованию природных ресурсов наших побережий.

#### Топонимика

Р. А. Агеева. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ИМЕН РЕК И ОЗЕР. М.: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1985. 144 с. Ц. 65 к.

Дон, Днепр, Днестр, Дунай... Эти большие реки Европы, разделенные сотнями километров, объединены общим корнем, лежащим в основе их имен. Их названия происходят от древнеиранского слова со значением «река». Лингвистический анализ гидронимов (водных названий) помогает изучать процессы образования, развития и переселений древних племен и народов. Мы узнаем также, какое место занимала вода, река в системе представлений и верований тех или иных этносов.

Это только часть вопросов, на которых останавливается Р. А. Агеева. В книге раскрываются и такие аспекты гидронимики, которые связывают ее с естественнонаучными дисциплинами. Например, благодаря гидронимике географ зачастую может установить, где были распространены прежде те или иные виды растений и животных.

### Этнография

C. Lévi-Strauss. LA POTIÈRE JALOUSE. P.: Librairie Plon, 1985. 314 p. (К. Леви-Строс. Ревнивая горшечница. П.: Либрери Плон, 1985. 314 с.)

У Солнца и Луны была жена по имени Аохо. Она предпочитала Солнце за его тепло и недолгобывала Луну за ее телесный холод. Луна обиделась и поднялась на небо по стволу лианы. Следом ушло и Солнце. Аохо, слившись с обоим мужей, с корзинкой глины полезла за ними на небо. Но Луна перерезала ствол лианы, женщина упала, глина рассыпалась по всей земле. От горя и тоски Аохо превратилась в птицу, которая по-русски зовется козодоем.

Один из главных мифов мифологического пантеона Южной Америки лег в основу последней книги знаменитого французского этнолога, основателя структурализма К. Леви-Строса. Многие его книги и статьи известны в переводе на русский язык, например «Структурная антропология» (М., 1983), «Печальные тропики» (М., 1984). Последняя книга ученого продолжает теоретический анализ мифологического мышления. Этот анализ проводится при одновременном сравнении определенных принципов такого мышления с теорией психоанализа, в которой иногда делают попытки «найти некоторые соотвещения между психической жизнью дикарей и невротикиами». Однако, иронизирует Леви-Строс, аналогии здесь можно провести скорее «между психической жизнью дикарей и психоаналитиками, которые, расширявая астрономические или психоорганические символы из того или иного мифа, пытаются с помощью этих символов однозначно определить всю жизнедеятельность древних людей. Критическому разбору теории психоанализа в книге посвящена специальная глава «Тотем и табу».

Последовательно анализируя цепочку родственных мифов, исследуя версии одного и того же рассказа, привлекая параллельные сюжеты из сказаний самых разных по территориальной отдаленности и по

стадиям развития народов, К. Леви-Строс разворачивает грандиозную картину мифотворческого сознания, охватывающего космогонические структуры, психофизиологические системы, социокультурные общности.

Мы узнаем, что индейцы когда-то представляли себе космос сделанным «из керамики», женщина у них была символом Матери-Земли, Хранительницей очага и гонимой искусстве, ревниво относившейся ко всему связанному с домом и его сохранностью. Эта ревность стала как бы чертой характера горшечницы. Глина же была той главной материей, где смешивались, по древним поверьям, подземные и небесные силы. Птица козодой, имеющая у разных народов разные названия, которые переводятся то как «птица смерти», то как «вожак коздунов» и пр., также оказывается посредником между всем сущим на земле и на небе.

Основная проблема, на которой фиксирует внимание автор, — проблема многозначности мифологического языка, невозможности его постижения с помощью одного-единственного ключа-кода. Суть мифа — во взаимобратимости смыслов, в способности преобразования сюжетов и жанров, в создании многовариантных способов восприятия действительности.

### Этнография. Археология

В. Р. Кабо. ПЕРВОБЫТНАЯ ДОЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКАЯ ОБЩИНА. Отв. ред. С. А. Арутюнов. М.: Наука, Главн. ред. вост. литературы, 1986. 304 с. Ц. 2 р. 50 к.

Книга представляет собой фундаментальное сравнительно-этнографическое исследование первобытных общин охотников и собирателей. Как известно, история первобытной общины начинается с возникновения человеческого общества и заканчивается переходом его к производящей экономике и разложением первобытно-общинной формации. Эта эпоха, согласно археологической периодизации, соответствует палеолиту и почти всему мезолиту. В настоящее время на стадии охоты и собирательства все еще

находятся (или находились недавно) экономически наиболее отсталые народы земного шара.

Автор исследует типичные охотничье-собираТЕЛЬСКИЕ общины Австралии, Тасмании, Юго-Восточной Азии, Центральной и Южной Африки, Южной и Северной Америки.

### Археология

АРХЕОЛОГИЯ ВЕНГРИИ. Конец II тысячелетия до н. э.— I тысячелетие н. э. / Отв. ред. В. С. Титов, И. Эрдели. М.: Наука, 1986. 352 с. Ц. 5 р.

Книга подготовлена совместно советскими и венгерскими археологами и посвящена весьма значительному периоду в истории центральной части Карпатского, или Среднедунайского, бассейна, расположенного в границах Венгерской Народной Республики. Этот период, охватывающий 2500 лет, исключительно богат историческими событиями.

При написании книги использованы наиболее важные результаты, которые были получены советскими и венгерскими археологами в их совместных полевых исследованиях на территории ВНР и СССР во второй половине 70-х — начале 80-х годов. Читатель знакомится с характеристиками разных археологических культур, историей их изучения, с типичными археологическими памятниками, с керамикой, изделиями из металла, погребальными обрядами, хозяйственной деятельностью и социальной структурой племен — носителей культуры, их судьбами. Большой интерес представляет раздел о славянских древностях на территории Венгрии.

Настоящая книга — третий том серии «Археология Венгрии». Ее первый том — «Каменный век» — издан в 1980 г. Второй том — «Медный век, ранний и средний бронзовый век» — находится в процессе подготовки к изданию.

## На Луну 348 лет назад!

**К. Б. Шингарева,**  
кандидат физико-математических наук  
Москва

Луна с давних пор манила к себе людей. В своем воображении они достигали Луны с помощью урагана, испаряющейся на солнце росы, упряжки птиц, на воздушном шаре, посредством орудийного снаряда, привязанных за спиной крыльев и т. п. Впрочем, ассортимент всех этих фантастических средств и способов прекрасно представлен в сборнике «Лунариум», опубликованном более десяти лет назад издательством «Молодая гвардия»<sup>1</sup>. В сборник вошли отрывки из различных фантастических произведений, таких как «Новый свет, или Государства и империи на Луне» Сирано де Бержерака, «Путешествие на Луну» Ж. ле Фора и А. Графиньи, «Необыкновенное приключение некоего Ганса Пфалля» Эдгара По, «Вокруг Луны» Жюль Верна и др.

Среди этих отрывков для нас наибольший интерес представляет фрагмент сочинения Фрэнсиса Годвина (1562—1633), писавшего под псевдонимом Доминик Гонсалес. Этот английский писатель и богослов оставил потомкам сочинение, которое называлось «Человек на Луне, или Необыкновенное путешествие, совершенное Домиником Гонсалесом, испанским искателем приключений, или Воздушный посол». Герой произведения совершает полет к Луне за 11 дней с помощью упряжки

лебедей. Он подробно описывает свои дорожные впечатления, а по мере приближения к Луне — ее поверхность и, наконец, прилунение. Луна оказывается населенной, ее жители похожи на землян. Автор описывает их нравы, обычаи, приводит сведения из истории лунных поселений, первые жители которых попали на Луну с Земли более трех тысяч лет назад. Герой проводит на Луне восемь месяцев и с помощью послушных лебедей благополучно возвращается на Землю.

Повествование Годвина — это во всех отношениях уже традиционная к тому времени лунная фантастика. Может быть, и не стоило на нем останавливаться, если бы не желание показать тот литературный фон, на котором появилось сочинение современника и соотечественника Годвина Джона Уилкинса «Проект полета на Луну», датированный 1638 г. На русский язык оно не переводилось, а между тем заслуживает особого внимания.

Дело в том, что это первый проект полета к Луне, разработанный ученым, а не дилетантом. Конечно, подробности проекта зачастую наивны, и та фантастическая картина, которую рисует Жюль Верн в 1866 г., оставляет «научный» проект Уилкинса далеко позади. Но не надо забывать, что между ними прошло 228 лет.

Прежде чем перейти к характеристике самого проекта, следует сделать ссылку на источник этих сведений. В 1985 г. в № 21 выходящих в ГДР трудов обсерватории Пульсниц (Veröffentlichungen der Sternwarte Pulsnitz), было опубликовано сообщение И. Классена «Das Mondflugprojekt des John Wilkins von 1638 («Проект полета на Луну Джона Уилкинса 1638 года)». И. Классен рассказывает об авторе проекта, о его работах, дает характеристику

эпохи, а также приводит перевод «Проекта» на немецкий язык, сделанный нюрнбергским астрономом XVIII в. И. Доппельмайером, но с некоторыми сокращениями, которые, как оговорено, в основном касаются повторов.

Сам по себе проект является частью (главой) обширного двухтомного труда Уилкинса, получившего в переводе Доппельмайера название «В защиту Коперника» («Vertheidigte Copernicus»). Этот труд в Англии выдержал 5 изданий и был вскоре после появления переведен на немецкий язык.

Уилкинс родился в 1614 г. в семье оксфордского ювелира. Он был священником в Лондоне, а с 1668 г. епископом в Манчестере и умер в 1672 г. от «каменных болей». Это был широко образованный человек, терпимый в вопросах религии, что вызывало недовольство отцов церкви, однако энергично борющийся против процветавших в ту пору суеверий.

Уилкинс завоевал себе имя как математик и астроном. Известны его «Математические труды», изданные в двух томах, а также книга «Математическая магия, или Чудеса, которые можно сотворить с помощью механической геометрии».

Среди работ астрономического характера центральное место следует отнести уже упоминавшемуся двухтомнику «В защиту Коперника». Первый том посвящен Луне, второй — Земле. Названия томов трудно дословно перевести с тогдашнего английского<sup>2</sup>. Они звучат

<sup>2</sup> V. 1. The discovery of a new World, or a discourse tending to prove, that 'tis probable, there may be another habitable World in Mone. V. 2. Discourse concerning a new Planet, tending to prove, that 'tis probable our Earth is one of the Planets.

<sup>1</sup> Лунариум. Сост. Е. Парнов и Л. Самсоненко. М., 1975.



Гравюра, помещенная в статье И. Классена (Classen J. Das Mondflugprojekt des Iohn Wilkins von 1638.— Veröffentlichungen der Sternwarte Pulsnitz).

примерно так: «Открытие нового мира, или Дискуссия, которая должна доказывать, что может существовать другой обитаемый мир на Луне» и «Дискуссия относительно новой планеты с целью доказать, что наша Земля, возможно, является одной из планет».

Существенно обогащает содержание труда Уилкинса в за-

щину Коперника то, что книга не замыкается на дискуссии о коперниканской системе мира. Так, в первой части развивается тезис о множественности миров. Луна описана как твердое, непрозрачное тело, которое светит не собственным светом. Говорится и о том, что на Луне есть горы, долины и равнины. Наряду с этим автор не исключает возможности, что Луна окружена плотной атмосферой, что там существует природная среда, подобная земной, и что Луна населена людьми.

В дальнейшем нас будет интересовать последняя глава первой части, где Уилкинс развивает детальные планы для пе-

релета с Земли на Луну. Она начинается с рассуждений, что все, сказанное о Луне в предыдущих главах, неточно или не совсем точно, поскольку достоверные сведения дало бы только путешествие на Луну. Станет ли это когда-нибудь возможно?

Прошло много веков, прежде чем люди научились отличать планеты от звезд. «Время принесло нам много такого, о чем ничего не знали наши предшественники, и оно откроет нашим потомкам еще многое, о чем мы не знаем», — пишет Уилкинс. Как мореплавание существенно раздвинуло границы мира, так и возможность полета на Луну приведет к значительному расширению наших знаний. «Если бы кто-либо сказал мне, — рассуждает Уилкинс, — что на корабле нельзя добраться до Луны, то я бы ответил, что у нас пока нет такого корабля, но что в будущем появятся головы, которые сделают это возможным путем новых экспериментов и изобретений».

Уилкинс перечисляет и анализирует главные, с его точки зрения, трудности, с которыми придется столкнуться при полете на Луну. Прежде всего это: тяжесть человеческого тела, которая делает его мало подходящим для подъема и полета, очень сильный холод «эфирного воздуха» и его большая разреженность.

Если бы человек, считает автор, и смог взлететь, то его полет был бы очень медленным, человек скоро бы устал, и ему нечего было бы надеяться преодолеть такое большое расстояние, как от Земли до Луны.

Далее, после несложных расчетов, принимая расстояние до Луны равным 52 земным радиусам (точнее, 60,3 земного радиуса) и скорость перемещения — 1000 англ. миль в сутки (1 англ. миля = 1,609 км), автор делает вывод, что человеку понадобилось бы не менее полугода, чтобы достичь Луны. И все это время он должен иметь возможность питаться, отдыхать, спать.

Несмотря на эти очевидные трудности, автор продолжает утверждать, что до Луны можно было бы добраться, если посредством полета или как-

либо иначе удалось бы поднять-ся от Земли на высоту 20 миль (32,2 км). И развивает свою мысль так. Основным аргументом, на который ссылаются для доказательства невозможности полета к Луне, является то, что тело в каждой точке Земли имеет сильное стремление упасть в центр Земли. Но ведь вполне вероятно, что за пределами воздушной сферы оно остается неподвижным и не имеет желания двигаться вниз.

Рассуждая о природе магнетизма и гравитации, автор приходит к выводу, что вокруг Земли должна быть сфера, внутри которой тело стремится к центру Земли, а то время как вне границ этой сферы подобного с телом не происходит. Здесь у человека нет тяжести, он ничем не притягивается и сможет двигаться быстрее, чем на Земле.

Решив в общих чертах эту проблему, Уилкинс предлагает подумать о создании некоторых удобств для путешествия, и прежде всего о питании. Пища для путешествия должна отличаться от обычной. Ссылаясь на древних авторов и известные ему случаи, Уилкинс утверждает,

что человек может долгое время оставаться вообще без пищи, может питаться водой или, наконец, запахами и воздухом. Поскольку путешествие не потребует много сил, его можно совершать без сна.

Остается главный вопрос: каким же способом человек преодолеет первые 20 англ. миль, чтобы обрести невесомость? Обсуждается пригодность для этой цели крыльев Меркурия, Дедала и огромных птиц рух, существующих, по свидетельству Марко Поло, на Мадагаскаре. Но автор убежден, что эти способы себя не оправдают. «Скорее всего, со временем,— пишет Уилкинс,— можно будет построить летающий вагон, который обеспечит пребывание людей в полете. При этом он должен иметь такое движение (скорость), чтобы пролететь сквозь воздух. Его следует сделать достаточно вместительным, чтобы он мог взять несколько человек, а также провиант на дорогу и необходимые предметы. Величина этих вещей не будет препятствием для движения, подобно тому как по морю плывет и большой корабль, и маленькая деревянная тупля.

Каждый вагон может быть построен по тем же самым принципам, по которым Архит изготовил своего деревянного голубя, а Региомонтан — деревянного орла. Я думаю, что нетрудно описать все это еще подробнее.

В целом, это будет изображение не одного человека, а всего времени, в котором он живет, и оно послужит к славе этого времени. Это тоже будет большим открытием (кроме тех, которые ожидают нас в космосе), связанным с большими техническими улучшениями нашего средства путешествия».

Свое сочинение Уилкинс завершает так: «Хотя все это кажется невероятным, все-таки должно появиться средство добраться до Луны. Как счастливы будут первые люди, которые осуществят это предприятие».

В 1959 г., через 321 год после выхода в свет этого сочинения, автоматическая межпланетная станция «Луна-2» совершает первое в истории жесткое прилуние в районе кратеров Архимед и Автолик, в 1966 г. станция «Луна-9» осуществляет мягкую посадку на Луну, а еще через три года, в 1969 г., на Луну впервые высаживаются люди. Таков эпилог этой мечты.

В номере использованы фотографии АЛПАКА В. А., ДЗАТИАТЫ Р. Г., КУЛИКА Л. В., КУЛИКОВА А. С., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., ТИМОШИНА А. А., ЧЕРНОВА А. В.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
О. Н. БОГАЧЕВА, Т. Д. МИРЛИС

Сдано в набор 11.08.86.  
Подписано к печати 12.09.86.  
Т-15642.  
Формат 70×100 1/16  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 1365,3 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,0.  
Бум. л. 4  
Тираж 51 000 экз. Заказ 2291



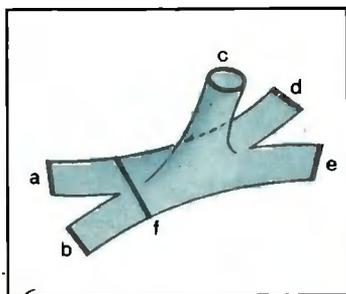
— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера (The Man and the Biosphere)». Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

Ордена Трудового Красного  
Знамени издательство «Наука».

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

Ордена Трудового Красного Знамени  
Чеховский полиграфический комбинат  
ВО «Союзполиграфпром»  
Государственного комитета СССР  
по делам издательства, полиграфии  
и книжной торговли.  
142300 г. Чехов Московской области

## В следующем номере



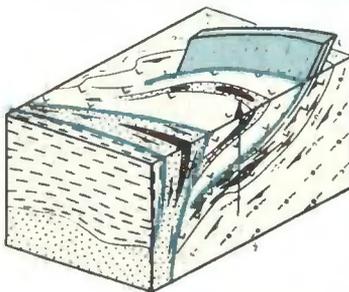
Представления об одномерно-протяженном релятивистском объекте — струне, или нити, — используются сейчас для описания внутреннего строения адронов и механизма образования галактик, при попытках объединить все фундаментальные взаимодействия.

**Нестеренко В. В.** Релятивистские струны: от мыльных пленок к объединению фундаментальных взаимодействий



На обширном палеоботаническом материале прослежена эволюция флор за 400 млн лет истории нашей планеты.

**Мейен С. В.** Флорогенез и эволюция растений



Обнаружить крупные запасы руд в местах старых разработок можно при внимательном изучении глубинных процессов рудообразования.

**Казанский В. И.** Глубинные корни рудных месторождений



В священных книгах древних иранцев и индийцев — Авесте и Ведах — упоминается таинственное растение хаома, или сома, обладавшее многими целебными качествами. Его отождествляли то с хмелем, то с мухомором. Однако, судя по дошедшим до нас описаниям, внешний вид и свойства хаомы напоминают мандрагору туркменскую, произрастающую на территории нашей страны.

**Хлопин И. Н.** Хаома — священное растение древних иранцев



Открытые 100 лет назад мустьерские погребения позволили по-новому взглянуть на развитие общественных отношений у древних людей. В настоящее время обнаружено и изучено около 60 таких погребений.

**Смирнов Ю. А.** Древнейшие погребения (год открытия — 1886)

Цена 80 к.  
Индекс 70707

Природа, 1986, № 10, 1—128

