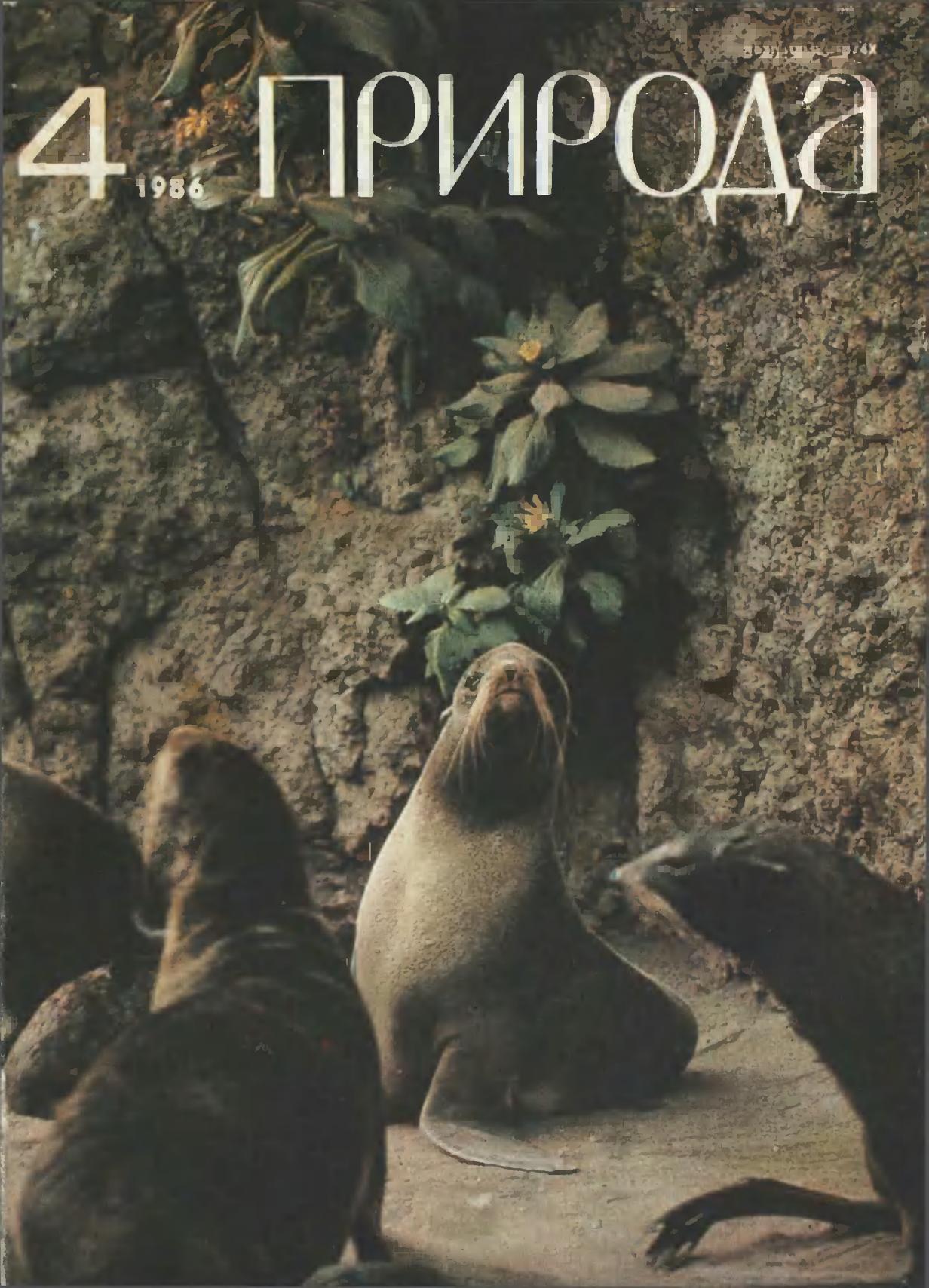


ИЗДАНИЕ 1986

4

1986

# ПРИРОДА



Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



## 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. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Гарем северного морского котика на лежбище о. Беринга. В разгар брачного сезона взрослый самец может сгонять в семью несколько десятков самок, удерживая их на так называемой гаремной территории и защищая ее от соперников. См. в номере: Никольский С. А. Что такое социобиология? Фото А. В. Зорина.

На четвертой странице обложки. Обильно усыпанные плодами ветки боярышника Полярковой (*Crataegus polarikovae*). См. в номере: Исиков В. П. Боярышник Полярковой. Фото В. И. Бабенко.

**В НОМЕРЕ**

- Блиох П. В., Николаенко А. П. Глобальные электромагнитные резонансы** 3  
 Сферическая полость между Землей и ионосферой — своеобразный резонатор, непрерывно возбуждаемый грозовыми разрядами. Наблюдения глобальных резонансов позволяют, не выходя из лаборатории, изучать ионосферу и грозовую активность на всем земном шаре.
- Бордовский О. К. Перемены в гидрохимическом режиме Каспия** 16  
 За последние десятилетия не только изменился облик Каспийского моря, но стала иной гидрохимическая структура его вод, определяющая, в свою очередь, биологическую продуктивность Каспия.
- Люзнер А. Л., Быковский А. Ф. Новая группа ретровирусов** 20  
 Обнаружены вирусы, поражающие клетки иммунной системы человека и обезьян. Можно ли бороться с болезнью, при которой разрушается сам механизм защиты от инфекций? Ответ на этот вопрос и пытаются найти биологи и медики.
- Базилевская Е. С. Металлоносные осадки** 34  
 Каковы источники металлов, накапливающихся в осадках на дне океана? Поступают ли металлы с суши в речном стоке, или поднимаются из земных глубин? Эти вопросы до сих пор представляют предмет острой дискуссии среди специалистов.
- Миняев С. С. Исчезнувшие народы. Сюнну** 42  
 Сюнну — это союз скотоводческих племен, влияние которых в III — I вв. до н. э. распространилось на обширные территории Центральной Азии. Их имя (в латинской передаче — гунны) стало нарицательным для кочевых народов, опустошавших впоследствии европейские страны, синонимом варварства и необузданной жестокости.
- СОЗДАТЕЛЬ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ГИСТОЛОГИИ. К 100-летию со дня рождения А. А. Заварзина** 54  
 Работы А. А. Заварзина и его школы превратили гистологию — узкую, вспомогательную область медицины — в важную биологическую дисциплину.
- Хрущев Н. Г., Харазова А. Д. Принципы параллелизмов в эволюции тканей** 54  
**Астахова О. О. Глазами современников** 61
- Ландсберг Л. Г. Фотонные мишени** 72  
 Установок со встречными пучками фотонов (или фотонов и адронов), на которых можно было бы исследовать взаимодействия этих частиц, нет и в обозримом будущем не предвидится. Тем не менее выход был найден — в качестве мишени удалось использовать... виртуальные фотоны!

<b>Очев В. Г. Соль-Илецкий феномен</b>	<b>85</b>
<i>До недавнего времени наши сведения о наземных позвоночных, обитавших в триасовом периоде (240—200 млн лет назад), оставались неполными. Пробел заполняется благодаря изучению крупнейшего местонахождения позвоночных в Южном Приуралье.</i>	
<b>Исиков В. П. Боярышник Поярковой</b>	<b>88</b>
<i>Этот подвид сейчас растет только в Карадагском государственном заповеднике. Чтобы сохранить боярышник, его необходимо культивировать в природе и в садах Крыма.</i>	
<b>Никольский С. А. Что такое социобиология?</b>	<b>90</b>
<i>То, что естественный отбор действует в интересах не только отдельного индивида, а и целых сообществ, было ясно еще Ч. Дарвину. Каким же образом передается из поколения в поколение способность «жертвовать» собой ради благополучия популяции? Дискуссии вокруг так называемой проблемы альтруизма привели к созданию социобиологии.</i>	
<b>Диалог с читателем</b>	<b>97</b>
<b>К чему приводит длительное лишение сна?</b>	<b>97</b>
<b>Новости науки</b>	<b>99</b>
<i>Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь—декабрь 1985 г.) (99) • Второе кольцо Юпитера (100) • Существуют ли закономерности в распределении квазаров? (100) • Гамма-источник — радиопульсар? (101) • Галактика, рождающаяся «на глазах» (102) • R 136 — сверхмассивная звезда? (103) • В голове кометы — лед (104) • Сверхрешетка Фибоначчи (104) • Физические эксперименты с одним электроном (105) • Химическая модель шаровой молнии (105) • Радиационно-химическая очистка сточных вод (106) • Повышение устойчивости животных к гипобарической гипоксии (106) • Могут ли споры выжить в межзвездном пространстве? (107) • К механизму процесса оплодотворения (107) • Белок, стимулирующий рост кровеносных сосудов (107) • Иммунотоксины против рака (108) • Как выключить синтез специфического белка в клетке? (108) • Прижизненное окрашивание нервных клеток (108) • Влияние дибунола на эндокринную систему (109) • Как Т-лимфоциты узнают антигены (109) • Ингаляция инсулина при сахарном диабете (110) • Опиоидные рецепторы регулируют тератогенез (110) • «Последовательные образцы» в мышцах (110) • «Плодовитые» мулы (111) • Иммунизация картофеля (111) • Бокоплав прикидывается икринкой (112) • Рыба в роли сторожевой собаки (112) • Способность растений поглощать углекислый газ через корни (113) • Экологическое значение хрома (113) • Изучается естественное обнажение океанической коры (114) • Размещение нефти и газа в океане (115) • 102-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» (115) • Цирконий и титан на дне моря (116) • Статистический анализ вулканических извержений (116) • Так кто же это — археоптерикс? (116) • Возраст наскальной живописи Каповой пещеры (117)</i>	
<b>Рецензии</b>	
<b>Дородницын А. А. Новые оценки последствий ядерной войны для окружающей среды (на кн.: Environmental consequences of nuclear war. Score 28)</b>	<b>119</b>
<b>Груза В. В. По границе прошлого с грядущим (на кн.: А. С. Поваренных, В. И. Оноприенко. Минералогия: прошлое, настоящее, будущее)</b>	<b>120</b>
<b>Новые книги</b>	<b>123</b>
<i>Шапиро С., Тыюколски С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды (123) • Сурков Ю. А. Космохимические исследования планет и спутников (123) • Эндриу А. Искусственный интеллект (123) • Хэллем Э. Великие геологические споры (124) • Ларичев В. Е. Древо познания (124) • География России XV—XVIII вв. (по сведениям иностранцев) (124)</i>	
<b>В КОНЦЕ НОМЕРА</b>	
<b>Гулыга А. В. Игровое поведение и творческое мышление</b>	<b>125</b>

**Комплексно исследовать строение и эволюцию... атмосферы, а также космическое пространство.**

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

## Глобальные электромагнитные резонансы

П. В. Блюх, А. П. Николаенко



Павел Викторович Блюх, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики плазмы и ионосферы Радиоастрономического института АН УССР. Основные работы относятся к области космической радиофизики. Автор книг: Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля—ионосфера (совместно с А. П. Николаенко и Ю. Ф. Филипповым). Киев, 1977; Флуктуации СДВ в волноводе Земля—ионосфера (совместно с В. Г. Безродным, Р. С. Шубовой и Ю. М. Ямпольским). М., 1984. В «Природе» опубликовал статью: Гравитационные линзы (совместно с А. А. Миниковым; 1982, № 11).



Александр Павлович Николаенко, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же отдела. Занимается исследованиями в области космической радиофизики, в частности распространением радиоволн в природных волноводах.

### ЗЕМНОЙ ШАР КАК ДЕТАЛЬ ОБЪЕМНОГО РЕЗОНАТОРА

Наша планета представляет собой плотный шар, окруженный тонкой атмосферой. По сравнению с радиусом Земли ( $a \approx 6400$  км) воздушная оболочка дей-

ствительно тонкая: около 99 % массы воздуха содержится в слое толщиной примерно 30 км. Выше этого уровня остается 1 % атмосферных газов, но именно этот остаток или даже его небольшая часть играет важнейшую роль, коль скоро речь заходит об электромагнитных явлениях. Де-

ло в том, что начиная с высоты в несколько десятков километров электрическая проводимость воздуха возрастает в миллионы раз: здесь начинается область космической плазмы — ионосфера.

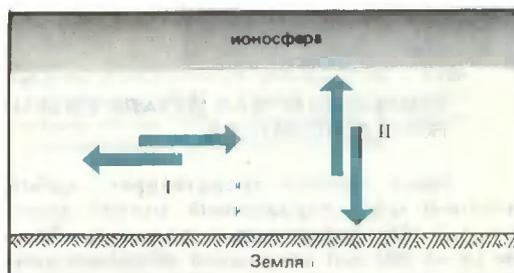
Резкий перепад проводимости позволяет рассматривать нижнюю атмосферу как тонкий диэлектрический слой, ограниченный хорошими проводниками: сверху — ионосферой, а снизу — Землей. Так образуется сферический волновод, в котором распространяются радиоволны различных диапазонов. Верхняя граница частот вол-

новодного канала определяется свойствами ионосферной плазмы, которая становится «радиопрозрачной» на частотах в несколько десятков мегагерц. Нижняя граничная частота отсутствует, она равна нулю. Иными словами, в волноводе могут распространяться радиоволны сколь угодно низкой частоты, вплоть до постоянного тока.

Между Землей и ионосферой существует постоянная разность потенциалов, т. е. гигантский сферический конденсатор заряжен, а напряжение между его «обкладками» достигает сотен тысяч вольт. Поэто-



Сферическая полость Земля — ионосфера. Цветными пятнами показаны Африканские центры мировой грозовой активности, в которых сосредоточены главные источники радионезлучения гроз. [На Земле имеются также центры грозовой активности в районе Карибского бассейна и Юго-Восточной Азии.] Стрелки — пространственная структура вертикального электрического поля на первой резонансной частоте для экваториального источника колебаний,  $\delta$  — глубина скин-слоя,  $h$  — ширина зазора резонатора. Отдельно показаны направления распространения волн, соответствующих глобальным [I] и полеричным [II] резонансам.



му вблизи поверхности Земли наблюдается вертикальное электрическое поле<sup>1</sup> с напряженностью около 100 В/м.

Читатель, наверное, обратил внимание, что мы называем сферический промежуток между Землей и ионосферой то «волноводом», то «конденсатором», а далее появятся еще одно название — «резонатор». Выбор термина зависит от длины волны электромагнитных колебаний, возбуждаемых в этой полости. Если длина волны  $\lambda$  мала по сравнению с радиусом Земли ( $\lambda \ll a$ ), то обычно говорят о волноводе. В случае очень больших длин волн ( $\lambda \gg a$ ) колебания становятся квазиэлектростатическими, т. е. сводятся к процессам зарядки и разрядки сферического конденсатора. И наконец, для длин волн, сравнимых с радиусом Земли ( $\lambda \approx a$ ), наиболее подходит термин «резонатор», поскольку именно в этом волновом диапазоне возникают глобальные резонансы.

Мысль о существовании такого резонатора, казалось бы, должна была возникнуть сразу же после того, как была открыта ионосфера и стало ясно, что Земля окружена сплошным экраном, отражающим радиоволны. Тем не менее, хотя прямые доказательства существования ионосферы были получены еще в 1925 г. (опыты Г. Брейта и М. Тюва<sup>2</sup>), первая теоретическая работа о глобальных резонансах опубликована лишь в 1952 г. Автор ее — В. О. Шуман (ФРГ), поэтому глобальные резонансы нередко называют шумановскими. Хотя наблюдать резонансные явления просто, для этого не нужны дорогие и сложные установки, прошло еще несколько лет, пока в 1960 г. американские исследователи М. Бальсер и Ч. Вагнер выполнили первые удачные эксперименты.

Только в 60—70-х годах нашего века число публикаций стало быстро расти, особенно после того, как обнаружили прикладные аспекты этих исследований. Связано это, по-видимому, с чисто психологическими факторами. Бурное развитие космических исследований во второй половине нашего столетия привело к тому, что взгляд на Землю «со стороны» стал привычным для представителей разных специально-

стей, в том числе и для радиофизиков. Именно это и требовалось, чтобы представить себе весь земной шар всего лишь как деталь известного радиотехнического устройства — объемного резонатора<sup>3</sup>.

По-видимому, первым человеком, сумевшим преодолеть подобный психологический барьер, был югославский ученый-изобретатель Н. Тесла. Вот что было сказано им еще в 1893 г.: «...утомленному путешественнику, считающему верстовые столбы, Земля представляется огромной, но счастливейшему из людей, астроному... наша планета кажется пылинкой. Такой же, я полагаю, она должна представляться и электротехнику, который знает, с какой скоростью распространяются электрические возмущения... Если мы сможем установить период колебаний земного заряда... это будет фактом чрезвычайной важности, который послужит благом всего человечества...»<sup>4</sup>

Мысли Н. Теслы, наверное, слишком обогнали свое время и поэтому не были правильно оценены современниками, но сейчас видно, что глобальные резонансы по справедливости следовало бы именовать не столько шумановскими, сколько тесловскими.

### СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ И ДОБРОТНОСТЬ ГЛОБАЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА

Главная характеристика любой резонансной системы — частота ее свободных колебаний, или собственная частота. Оценить ее величину можно, не прибегая к сложным расчетам. Период основного (наиболее низкочастотного) колебания определяется временем распространения волны в резонаторе, т. е. пропорционален  $l/c$ , где  $l$  — характерный размер полости,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с — скорость света. Земной резонатор имеет два характерных размера. Наибольший из них — длина земного экватора  $2a$ , а наименьший — ширина зазора  $h$  между поверхностью Земли и ионосферой. Поэтому существует две серии собственных частот; первая, низкочастотная, связана с такими длинами волн, которые укладываются целое число раз

<sup>1</sup> Это так называемое «поле ясной погоды». Во время грозы напряженность поля может стать во много раз больше.

<sup>2</sup> Гипотеза об электропроводности верхних слоев атмосферы высказывалась значительно раньше (Б. Стюарт, 1878 г.), так же как и представления о влиянии ионосферы на распространение радиоволн (А. Коннели и О. Хевисайд, 1902; М. В. Шулейкин, 1923 г.).

<sup>3</sup> Правда, к объемным электромагнитным резонаторам тоже надо было привыкнуть. Использовать их стали сравнительно недавно в связи с развитием в 40-х годах радиолокации, хотя соответствующая теория начала разрабатываться еще в прошлом веке Дж. Резлем (1897 г.).

<sup>4</sup> Цит. по: О' Нейл Дж. — Изобр. и рационал., 1979, № 5, с. 26.

## Частота глобальных резонансов для планет Солнечной системы

Планета	Радиус, тыс. км	Частота планетарного резонанса при идеальной проводимости стенок, Гц			Частоты первых трех максимумов в спектре естественного радиошума, Гц		
		n=1	n=2	n=3	n=1	n=2	n=3
Земля	6,4	10,6	18,3	26,0	8	14	20
Венера	6,05	11,2	19,3	27,3	9	16	23
Марс	3,37	20,1	34,75	49,4	15	26	38
Юпитер	53,0	1,3	2,2	3,1	1	1,7	2,5
Ио	1,8	37,2	64,4	91,0	29	50	71

Примечание: Относительная диэлектрическая проницаемость планетных атмосфер принята равной единице. В последних трех столбцах таблицы данные по Земле взяты из экспериментов, по Венере — на основании расчета с учетом измеренных параметров ионосферы Венеры, по остальным планетам — в предположении, что их резонаторы повторяют земной в увеличенном или уменьшенном масштабе.

вдоль экватора:  $f_n \approx c\pi/2la \approx 7,5\pi$  Гц, где  $n$  — целое число. Эти частоты попадают в верхненизкочастотный (СНН) диапазон от единиц до нескольких десятков герц; о них говорят как о глобальных, или шумановских, резонансах.

Вторая серия частот связана с поперечным размером резонатора и попадает в килогерцевый диапазон:  $F_n \approx c\pi/2h \approx 3 \times 10^3 n$  Гц. Поперечные резонансы возбуждаются, когда радиоволны распространяются в основном вертикально и многократно отражаются от Земли и ионосферы. При распространении вдоль волновода эти волны сильно затухают, и их поля сосредоточены только вблизи источника. С глобальными резонансами они практически не связаны из-за значительного отличия по частоте.

Естественно, обнаружить резонансы тем легче, чем слабее затухают колебания (соответствующая количественная характеристика называется добротностью резонатора  $Q$ ). Затухание глобальных резонансов возникает за счет проникновения электромагнитного поля в ионосферу и потерь энергии в ней. Поэтому добротность резонатора, равная отношению полного объема, занятого полем, к тому объему, в котором происходят потери, будет связана с глубиной проникновения  $\delta$  (глубина скин-слоя) соотношением  $Q = h/\delta$ . На основной гармонике  $f_1$  толщина скин-слоя близка к 12 км, а эффективная высота ионосферы  $h = 50$  км, следовательно,  $Q_1 = 4$ , т. е. добротность резонатора составляет несколько единиц. По сравнению с резонаторами, применяемыми в радиотехнике, это очень малая величина, но все же достаточная, чтобы уверенно обнаружить резонанс. С ростом частоты глубина проникновения убывает, а добротность возрастает.

Полученные с помощью нестрогих рассуждений оценки удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, подтверждая, что суть явлений понята правильно. Однако чтобы из наблюдаемых глобальных резонансов можно было извлечь конкретные сведения о параметрах ионосферы, распределении в ней источника колебаний и т. д., т. е. для решения прямых и обратных задач, необходимы точные и строгие расчеты, а не качественные рассуждения. На этом пути возникают определенные трудности, поскольку реальные границы резонатора имеют сложную конфигурацию, а их электрические параметры изменяются от точки к точке и не остаются постоянными во времени. Учесть все особенности почти невозможно, приходится прибегать к тем или иным упрощениям. Так, в первых расчетах Шумана Земля и ионосфера представлялись в виде двух концентрических сфер с бесконечной проводимостью. Спектр собственных частот такого резонатора не отличался существенно от наших оценок, но добротность оказывалась бесконечно высокой, поскольку потери не учитывались. В дальнейшем модель многократно совершенствовалась и продолжает улучшаться главным образом за счет более реалистического описания ионосферы.

Параметры глобальных резонаторов рассчитывались не только для Земли, но и для других планет, имеющих ионосферы (см. табл.)<sup>5</sup>. Пока данные об ионосферах этих планет еще очень скудны, и если

<sup>5</sup> См., напр.: Николаенко А. П., Рабинович Л. М. — Косм. иссл., 1982, т. XX, № 1, с. 82.

бы удалось наблюдать резонансные колебания, это позволило бы получить весьма ценные сведения о нижней части ионосферной оболочки. Современная космическая техника позволяет осуществить такие эксперименты, которые сводятся к измерению спектра естественных электромагнитных шумов СНЧ-диапазона на поверхности планеты. Подобные измерения, но в более высокочастотной области (килоггерцы), были уже осуществлены на поверхности Венеры советскими космическими аппаратами и позволили впервые обнаружить радиоизлучение внеземных молний<sup>6</sup>.

### ТОНКАЯ СТРУКТУРА СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ И ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА В ГЛОБАЛЬНОМ РЕЗОНАТОРЕ

В сферически симметричном резонаторе каждой собственной частоте соответствует не одна, а несколько различных конфигураций электромагнитного поля (собственные функции). Это хорошо известный в физике эффект вырождения, который непосредственно связан со свойствами симметрии резонатора. Для самой совершенной симметрии — сферической — кратность вырождения равна  $2n+1$ . Это означает, что первая собственная частота ( $n=1$ ) трехкратно вырождена, вторая ( $n=2$ ) — пятикратно и т. д.

Реальный резонатор Земля — ионосфера, конечно, не может быть сферически симметричным. Поэтому, строго говоря, его спектр не является вырожденным и различным собственным функциям отвечают разные резонансные частоты. Однако при не очень сильных нарушениях симметрии различия между ними будут малыми и общая структура спектра все же сохранится, только в нумерации собственных частот появится дополнительный индекс. Таким образом, каждая частота  $f_n$  расщепится в мультиплет  $f_{n,m}$ ; в частности, появится триплет первого резонансного уровня с  $n=1$  и  $m=-1; 0; +1$ . В общем случае  $m$  — целое число, по модулю не превосходящее  $n$ , поэтому мультиплет имеет  $2n+1$  линий.

Говоря о «слабых» нарушениях симметрии, мы имеем в виду все же неоднородности глобального масштаба. Например, отличия в параметрах ионосферы на двух полушариях, одно из которых освещено Солнцем, а второе находится в тени

(неоднородность «день — ночь»), или особенности ионосферного слоя в полярных областях (неоднородности типа «полярных шапок»). Такие неоднородности понижают симметрию резонатора, но не устраняют ее полностью; остается цилиндрическая симметрия. Это приводит к неполному снятию вырождения.

Собственные функции, соответствующие частотам  $f_{n,m}$ , имеют следующую структуру. При  $m=0$  в резонаторе возбуждается стоячая волна с осевой симметрией, которая соответствует частоте  $f_{n,0}$ , а при  $m \neq 0$  возникают волны, бегущие вокруг оси симметрии в двух противоположных направлениях. Фазовые скорости этих волн одинаковы, поэтому их резонансные частоты совпадают, т. е. сохраняется двукратное вырождение спектральных составляющих  $f_{n,\pm m}$ .

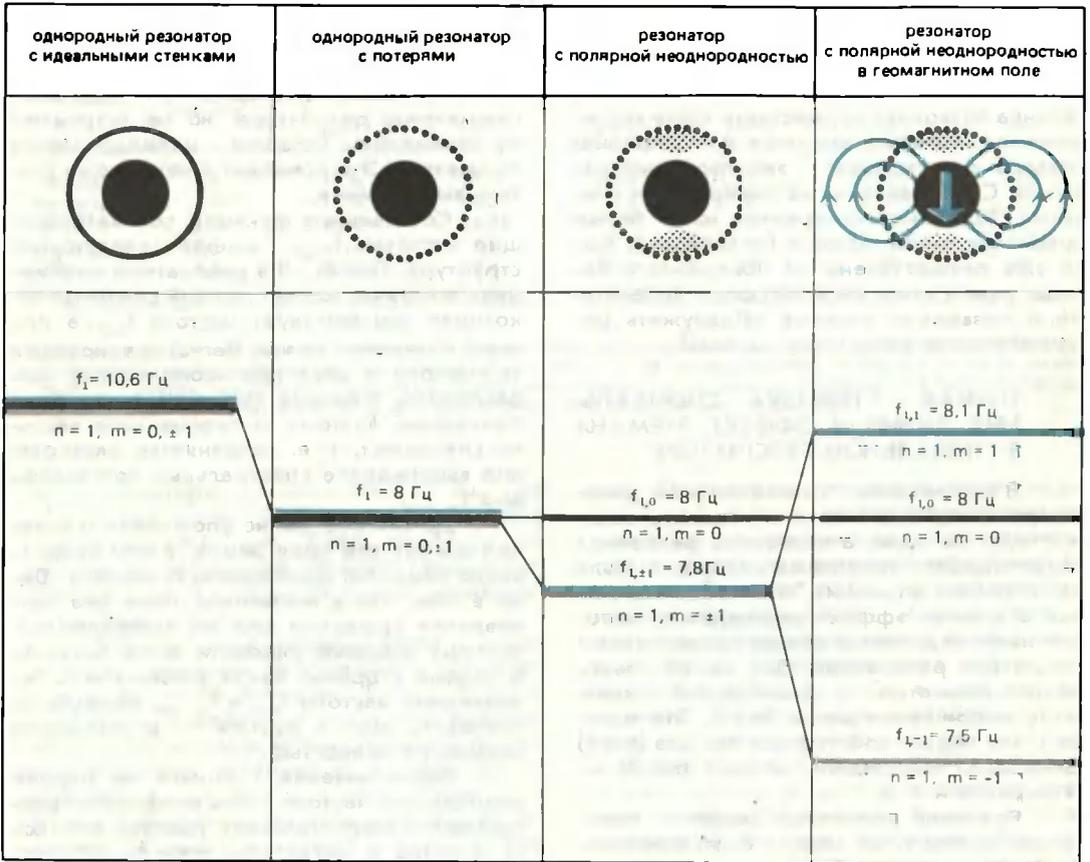
До сих пор мы не упоминали о влиянии магнитного поля Земли, а оно существенно изменяет нарисованную картину. Дело в том, что в магнитном поле два направления вращения уже не эквивалентны, поэтому фазовые скорости волн, бегущих в разные стороны, будут различаться. Резонансные частоты  $f_{n,m}$  и  $f_{n,-m}$  перестанут совпадать друг с другом — вырождение снимается полностью.

Возникновение триплета на первой резонансной частоте очень напоминает расщепление энергетических уровней атомного спектра в магнитном поле — эффект Зеемана. Эти явления имеют одну и ту же природу, связанную со спецификой магнитной группы симметрии.

Геомагнитное поле не только снимает вырождение спектра, но приводит к своеобразной зависимости резонансных частот глобального резонатора от времени суток<sup>7</sup>. Прежде чем объяснить суть явления, хотелось бы обратить внимание на то, что это довольно неожиданный эффект. Казалось бы, всякая зависимость от времени должна в данном случае заранее исключаться, так как понятие «время суток» для планеты в целом теряет смысл. В самом деле, о каком времени идет речь? Если о местном, то для глобального резонатора оно не имеет смысла, ибо в каждый момент в различных точках оно принимает все значения от 0 до 24 ч. Остается, следовательно, универсальное, или гринвичское, время. Но почему именно грин-

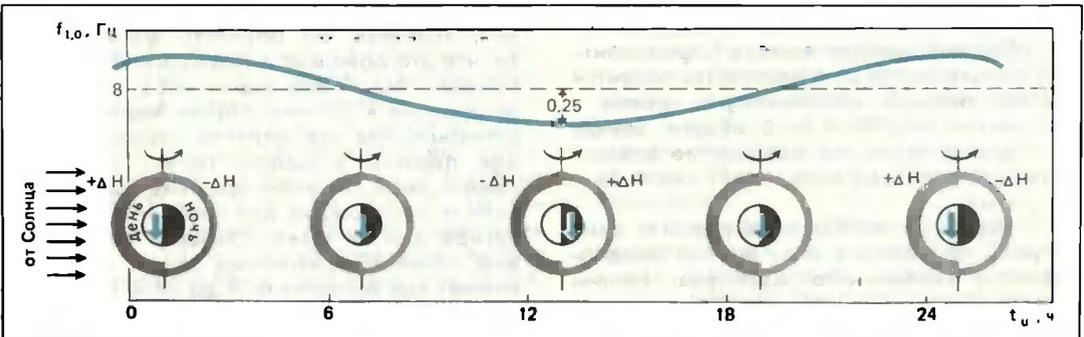
<sup>6</sup> Ксанфомалити Л. В. — Там же, 1979, т. XVII, № 5, с. 747.

<sup>7</sup> Блюх П. В., Николаенко А. П., Филиппов Ю. Ф. — Геомагнетизм и аэронавтика, 1968, т. 8, № 2, с. 250.



Расщепление первой собственной частоты  $f_1$  для некоторых моделей резонатора Земля—ионосфера. В промежутке, ограниченном идеальными проводниками,  $f_1 = 10,6 \text{ Гц}$ . В случае конечной проводимости однородной ионосферы  $f_1$  уменьшается до  $8 \text{ Гц}$ . Полярная неоднородность понижает симмет-

рию полости от сферической до цилиндрической, в результате вырождение частично снимается и возникают две частоты — дублет  $f_{1,0}$  и  $f_{1,\pm 1}$ . Влияние геомагнитного поля на свойства ионосферной плазмы приводит к полному снятию вырождения резонансного уровня.



Суточные вариации центральной частоты триплета, вызванные эксцентриситетом геомагнитного поля и неоднородностью ионосферы «день — ночь». Внизу изображены последовательные положения геомаг-

нитного диполя [стрелка] относительно неоднородности «день — ночь» в различные моменты мирового времени  $t_u$ . Толщина ионосферы больше на стороне, обращенной к Солнцу.

вичское? Ведь выбор нулевого меридиана на земном шаре не должен влиять на свойства резонатора, если только в самом резонаторе не существует какого-то физически выделенного меридиана.

Оказывается, такой меридиан действительно существует и расположен на 150° в. д. В этом направлении смещен от центра Земли магнитный диполь, который можно представить как главный источник геомагнитного поля. Величина смещения (эксцентриситет) не очень велика, около 430 км, и тем не менее оно приводит к довольно сильным изменениям магнитного поля по долготе: если обходить Землю по экватору, напряженность поля будет изменяться от 0,29 до 0,41 Гс.

Итак, совместное влияние эксцентриситета геомагнитного поля и неоднородности «день — ночь» способны привести к временным вариациям резонансных частот, на которые расщепляется первый резонансный уровень. Расчеты показывают, что центральная частота начинает зависеть от мирового времени  $t_u$ :

$$f_{1,0} = 8 + 0,25 \cos \frac{\pi}{12} (t_u - 1,2);$$

частота измеряется в герцах, а время — в часах.

Полное изменение  $f_{1,0}$  в течение суток составляет около 0,5 Гц. Еще раз напоминаем, что эти изменения происходят в едином времени на всем земном шаре, т. е. синфазно. Это тем более интересно, что геофизических эффектов, происходящих в едином для всей планеты времени, не так уж много, обычно главную роль играет местное время.

Несмотря на то что расчеты подобных вариаций резонансных частот проведены около 15 лет назад, до настоящего времени существование эффекта экспериментально не доказано. Главная трудность связана с низкой добротностью резонатора, вследствие чего расщепившиеся подуровни практически не разделяются. Более того, частично перекрываются даже разные уровни. Последнее обстоятельство так же, как и эксцентриситет магнитного поля, приводит к суточным вариациям в спектре шумов. Они возникают за счет изменений расстояния до источников при перемещении грозных очагов по Земле и «контролируются» местным временем. Выделить вариации планетарного масштаба на фоне изменений, зависящих от местного времени, в принципе можно, но не очень просто.

## ГРОЗОВЫЕ РАЗРЯДЫ ВОЗБУЖДАЮТ ГЛОБАЛЬНЫЙ РЕЗОНАТОР

В лабораторных условиях объемные резонаторы исследуют, возбуждая их на разных частотах. Колебания становятся наиболее интенсивными, когда частоты источника и резонатора совпадают. Повторить тот же опыт в глобальном резонаторе можно только ценой больших материальных затрат. Для этого прежде всего необходимо передатчик, работающий в диапазоне сверхнизких частот. Но эффективность СНЧ-антенны невелика, так как практически любая антенна имеет ничтожные размеры по сравнению с интересующей нас длиной волны. (Напомним, что на частоте 10 Гц длина волны составляет 30 тыс. км.)

Короткие антенны преобразуют в излучение лишь малую часть подводимой мощности<sup>8</sup>. В качестве примера приведем данные СНЧ-передатчика, разработанного Массачусетским технологическим институтом (США); он начал функционировать в 70-х годах. Антенна состоит из двух горизонтальных вибраторов длиной 22,5 км, заземленных на концах. При токе в 300 А излученная мощность составляла около 1 Вт на частоте 45 Гц. На более низких частотах излучение еще слабее, но там передатчик не использовался. Легко представить себе трудности измерения отклика резонатора, если вспомнить, что указанная мощность распределяется по всему космическому объему резонатора ( $V \approx 2 \cdot 10^{19} \text{ м}^3$ ).

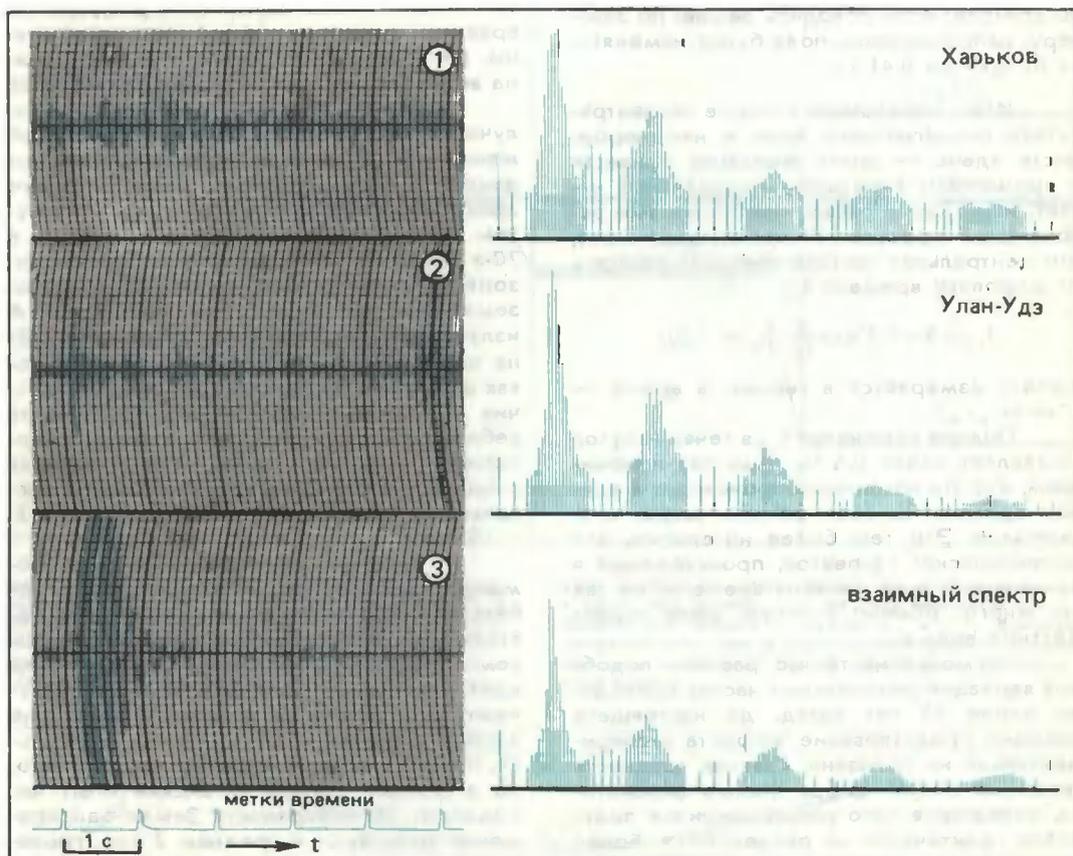
К счастью, природа пришла на помощь радиофизикам, не только создав глобальный резонатор, но и снабдив его постоянно действующим бесплатным источником колебаний огромной мощности. Речь идет о грозных разрядах, которые излучают радиоволны в широком диапазоне частот, включая и СНЧ. Может показаться, что грозы происходят не так уж часто, но в данном случае житейский опыт нас подводит. На поверхности Земли одновременно действуют в среднем 2 тыс. грозных очагов, а каждую секунду сверкает около 100 молний. Мощность обычной молнии составляет тысячи мегаватт, но изредка, примерно с минутным интервалом,

<sup>8</sup> Строго говоря, гигантские СНЧ-антенны все же существуют — это линии электропередач единой энергетической системы. Излучение такой антенны на частоте 50 Гц способно возбуждать восьмую гармонику резонансных колебаний полости Земля — ионосфера.

встречаются «супермолнии» мощностью в десятки раз большей. Хотя лишь ничтожная доля, от  $10^{-3}$  до  $10^{-4}$  всей энергии молнии преобразуется в электромагнитное излучение, тем не менее в полости Земли — ионосфера возбуждаются достаточно интенсивные резонансные колебания с напряженностью поля около 0,1 мВ/м.

Обнаружить такое поле можно сравнительно простыми средствами<sup>9</sup>. Для этого используется приемник прямого усиления, работающий в СНЧ-диапазоне. Поскольку надо измерять вертикальную составляющую

электрического поля либо горизонтальную компоненту магнитного поля, применяются электрические или магнитные антенны. Наиболее распространены электрические антенны с изолированной сосредоточенной емкостью в виде шара или цилиндра, приподнятого над землей на мачте. Магнитные антенны, как правило, представляют собой рамку, часто имеющую пермалловый или ферритовый сердечник. В последние годы стали также применять более сложные сверхпроводящие устройства. В качестве записывающей аппаратуры исполь-



Примеры записи СНЧ-сигнала и результатов спектральной обработки. Слева — вертикальная компонента электрического поля. Характерные участки записи: 1 — фоновое излучение, создаваемое всей глобальной грозовой активностью; 2 — всплеск СНЧ-излучения от одиночного сверхмощного грозового разряда, «супермолнии», удаленной от приемника на тысячи — десятки тысяч километров; 3 —

вспышка излучения, связанная с ближней молнией, расположенной на расстоянии менее 1000 км.

Справа — результаты спектральной обработки сигналов, зарегистрированных синхронно в пунктах наблюдения, разнесенных на 5 тыс. км. Длительность записи 10 мин. Два верхних рисунка показывают энергетические спектры сигналов в Харькове и Улан-Уде, нижний — их взаимный спектр. Видно, как корреляционная обработка подавляет помехи: спектральные максимумы во взаимном спектре оказываются рельефнее, а их наблюдаемое число увеличивается, уверенно проступает пятый резонансный пик.

<sup>9</sup> Напомним, что радиозлучение гроз было обнаружено в 1895 г., когда заработал первый радиоприемник-грозоотметчик А. С. Попова.

зуют современные самописцы, рассчитанные на частоты до ста герц, или магнитографы.

Грозовые разряды — это случайные процессы; они создают шумоподобные сигналы. Такие сигналы, пройдя резонатор, приобретают в спектре характерные максимумы на частотах, близких к собственным частотам резонатора. Чтобы спектральные максимумы проявились достаточно четко, их запись должна длиться не меньше нескольких минут. Более короткие записи приводят к неустойчивым спектрам, что объясняется нестационарностью процесса. Особенно сильно в таких коротких записях проявляют себя «супермолнии», о которых говорилось выше. Они порождают отдельные, длительностью около 0,5 с, всплески излучения, заметно превышающие фон.

При регистрации глобальных резонансов основные трудности возникают из-за помех. Ими являются все те сигналы, поступающие в приемник, которые не имеют отношения к глобальным электромагнитным резонансам. Особенно велики помехи на частоте линий электропередач и ее гармониках. Поэтому, во-первых, измерения стараются проводить вдали от крупных населенных пунктов и линий электропередач, используя батарейное питание, а во-вторых, сигналы на промышленной частоте 50 (либо 60) Гц подавляют с помощью специальных фильтров<sup>10</sup>.

Общее свойство помех СНЧ-диапазона — локальность, т. е. в разнесенных на значительное расстояние пунктах наблюдения помехи взаимно независимы. Один из радикальных способов борьбы с помехами — измерение так называемых взаимных спектров сигнала в далеко разнесенных пунктах приема. Конечно, синхронные измерения во многих пунктах выполнить намного сложнее, но зато они позволяют не только более точно определить параметры резонанса, но в ряде случаев и установить координаты особо мощных молний.

### ВОЗБУЖДЕНИЕ РЕЗОНАТОРА ЗЕМЛЯ — ИОНОСФЕРА ИЗ КОСМОСА

Прямые измерения с помощью космических аппаратов показали, что в магнитосфере Земли существуют электромагнитные колебания широкого диапазона ча-

стот, включая частоты шумановского резонанса. Напряженность поля магнитосферных шумов возрастает с уменьшением частоты и в нижней части СНЧ-диапазона в несколько раз превышает те значения, которые наблюдаются внутри резонатора. Это наводит на мысль, что наряду с грозowymi источниками резонатор может быть возбужден и космическим радиоизлучением, хотя его вклад будет сильно ослаблен экранирующим действием ионосферы. Известно, что условия распространения низкочастотных электромагнитных волн в космической плазме зависят от того, в каком направлении относительно геомагнитного поля распространяется радиоволна. Вдоль магнитных силовых линий возникают своеобразные каналы, в которых радиоволны распространяются с очень небольшим затуханием. Прозрачность ионосферы также возрастает, если электромагнитная волна распространяется вдоль магнитного поля Земли.

Поэтому можно себе представить, что в полярных районах в ионосфере имеется два полупрозрачных «окна», через которые в основном и происходит возбуждение резонатора из космоса. Шумы, проникающие в резонатор из магнитосферы через северное и южное «окна», могут оказаться когерентными, т. е. будут отличаться друг от друга только запаздыванием по времени. Так произойдет, например, если вдоль магнитной силовой линии в оба полушария придут сигналы от одного и того же компактного магнитосферного источника<sup>11</sup>.

Временная задержка широкополосных сигналов приводит к своеобразной интерференции: на одних частотах волны складываются и усиливаются, а на других — гасятся. В результате спектр регистрируемых на Земле шумов оказывается сильно изрезанным, и в пределах одной резонансной линии возникает несколько минимумов и максимумов. Изрезанность спектра — характерный признак «двухточечного» когерентного возбуждения резонатора. Она может рассматриваться как косвенное доказательство космической природы источников, так как когерентные грозовые разряды неизвестны.

Сильно изрезанные спектры впервые наблюдались норвежскими учеными в конце 60-х годов в высоких широтах<sup>12</sup>, а в

<sup>11</sup> Николаенко А. П.— Геомагнетизм и аэрономия, 1972, т. 12, № 3, с. 458.

<sup>12</sup> Egeland A., Larsen T. R.— J. Geophys. Res., 1968, v. 73, p. 4986.

<sup>10</sup> Во многих странах линии электропередач работают на частоте 60 Гц.

80-х годах были зарегистрированы на советской станции «Северный полюс»<sup>13</sup>. Расчеты, выполненные при некоторых предположениях о природе магнитосферного источника, приводят к довольно причудливым спектральным пикам, которые, однако, хорошо согласуются с наблюдаемыми. Такие «космические» спектры зарегистрированы только в полярных районах, где амплитуда полей, возбужденных грозовыми разрядами, сравнительно невелика. Поэтому можно утверждать, что главным источником, возбуждающим резонатор, все

же остаются земные грозы. Это тем более верно, если рассматривать колебания на второй и последующих гармониках, так как прозрачность ионосферы в СНЧ-диапазоне резко падает с увеличением частоты.

### ЧТО МОЖНО УЗНАТЬ, НАБЛЮДАЯ ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕЗОНАНСЫ

Радиофизики первыми сообразили, какую практическую пользу можно извлечь из наблюдений глобальных резонансов. Таким образом были найдены фазовая ско-

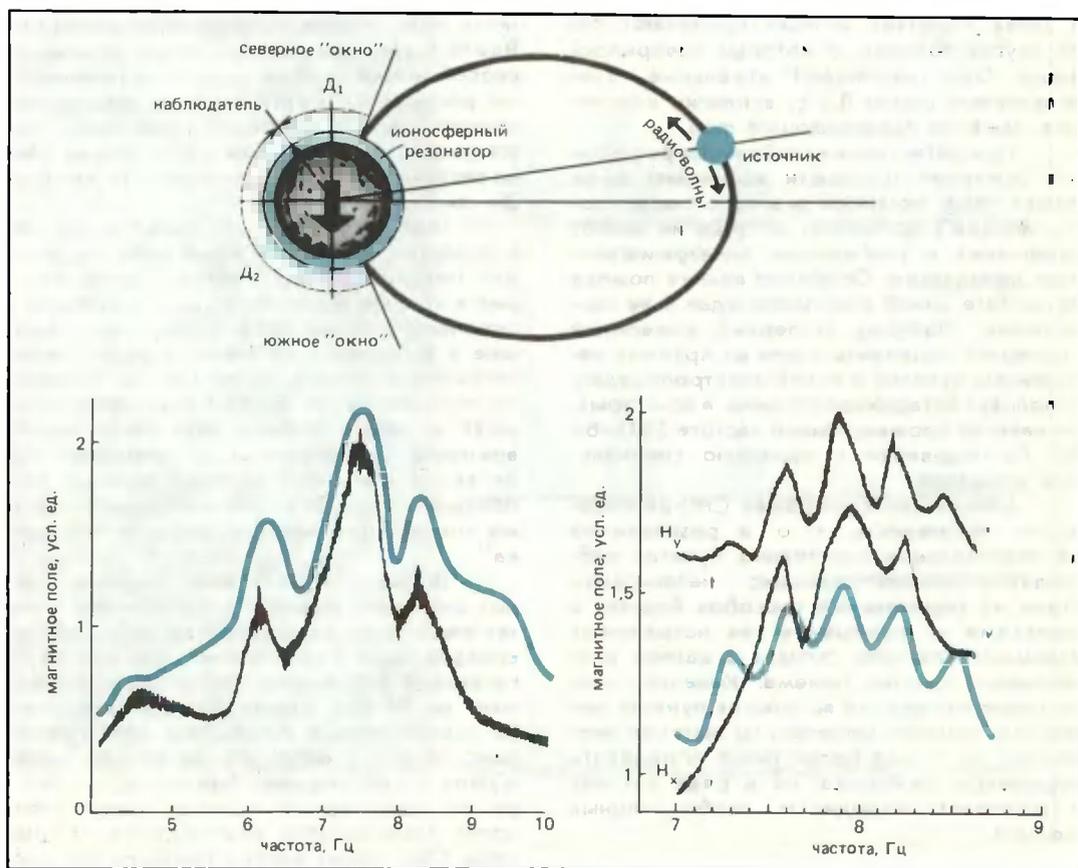


Схема возбуждения резонатора Земля—ионосфера из космоса (вверху). Расстояние  $D_1$  от наблюдателя до «окна» в Северном полушарии — 2 тыс. км, а в Южном,  $D_2$ , — 16 тыс. км. Космический сигнал некогерентно складывается с излучением гроз, удаленных на 11 тыс. км. Стрелка — магнитный диполь.

Сопоставление экспериментальных спектров (черные кривые), наблюдавшихся в высоких широтах, с расчетными данными (цветные кривые) (внизу). Слева — экспериментальный спектр, полученный норвежскими исследователями, и расчетные данные для колеблющегося магнитосферного источника.

Справа — экспериментальные данные советских исследователей, полученные на дрейфующей станции «Северный полюс». Регистрировались две компоненты магнитного поля  $H_x$  и  $H_y$ . Расчет проведен для модели неподвижного источника.

<sup>13</sup> Богородский В. В., Гусев А. В., Поляков А. П., Ярцев М. Б. — Доклады АН СССР, 1982, т. 267, № 4, с. 815.

рость и затухание СНЧ-радиоволн, которые связаны простыми соотношениями с собственной частотой и добротностью резонатора. Этот способ определения радиотехнических характеристик полости Земли — ионосфера и по сей день является основным, если не единственным, в СНЧ-диапазоне.

Затем резонансами заинтересовались геофизики, но, прежде чем рассказать, что удалось им сделать, рассмотрим вопрос, который может показаться первоапрельской шуткой. Можно ли, находясь в закрытой комнате, установить, что Земля имеет форму шара и оценить ее размеры?

Оказывается, что курьезная задача может быть решена путем спектрального анализа естественного СНЧ-шума, который существует повсюду, в том числе и в закрытых помещениях, если только последние не снабжены специальными магнитными экранами. Частоты максимумов спектральной плотности образуют последовательность  $f_n = 8, 14, 20, 26 \dots$  Гц. С другой стороны, собственные частоты тонкого сферического слоя определяются по формуле Шумана:

$$f_n = \frac{c}{2\pi a} \sqrt{n(n+1)}.$$
 Можно убедиться, что зависимость экспериментальных значений  $f_n$  от  $n$  с высокой точностью (погрешность не превосходит 3%) пропорциональна

$\sqrt{n(n+1)}$ , что характерно только для сферического резонатора. Следовательно, спектр шумов свидетельствует о сферичности нашей планеты. Что же касается коэффициента перед корнем, то для согласования результатов наблюдений с расчетной формулой его следует положить равным 5,7, откуда немедленно следует оценка радиуса Земли  $a \approx 8,3$  тыс. км. Относительная погрешность этой оценки  $\Delta a/a$  обратно пропорциональна добротности резонатора, т. е. равна примерно 1/4. Окончательный ответ формулируется так:  $a = 8,3 \pm 2,1$  тыс. км. Истинное значение  $a = 6,4$  тыс. км попадает в нашу оценку.

Если бы резонатор имел идеальные стенки, совпадение было бы полным. Некоторое расхождение в цифрах связано с влиянием ионосферы на собственные частоты и добротность резонатора. Отсюда становится ясной принципиальная возможность исследования ионосферы с помощью глобальных резонансов. Причем резонансные данные позволяют судить о свойствах ионосферы в целом, над всей Землей. К сожалению, в обычных условиях наблюдается небольшое число спектральных максимумов, не более пяти. Поэтому об обрат-

ной задаче в строгой постановке говорить не приходится. Тем не менее даже ограниченные данные, которые получают в экспериментах, оказываются на практике очень полезными. Например, с их помощью построены модели, дающие некоторые средние (для всей Земли) профили проводимости нижней ионосферы. Удастся также обнаружить и крупные неоднородности в строении ионосферы. Надо сказать, что ионосферная стенка, несмотря на ее колоссальные размеры, представляет собой довольно хрупкое образование, которое чутко реагирует как на процессы, протекающие на Солнце, так и на человеческую деятельность<sup>14</sup>, особенно если она становится неразумной. Все это немедленно отражается на резонансных спектрах СНЧ-шумов.

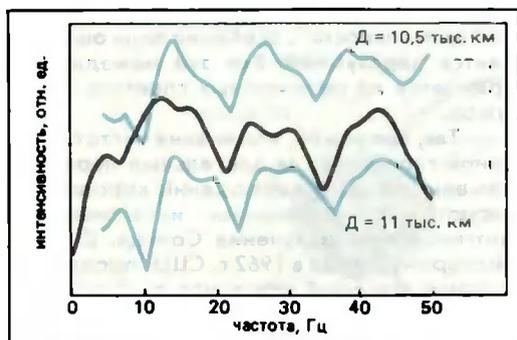
Так, например, изменения частоты основной гармоники за длительные периоды времени (месяцы) наблюдений хорошо согласуются с вариациями интенсивности рентгеновского излучения Солнца. С другой стороны, когда в 1962 г. США произвели высотный ядерный взрыв над о. Джонстон в Тихом океане, то, согласно измерениям, проведенным во Франции, в первые же секунды после взрыва все четыре регистрируемые резонансные частоты снизились на 0,5—0,9 Гц. Потребовалось много часов, чтобы ионосфера «пришла в себя» и резонансные частоты вернулись к своим обычным значениям. Опасность таких «экспериментов» очевидна: а priori нельзя исключить возможности необратимых изменений окружающей среды со всеми неконтролируемыми последствиями.

Как уже отмечалось, в течение суток регулярно изменяются частоты и интенсивности спектральных максимумов глобальных резонансов. Эти изменения связаны не с ионосферой, а с перемещением грозových очагов по земному шару. Конечно, подобная особенность затрудняет исследования ионосферных возмущений, зато она позволяет изучать глобальную грозовую активность.

Закономерности пространственно-временного распределения гроз в масштабах всей планеты были установлены в результате многолетних наблюдений в различных районах земного шара, преимущественно над сушей. Эта трудоемкая работа позволила создать модели глобаль-

<sup>14</sup> Линии электропередач влияют на ионосферу и магнитосферу Земли.— Природа, 1984, № 7, с. 106.

ной грозовой активности, которые, разумеется, упрощают истинную картину. На основе этих моделей можно рассчитать суточные вариации резонансных частот и сравнить их с теми, которые регистрируются в экспериментах. Таким образом, некоторые представления получают дополнительное подтверждение, а другие, наоборот, отвергаются. Согласно наблюдениям, проведенным при участии одного из авторов в конце 60 — начале 70-х годов<sup>15</sup>, достаточно удовлетворительно «работает»



Определение расстояния до молнии по сопоставлению экспериментального (черная кривая) и расчетных спектров СНЧ-сигналов (цветные кривые). Расчет проводился для двух расстояний источник—приемник. Наибольшее сходство расчетных и опытных данных получено для расстояния наблюдатель—«супермолния», равного 11 тыс. км.

Глобальное распределение «супермолний». Цветные кружки — положение источников, определенное с помощью синхронных наблюдений в двух пунктах приема, разнесенных по долготе на 5 тыс. км. Дальность до молнии определялась по форме спектра принятого излучения. Черные кружки — координаты, найденные с помощью наблюдений из одного пункта. Расстояние до разряда определялось как и ранее, по форме спектра вертикального электрического поля, а направление на источник — по ориентации вектора магнитного поля радиоволны. Стрелкой обозначены координаты «супермолнии», спектр которой приведен на предыдущем рис.

простая модель единого мирового грозового центра, расположенного на экваторе примерно там, где местное время равно 17 ч. В литературе обсуждаются и другие, более сложные схемы распределения гроз.

Выводы о применимости той или иной модели имеют статистический характер, так как основаны на анализе усредненного отклика резонатора на множество (обычно более 10 тыс.) грозовых разрядов. Иное дело, когда обрабатываются отдельные



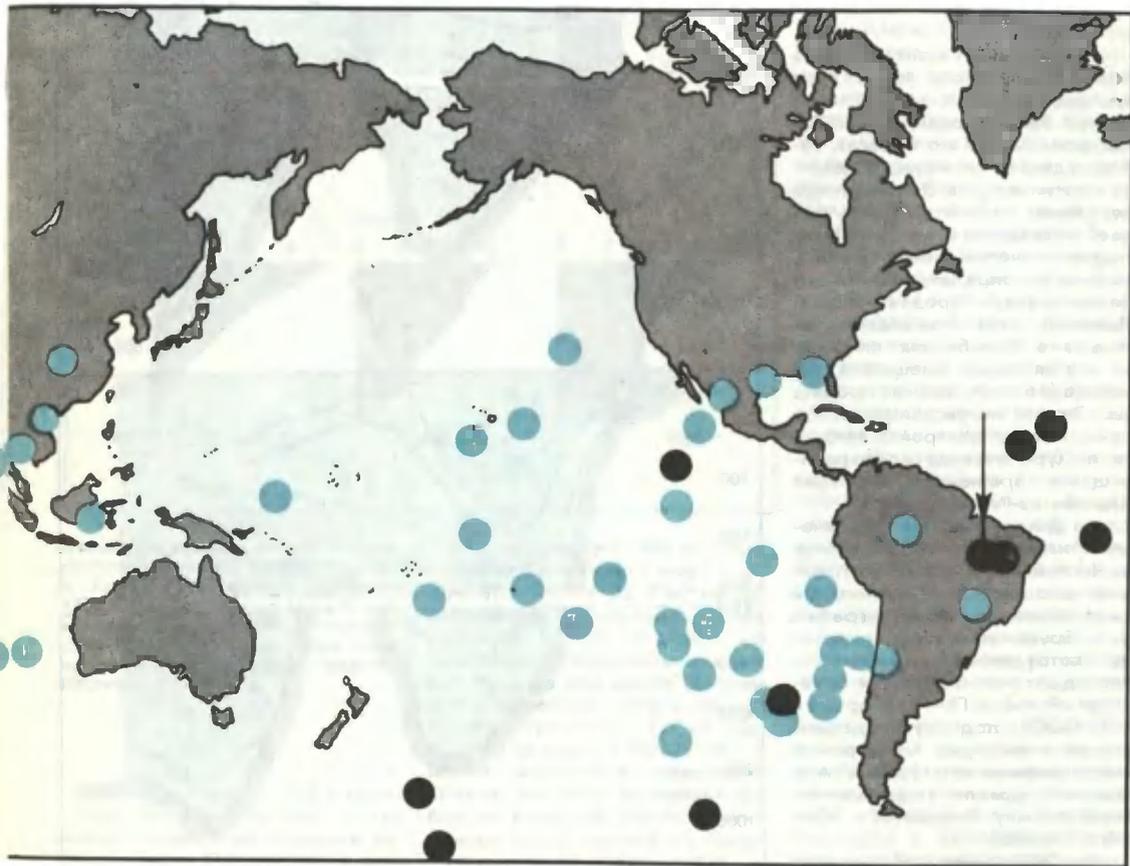
всплески СНЧ-излучений, порожденные, как мы уже говорили, «супермолниями». В этом случае по форме спектра удается определить расстояние до источника, а при синхронных наблюдениях в двух и более пунктах — координаты «супермолнии». Если одновременно регистрировать электрическую и магнитную составляющие сигнала, можно обойтись и одним пунктом наблюдений, чтобы найти местоположение источника. Таким образом было получено

<sup>15</sup> Бормотов В. Н., Лазебный Б. В., Николаевко А. П., Шульга В. Ф. — Геомагнетизм и аэрономия, 1972, т. 12, № 1, с. 135.

пространственное распределение мощных грозовых разрядов по всему земному шару. В одной серии экспериментов наблюдения велись синхронно в Харькове и в Иркутске, а в другой — регистрировались вертикальная составляющая электрического и две горизонтальных составляющих магнитного поля в Харькове.

Оказалось, что сверхмощные грозовые разряды возникают наиболее часто над океанами, вообще говоря, не повторяя картину «средних» гроз. Конечно, не-

ли с момента своего зарождения обитает на дне громадного объемного резонатора, заполненного электромагнитным излучением. А что, если резонансные колебания каким-то образом влияют, пусть не на все, а хотя бы на некоторые из живых организмов? Очень интересным, например, является совпадение диапазона первых резонансов (8—30 Гц) с полосой частот  $\alpha$ - и  $\beta$ -ритмов человеческого мозга. Однако авторы не считают себя компетентными в вопросе о том, случайно или нет это совпадение.



плохо получить независимые подтверждения этого вывода, но важен и сам факт, что, находясь на суше за тысячи километров от морских берегов, можно изучать разряды над океанами.

Не стремясь к перечислению всех приложений, связанных с глобальными электромагнитными резонансами, упомянем лишь еще об одном удивительном факте. Как уже ясно читателю, все человечество, да и вся живая природа Зем-

Итак, были продемонстрированы наиболее характерные задачи, связанные с глобальными резонансами. В заключение нам хочется еще раз подчеркнуть экологическую чистоту описанных исследований, чем они выгодно отличаются от почти всех других методов зондирования окружающей среды.

## Перемены в гидрохимическом режиме Каспия

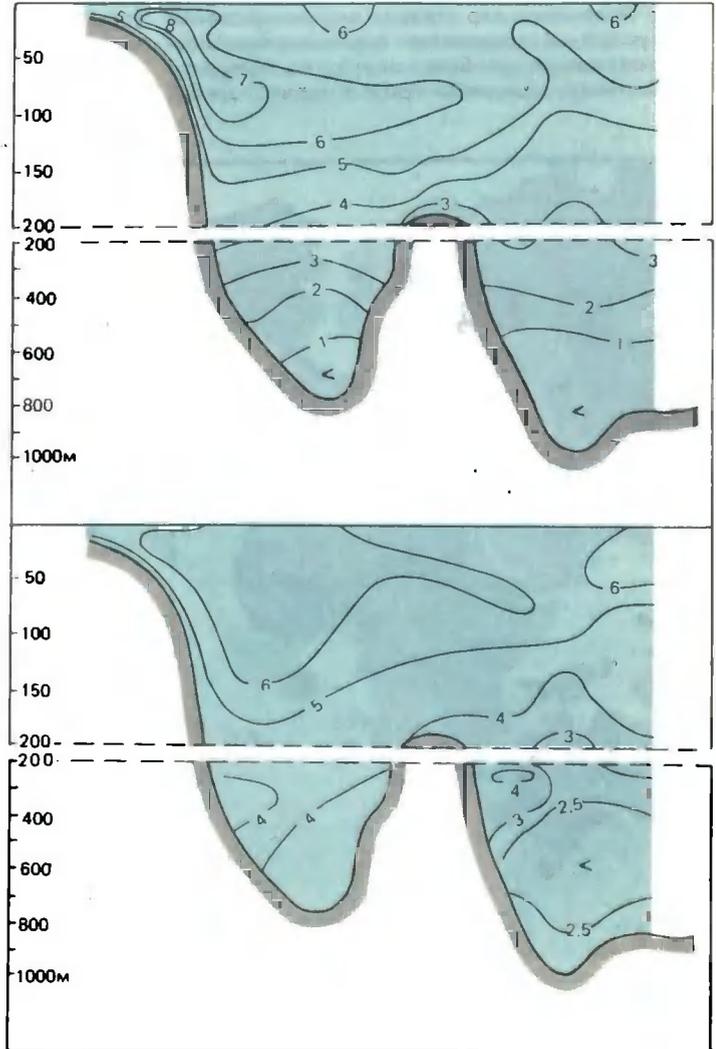
**О. К. Бордовский,**  
доктор геолого-минералогических наук

Институт океанологии  
им. П. П. Ширшова АН СССР  
Москва

На наших глазах меняется облик Каспийского моря. Упал его уровень, и исчезли многие заливы Каспия; здания, некогда построенные на его берегах, теперь удалены от моря на десятки и сотни метров. Эти заметные перемены сопровождаются менее очевидными — меняется гидрохимический режим Каспия, во многом определяющий и его биологическую продуктивность. Причины этих изменений не только в колебаниях климата, но и в активном вмешательстве человека в естественные процессы. Это и интенсивный отбор речных вод, и постройка на Волге и Куре каскада водохранилищ, и временная изоляция Кара-Богаз-Гола.

Детальные гидрохимические наблюдения — проводились на Каспийском море в 30-х годах основоположником советской химической океанологии С. В. Бруевичем<sup>1</sup>. Недавно группа сотрудников лаборатории биогеохимии Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР под руководством автора этих строк на морском гидрографическом судне «Г. Агафонов» провела гидрохимическую съемку Среднего и Южного Каспия.

Сравнение полученных нами результатов с данными С. В. Бруевича и другими работами, проводившимися на Каспии, позволили определить характер изменений гидрохимического режима за значительный отрезок времени.



Концентрация кислорода в мл/л (цифры на изолиниях) на меридиональном разрезе протяженностью около 600 км через Средний [слева] и Южный [справа] Каспий в 1934 г. (вверху) и в 1983 г. (внизу). В настоящее время концентрация  $O_2$  даже в придонной области глубоководной впадины Южного Каспия не опускается ниже 2,5 мл/л, в то время как

в 1934 г. здесь кислорода вообще не было, а присутствовал сероводород. Разрыв на разрезе обусловлен разными вертикальными масштабами.

<sup>1</sup> Бруевич С. В. Гидрохимические черты Каспийского моря. — Природа, 1938, № 4, с. 16.

Напомним, что Каспийское море — это бессточный водоем, реликт океана Тетис, утративший связь с Мировым океаном около 10 тыс. лет назад. Его уровень на 28 м ниже уровня океана. Но по степени солености

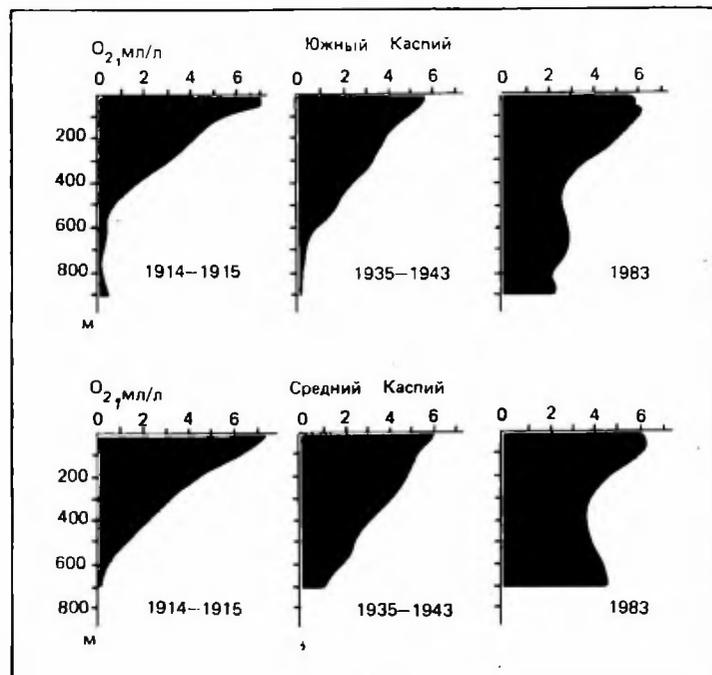
сти, его подъем, напротив, опреснением. В свою очередь, увеличение солености способствует усилению вертикального перемешивания вод и тем самым влияет на гидрохимическую структуру.

неоднородность гидрологических и гидрохимических условий в море. Даже незначительное увеличение солености приводит к тому, что при одном и том же зимнем охлаждении вертикальная конвекция (а это основной механизм перемешивания на Каспии) охватывает все большие глубины. Благодаря большой протяженности с юга на север климат отдельных районов Каспийского моря резко различается. Зимой Северный Каспий замерзает, и льды доходят до середины Среднего Каспия, а часть Южного Каспия расположена в зоне субтропиков. Поэтому зимнее конвективное перемешивание, а следовательно, аэрация глубин, сначала охватывает Средний Каспий, а далее воды, переливаясь через Апшеронский порог, проникают в Южный Каспий. Это как бы два сообщающихся сосуда, но объем вод Южного Каспия примерно в 2 раза больше Среднего. Южный Каспий в течение всего года отличается более устойчивым расслоением — стратификацией. Поэтому гидрохимические характеристики в Южном Каспии изменяются существенно медленнее, чем в Среднем.

Исследования показали, что между такими гидрохимическими показателями, как концентрация растворенного кислорода, pH воды, концентрация биогенных соединений (связанного азота, фосфора) существуют определенные соотношения, и изменение концентрации одного из них обычно сопровождается изменением другого.

Один из наиболее ярких гидрохимических показателей — содержание растворенного кислорода. Его источники — атмосфера и фотосинтез, при котором фитопланктон выделяет кислород и одновременно поглощает биогенные соединения. Кислород при этом накапливается в верхних слоях воды, а глубже он расходуется на биохимическое окисление органических соединений — их минерализацию. Здесь накапливается  $CO_2$ , а биогенные соединения вновь превращаются в исходные растворенные минеральные формы.

Аэрация глубоководной области Среднего и Южного Каспия за прошедшие годы су-



Изменение концентрации растворенного кислорода в водах Южного и Среднего Каспия с 1914 по 1983 г. За этот период воды последовательно обогащаются кислородом. Больше и равномернее насыщаются кислородом воды Среднего Каспия.

(в среднем около  $13^0/00$ ) и основному солевому составу — это все же море, а не большое соленое озеро. Однако после изоляции от океана жизнь этого бассейна и все его существование полностью зависят от речного стока. Доминирующую роль в этом стоке играет Волга (около 80 % речного стока). Баланс между приходом — в основном речным стоком и атмосферными осадками — и расходом на испарение определяет уровень Каспия и влияет на его соленость. Падение уровня сопровождается увеличением солено-

сти. За период с 1890 по 1970 г. уровень Каспийского моря в целом упал почти на 3 м. Но это понижение происходило неравномерно. С 1900 по 1930 г. наблюдалось относительно высокое и более или менее стабильное положение уровня. Резкое падение уровня (на 1,7 м) произошло за период 1930—1940 гг. Более медленное понижение уровня, частично вызванное отбором воды на хозяйственные нужды, продолжалось и в последующие годы (1940—1977), за которые уровень понизился еще на 1,2 м. С 1976 г. началось повышение уровня (в среднем на 5—10 см в год), обусловленное климатическими причинами.

Колебания уровня Каспия происходили неоднократно и в прошлом, чему имеются исторические и геологические свидетельства. Эти колебания носят периодический характер и существенно влияют на вертикальную

щественно возросла, что явилось, прежде всего, следствием усиления вертикальной циркуляции, связанной с падением уровня.

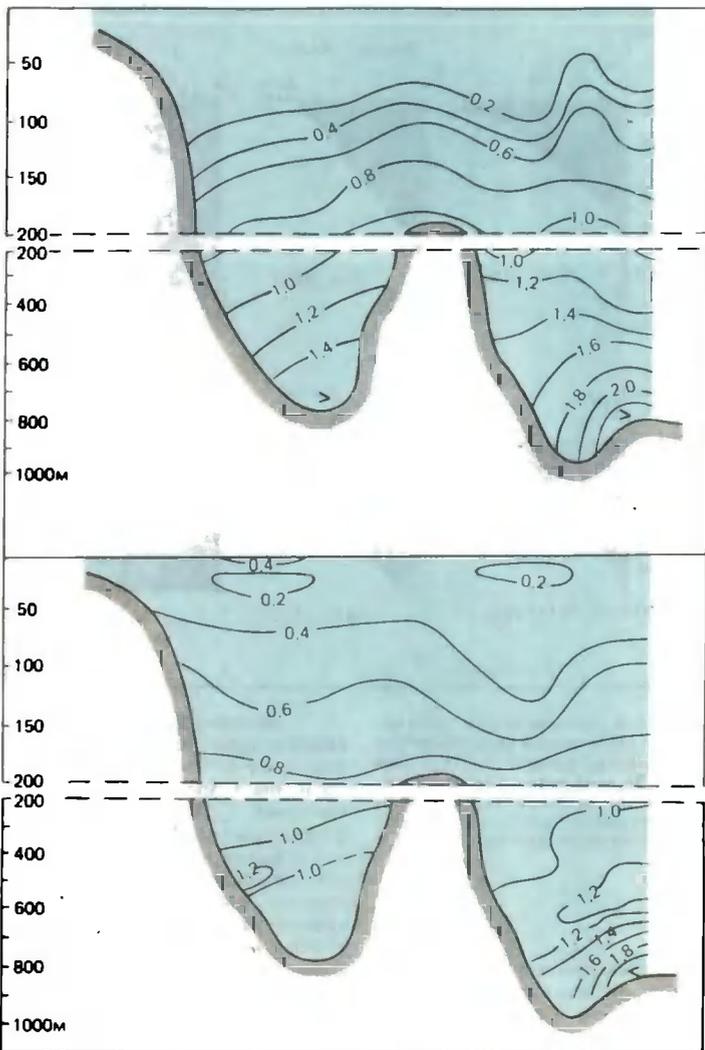
Еще в 30-х годах С. В. Бруевич установил, что воды Каспийского моря отличаются повышенным содержанием  $\text{CO}_2$ , и это море, в отличие от океана, не поглощает, а выделяет  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

Поверхностные воды Каспийского моря и в настоящее время пересыщены  $\text{CO}_2$  ( $400 \cdot 10^{-6}$  атм), что превышает парциальное давление этого компонента в атмосфере и тем самым направляет поток  $\text{CO}_2$  из моря в атмосферу. С глубиной парциальное давление  $\text{CO}_2$  ( $p\text{CO}_2$ ) в водах возрастает и достигает максимальных значений в глубоководной впадине Южного Каспия. Характерно, что во впадине Среднего Каспия  $p\text{CO}_2$  ниже (до  $800 \cdot 10^{-6}$  атм), тогда как в Южной —  $1100 \cdot 10^{-6}$  атм. Такое распределение  $p\text{CO}_2$  подтверждает более интенсивную вентиляцию вод в Среднем Каспии по сравнению с Южным. Наблюдения за таким элементом карбонатной системы, как pH, позволяют проследить его динамику почти за 50 лет. Оказалось, что начиная с 1934 г. pH каспийских вод постепенно возрастал и выравнивался, причем более интенсивно в Среднем Каспии и несколько слабее — в Южном. Это наблюдение хорошо согласуется с изменением распределения кислорода и является следствием одной и той же причины — усиления вертикального перемешивания в Среднем и Южном Каспии. Однако, несмотря на усиление аэрации вод, и, следовательно, их хорошую вентиляцию, воды Каспийского моря все еще поставляют  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

Благодаря мощному речному стоку, основные элементы карбонатной системы — pH и щелочность вод Каспия — существенно выше, чем в океане. Воды Каспия, в особенности поверхностные, пересыщены карбонатами кальция, и в них наблюдается избыток гидрокарбонат-ионов и кальция. Пересыщение поверхностных вод карбонатом кальция создает предпосылку для мощного выделения этого компонента из вод. Одна-

ко основной механизм выделения карбонатного материала связан с биогенной активностью, и в Каспийском море широко распространены ракушечники и другие органические карбонатные осадки. Химическое осаждение

карбоната кальция и в других районах Мирового океана играет явно подчиненную роль, но в целом мощное накопление карбонатных осадков уменьшает выделение  $\text{CO}_2$  в атмосферу Каспием.



Концентрация фосфатов ( $P$ , мкг-ат/л — цифры на изолиниях) на меридиональном разрезе через Средний (слева) и Южный (справа) Каспий в 1934 г. [вверху] и в 1983 г. [внизу]. Их распределение стало более равномерным, хотя, в целом, увеличение концентрации с глубиной сохранилось. В большей степени произошло обеднение фосфатами глубинных вод Среднего Каспия, в мень-

шей — Южного. Усиление динамики привело к их более равномерному распределению, а хорошая аэрация глубин способствует более полной минерализации органического соединенного фосфора. Таким образом, если раньше дефицит или отсутствие кислорода в глубинных и придонных слоях сдерживали минерализацию органического вещества, то теперь она происходит более полно.

Усиление вертикального перемешивания отразилось и на изменении распределения биогенных элементов — минерального фосфора и связанного азота.

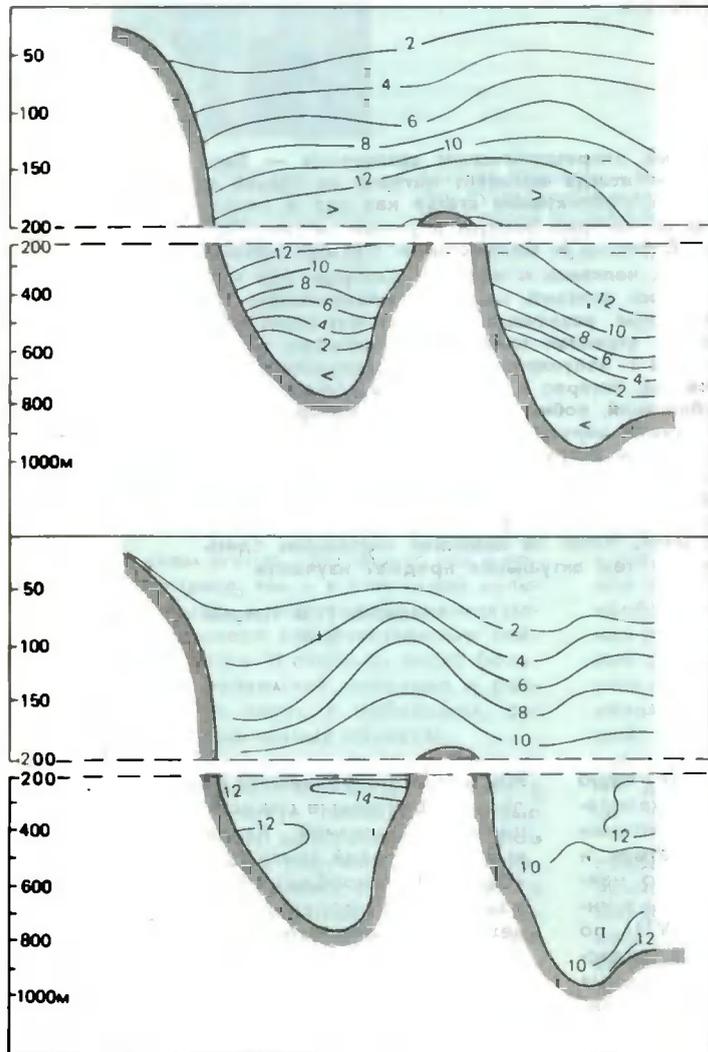
Проведя свой первый

рейс на Каспийском море в 1933 г., С. В. Бруевич пришел к выводу, что наиболее четкой основой для стратификации глубоководного Каспия является содержание биогенных элементов. На основе этого им были

выделены две зоны: зона обеднения биогенными элементами (0—100 м) и зона аккумуляции биогенных элементов. В свою очередь, первая зона была разбита на две подзоны — подзону фотосинтеза (0—25 м) и нитритную подзону (50—100 м). Зона аккумуляции разделена на нитратную подзону (200—400 м) и восстановительную подзону (600—800 м). Посмотрим, что сохранило, а что утратило Каспийское море за эти 50 лет от прежней гидрохимической структуры?

Результаты работ 1983 г. показывают, что подзона фотосинтеза сохранилась, причем насыщение вод кислородом стало даже большим. Нитритная подзона несколько поднялась и частично захватила подзону фотосинтеза. Наиболее существенные изменения произошли в зоне аккумуляции биогенных элементов. Восстановительная подзона исчезла, а нитратная подзона стала более мощной и доходит практически до дна. Таким образом, в целом изменения гидрохимической структуры Каспия за последние 50 лет в наибольшей мере сказались на его глубоководной области. По-видимому, более активная поверхностная зона скорее приспосабливается к новым условиям, да и эти условия для нее не столь сильно изменились за прошедшие годы.

В заключение о тенденциях в изменениях гидрохимических условий в Среднем и Южном Каспии. Если считать, что уровень Каспия будет продолжать расти или стабилизируется, то гидрохимические условия, скорее всего, будут эволюционировать в сторону ситуации 30-х годов, т. е. к периоду более стабильного уровня моря. Даже замедленное падение уровня моря в 60-х годах, по-видимому, сказалось на стабилизации кислородного режима в Среднем Каспии. Изучение изменения гидрохимического режима Каспийского моря дает возможность понять не только современные процессы, но и геологическое прошлое подобных ему бассейнов.



Концентрация нитратов [мкг-ат/л] в 1934 г. [вверху] и в 1983 г. [внизу]. На разрезе 1934 г. максимум концентраций наблюдается на глубине 200—400 м, а выше и ниже ее концентрация снижается. Следы этой нитратной подзоны наблюдались нами и в 1983 г., хотя того резкого снижения концентрации, которое было в 30-х годах, уже нет. Это естественно, так как количество растворенного кисло-

рода достаточно высокое, ничто теперь не ограничивает процесс нитрификации и преобразование азотистых соединений идет окислительным путем до конечных устойчивых продуктов — нитратов.

## Новая группа ретровирусов

А. Л. Лиознер, А. Ф. Быковский

Открытие новых микроскопических организмов — бактерий или вирусов — всегда вызывает интерес не только у самих исследователей. Публикуемая статья как раз и посвящена такому вопросу, который волнует и ученых, и широкую общественность, — биологии и иммунологии Т-лимфотропных вирусов, поражающих человека и обезьян. Авторам, как мне представляется, удалось отразить наиболее существенные аспекты проблемы, самые различные стороны изучения этих «неизвестных вирусов странной природы» (я цитирую название вышедшей в 1984 г. популярной книги французского ученого Жана Лейбовича), интерес к которым, во всяком случае по количеству публикаций, побил все рекорды. Авторы статьи уже много лет изучают вирусы данной группы, участвуют в международном научном сотрудничестве, без которого было бы трудно представить себе столь быстрые успехи в расшифровке природы вирусных поражений иммунной системы. Это придает публикации статьи в журнале «Природа» характер «научной первичности». Истин «в конечной инстанции» здесь пока еще немного — тем актуальнее предмет изучения.

Академик Р. В. Петров

Кто из людей, посветивших свою жизнь микробиологии, не читал увлекательной книги Поля де Крюи «Охотники за микробами»? Голландский писатель и исследователь рассказывает в ней о наиболее значительных эпизодах борьбы с инфекционными заболеваниями с XVIII по первую половину XX в., о становлении классической микробиологии, о судьбах ученых и открытиях. Введение Э. Дженнером прививок против оспы, создание вакцины против бешенства Л. Пастером, открытие фагоцитов И. И. Мечниковым и поражающих микробы «магических пуль» П. Эрлихом — эти события проходят на страницах книги как свидетельство жертвенных усилий науки в борьбе с болезнетворными микробами и вирусами. В каждой из этих исследовательских эпопей рано или поздно тор-

жествовал человеческий разум — создавались эффективные средства против инфекционных болезней. Казалось бы, овеянный романтикой книги П. де Крюи период «охоты за микробами» принадлежит прошлому. В век молекулярной биологии, генетической и клеточной инженерии пространство для открытия новых инфекционных болезней человека, казалось бы, почти исчезло. Однако события начала 80-х годов нашего столетия показали преждевременность такой точки зрения. Еще не все главы книги об открытии опасных инфекционных агентов написаны до конца...

### НОВЫЕ СТРАНИЦЫ СТАРОЙ КНИГИ

Первым из этих событий было открытие вируса, вызывающего лейкемию (белокровие) у человека. Столетняя дискуссия о возможной связи между вирусами и опухолевым ростом завершилась реальным

<sup>1</sup> Крюи П. де (де К р а й ф). Охотники за микробами. Изд. 3-е. М., 1959.



Александр Львович Люзнер, кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией иммуноферментного анализа Института иммунологии Министерства здравоохранения СССР. Занимается проблемами иммунной биотехнологии и противовирусного иммунитета.



Альберт Филиппович Быковский, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела структуры и функции микроорганизмов и лаборатории ассоциированных инфекций Научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии имени Н. Ф. Гамалеи АМН СССР. Область научных интересов — электронная микроскопия вирусов.

обнаружением агента, способного как в организме человека, так и в клеточной культуре превращать клетки крови в неограниченно делящиеся злокачественные лейкоэмические клетки. К счастью, число больных вирусной лейкемией невелико и распространен этот вирус в небольших, относительно ограниченных областях.

Вирусная лейкемия была открыта в 1980 г. А год спустя появились первые сведения о другом заболевании, которое в 1983—1984 гг. уже получило грозное название «чумы XX века». Информация о болезни, названной «синдром приобретенного иммунодефицита» (СПИД), из строго научных медицинских журналов быстро перешла на первые полосы газет, на экраны телевизоров, привела к псевдосенсациям и вспышке настоящей «эпидемии страха» в США и ряде западных стран<sup>2</sup>. О СПИД и разгоревшихся вокруг этого заболевания прениях и страстях, нагнетаемых западной прессой, уже подробно писали наши ведущие иммунологи и вирусологи<sup>3</sup>. Оставив

в стороне эмоции, не относящиеся к научной стороне вопроса, следует указать на необходимость самого серьезного изучения причин возникновения и распространения СПИД. Дело в том, что данный синдром представляет собой первый случай болезни человека, при которой инфекционный агент ареной своего действия избирает систему, предназначенную в организме для борьбы с инфекциями, а именно — систему иммунитета.

Темпы и технические возможности современной «охоты за микробами», конечно, несопоставимы с классической эпохой микробиологии. Всего за 2—3 года удалось выделить инфекционные агенты, вызывающие вирусную лейкемию и СПИД, и расшифровать механизм их действия. Это два вируса, получившие общее название Т-лимфотропных, или HTLV-вирусов (от англ. human T-cell lymphotropic virus), избирательно поражают одну и ту же мишень — Т-лимфоцит человека<sup>4</sup>. Однако вирус лейкемии — агент HTLV-1 — приводит к злокачественному превращению

<sup>2</sup> Leibowitch J. Un virus étrange venu d'ailleurs. P., 1984.

<sup>3</sup> Петров Р. В. Иммунодефициты: что это такое? — Лит. газета, 1985, 27 июня, с. 13;

Жданов В. М. Что такое СПИД? — Сов. культура, 1985, 7 дек., с. 8; Хаитов Р. М. — Иммунология, 1985, № 5, с. 7.

<sup>4</sup> Human T-cell leukemia lymphoma virus. Cold Spring Harbor Laboratory. N. Y., 1984.

T-лимфоцита, в то время как вирус СПИД — агент HTLV-3 — к разрушению T-лимфоцита и, соответственно, к развитию недостаточности иммунной системы — иммунодефицита<sup>5</sup>.

Цель настоящей статьи — обсудить основные вирусологические и иммунологические аспекты изучения лимфотропных РНК-содержащих вирусов, называемых ретровирусами.

### ИММУННАЯ ОХРАНА БЕССИЛЬНА!

Как мы уже говорили, история СПИД ведет свой отсчет от июня 1981 г. Тогда группа врачей из Калифорнии (США) сообщила о необычной форме пневмонии у пяти молодых мужчин, поддерживавших гомосексуальные связи<sup>6</sup>. Необычность болезни состояла в том, что пневмонию у всех больных вызвал паразит — пневмоциста (*Pneumocystis carinii*), не вызывающий подобных явлений у людей с нормальной иммунной системой. Ранее несколько раз пневмонию такого типа диагностировали у людей, у которых иммунная система была подавлена специальными препаратами, иммунодепрессантами (например, при необходимости пересадки почки). Спустя месяц та же группа сообщила уже о 25 гомосексуалистах, заболевших такой нетипичной пневмонией. Кроме того, у этих молодых мужчин была выявлена редкая форма кожного рака, так называемая саркома Капоши. Эта болезнь была известна ранее как заболевание, изредка поражающее людей старше 60 лет и выражающееся в медленно развивающихся опухолевых узлах на нижних конечностях. Однако в описанной группе больных саркома Капоши имела генерализованный (распространенный по всему организму) характер с поражением лимфоидной ткани, слизистых и внутренних органов, причем у людей моложе 40 лет. Болезнь во всех случаях протекала весьма агрессивно, и большинство больных умирало.

Ретроспективный анализ историй болезни показал, что подобные случаи имели место в США начиная со второй половины 70-х годов. При лабораторном обследовании во всех этих случаях наблюдалась глубокая иммунологическая недоста-

точность. Она выражалась, в первую очередь, в неспособности организма к защите от микроорганизмов, в обычных условиях совершенно не вызывающих какого-либо заболевания. В норме защитные механизмы, обозначаемые общим термином иммунологический надзор, инактивируют такие микробы и вирусы. При поломке иммунитета инфекционные агенты, получившие название оппортунистических, выходят из-под иммунологического надзора и становятся смертельно опасными. Отличием вновь зарегистрированного заболевания, отразившимся в его названии, было то, что поломка иммунной системы обусловлена здесь не искусственным лекарственным или физическим воздействием (например, облучением), а действием какого-то другого фактора. Сочетание ряда признаков, в частности своеобразная географическая очаговость болезни, сразу дало основание заподозрить его инфекционную природу. Для работы же с инфекционными агентами, вызывающими СПИД, понадобилось умение работать с их «мишенями», т. е. с клетками иммунной системы — лимфоцитами. Именно опыт работы с культурами лимфоидных клеток позволил выделить вирусы новой группы HTLV и разработать их диагностику.

### КЛЕТОЧНЫЙ «КООПЕРАТИВ» И МИШЕНЬ ВИРУСА

Современный читатель, как правило, достаточно хорошо знаком с понятиями «иммунная система», «лимфоцит», «антигены». Значительные достижения иммунологии нашли освещение не только в специальной, но и общедоступной литературе<sup>7</sup>.

Напомним некоторые из этих положений, имеющих основное значение для выполнения защитной функции иммунной системы. Клетки, осуществляющие иммунные реакции, называют иммунокомпетентными. Основной вид иммунокомпетентных клеток — лимфоциты — в силу своего происхождения в индивидуальном развитии организма делятся на два вида: Т- (т. е. тимусзависимые) и В- (т. е. костномозговые, от англ. bone marrow — костный мозг) лимфоциты. В-лимфоциты, или В-клетки, предназначены в основном для образования иммуноглобулинов, или антител, т. е. белковых молекул, связываю-

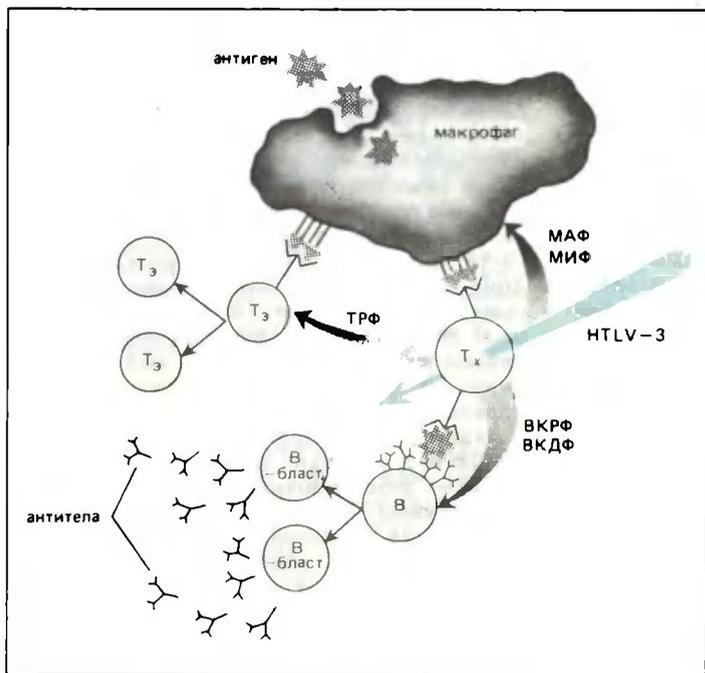
<sup>5</sup> Выделен также и штамм HTLV-2, по свойствам близкий к HTLV-1, однако его биологическая роль еще неясна.

<sup>6</sup> Morbid. Mortal. Weekly Rep. CDC, 1981, v. 30, p. 409.

<sup>7</sup> Бернет М. Целостность организма и иммунитет. М., 1965; Петров Р. В. Беседы о новой иммунологии. М., 1978.

щих чужеродные белки и способствующих их выведению из организма. У Т-лимфоцитов задачи более тонкие и дифференцированные. В широком смысле они отвечают за поддержание «иммунологического гомеостаза», т. е. иммунологического постоянства внутренней среды организма. Для выполнения этой функции выделяются как бы три разновидности Т-лимфоцитов, или Т-клеток: Т-эффекторы, которые непосредственно взаимодействуют с чужеродными клетками или веществами

тел к лимфоцитам<sup>8</sup> удалось найти индивидуальные вещества (маркеры), отличающие отдельные виды Т-лимфоцитов друг от друга и от В-клеток. Такие моноклональные антитела связывают обычно с молекулами красящего вещества, флуоресцирующего в ультрафиолетовых лучах. Обработав мазок крови такими антителами и поместив его в микроскоп с ультрафиолетовым облучением, по числу светящихся клеток можно подсчитать содержание определенных видов Т-лимфоцитов среди



Гипотетическая схема взаимодействия клеток при возникновении иммунного ответа в «трехклеточной» системе (макрофаг, Т- и В-лимфоциты). Клетки в этой системе обмениваются химическими сигналами — лимфокинами, имеющими следующие обозначения: МИФ — фактор, ингибирующий миграцию макрофага, МАФ — фактор, активирующий макрофаги, ТРФ — Т-клеточный ростовой фактор (интерлейкин-2), ВКРФ — В-клеточный ростовой фактор, ВКДФ — В-клеточный дифференцирующий фактор. В — В-лимфоцит, предшественник плазматических клеток (В-бластов), продуцирующая антитела; Т<sub>э</sub> — Т-эффектор, лимфоцит, непосредственно взаимодействующий с антигенами; Т<sub>х</sub> — Т-хелпер, лимфоцит, передающий специальные антигенные сигналы сначала Т-эффекторам, а потом и В-лимфоцитам, завершающим иммунный ответ. Если в организм попадает Т-лимфотропный вирус HTLV-3, поражающий Т-хелпер, нормальный ход иммунного процесса нарушается, поскольку выключаются физиологические механизмы, необходимые для работы всей «трехклеточной» иммунной системы.

(часть из них получила образное название Т-киллеров (от англ. kill — убивать); Т-хелперы, или помощники (от англ. help — помогать) — клетки, передающие специальный антигенный сигнал сначала Т-эффекторам, а затем и В-лимфоцитам, окончательно обеспечивающим защиту от врага; Т-супрессоры, или подавители (от англ. suppress — подавлять), призванные останавливать иммунный ответ, когда чужеродное вещество или клетка уже выведены из организма. Между Т-хелперами и Т-супрессорами существует положительная обратная связь, и их количество в каждый момент сильно зависит друг от друга.

С помощью недавно разработанного метода получения моноклональных анти-

их общей популяции. Маркер для Т-хелперов получил обозначение Т4, а для Т-супрессоров — Т8.

Существует еще одна важнейшая клеточная система для борьбы с чужеродными антигенными воздействиями — система макрофагов, открытая И. И. Мечниковым 100 лет назад. В конце 60-х — начале 70-х годов рядом исследователей, в том числе Р. В. Петровым, было показано, что для развития полноценного иммунного ответа на самые разные антигены (белки, полисахариды, чужеродные клетки, виру-

<sup>8</sup> Мечетнер Е. В., Червонский А. В. Метод гибридом и его возможности. — Природа, 1984, № 9, с. 80.

сы и пр.) необходимо участие всего ансамбля, или кооператива, клеток иммунной системы, т. е. макрофагов, Т- и В-клеток<sup>9</sup>. Эта модель получила название «трехклеточной». Кроме того, помимо непосредственного контакта с антигеном, переработанным макрофагами, для «запуска» активности иммунокомпетентных клеток необходимо еще и обмен своеобразными химическими сигналами между ними, названными медиаторами иммунитета, или лимфокинами. Основным источником лимфокинов в трехклеточной системе оказался Т-хелпер — клетка Т4 (по названию поверхностного маркера).

Клетки Т4 вырабатывают и секретируют целый ряд иммунорегуляторных веществ, наиболее важное из которых, по видимому, интерлейкин-2: без него невозможна регуляция функций Т-эффекторов и В-лимфоцитов, а также рост лимфоцитов вне организма — в клеточных культурах.

При нормальном функционировании этого иммунологического механизма чужеродные белки, антигены, попадая в организм, сначала распознаются, после чего включаются физиологические механизмы для их выведения или нейтрализации. Те же клеточные компоненты принимают участие в иммунологическом надзоре.

Обнаруженная новая группа Т-лимфотропных вирусов избирает для своего размножения и обитания очень важную в «стратегическом» отношении мишень в иммунной системе — лимфоцит-хелпер Т4. Последствием заражения бывает злокачественное превращение или гибель лимфоцита. Таким образом, вирусы HTLV резко подавляют основные функции иммунной системы, поражая ее «командный центр».

## ВИРУС СПИД

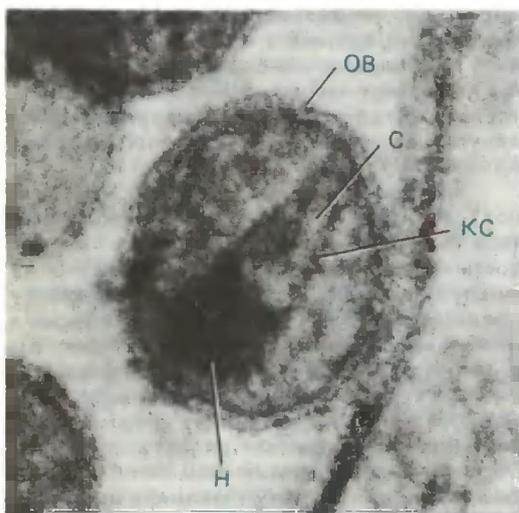
Со времени первого выявления СПИД в США, а затем и в других странах (сейчас уже более чем в 40), число известных случаев постепенно нарастает. На конец 1985 г., по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), число случаев диагностированного СПИД в США превышает 13 тыс. Около 50 % лиц, которым этот диагноз был поставлен за 4 года, истекшие с момента официальной регистрации нового заболевания, к настоящему времени погибли. При обсуждении тенденций роста болезни следует иметь в виду

и улучшение диагностики, но все же заболевание имеет явно эпидемический характер. Самую большую группу больных СПИД (в США до 75 %) составляют гомосексуалисты и бисексуальные мужчины. Другие группы риска представлены наркоманами, употребляющими наркотики внутривенно, женщинами, вступающими в половые связи с больными СПИД, детьми больных. Достаточно быстро после выявления заболевания обнаружили еще очень серьезную группу риска — лиц, получавших кровь или препараты крови от больных СПИД. Учитывая, что донорами крови в США и Центральной Америке часто бывают лица, зарабатывающие себе этим на жизнь, понятно, что в их число вполне могли и могут попадать доноры из указанных групп. Особенно подвержены риску приобретения СПИД больные гемофилией — наследственной болезнью, связанной с нарушением свертываемости крови. Такие больные получают специальные препараты, изготовленные из смесей плазмы (жидкой части крови) от множества, иногда тысяч, доноров. На эту группу в разных странах приходится от 1 до 10 % всех заболевших. Иной характер распределения заболеваемости СПИД в Африке выявили специальные экспедиции по его изучению, направленные туда ВОЗ в 1983—1984 гг. В ряде стран Центральной Африки, совершенно отсутствовали традиционные группы риска — заболевание были в равной мере подвержены мужчины, женщины и дети. Есть веские основания считать, что в этом регионе болезнь существовала уже давно, но в ограниченных масштабах. На причинах этого феномена мы остановимся несколько дальше.

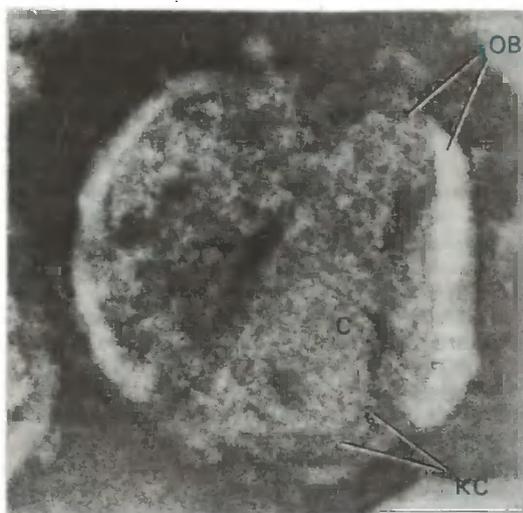
Характерный и, видимо, самый ранний клинический признак СПИД — генерализованное увеличение лимфатических узлов — синдром лимфоаденопатии. Как правило, в группах риска и в поражаемых болезнью областях лимфоаденопатия встречается достаточно часто, но переходит в СПИД не более чем в 5 % случаев. Именно от большого лимфоаденопатией впервые был изолирован ретровирус, вызывающий как увеличение лимфоузлов, так и СПИД.

В Институте Пастера в Париже была создана группа, поставившая перед собой задачу изучить возможную связь ретровирусов с лимфопролиферативными (проявляющимися в разрастании лимфоидной ткани) и злокачественными поражениями иммунокомпетентных органов. Возглавил группу вирусолог Л. Монтанье. К тому вре-

<sup>9</sup> Петров Р. В. Иммунология. М., 1982.



Строение зрелого вируса СПИД (HTLV-3). Слева — ультратонкий срез инфицированной клетки; справа — негативное контрастирование частиц очищенного вируса. *OB* — оболочка вируса, *С* — сердцевина, *КС* — капсула вирусной сердцевины, *Н* — нуклеонд вируса. Увел. 350 тыс.



мени уже были известны успехи в выделении Т-лимфотропного вируса при лейкемии (см. след. раздел), однако было еще неясно, насколько широко могут распространяться последствия этого открытия.

В одном из исследований были взяты лимфоциты пациента, больного лимфоаденопатией уже несколько лет. Для обнаружения вируса (исходно его может быть в клетках неувлимо мало) были использованы приемы, разработанные еще в 70-х годах в процессе изучения онкогенной роли ретровирусов. Клетки заставили делиться и расти в культуре с помощью уже известного нам фактора роста — интерлейкина-2, стимулятора Т-клеток. Чтобы исключить подавляющее действие на вирус естественного защитного клеточного фактора — интерферона, в культуру добавили искусственно полученные антитела против интерферона. Через несколько дней в культуре появился вирус, который при электронно-микроскопическом исследовании был отнесен к группе ретровирусов. Биохимические свойства вируса были близкими к свойствам вирусов лейкемии коров и ретровирусу анемии лошадей. Л. Монтанье и его коллеги назвали вирус агентом LAV, т. е. вирусом лимфоаденопатии. Достаточно быстро им ста-

ло ясно, что вирус LAV по многим свойствам похож на агент HTLV-1, выделенный при Т-клеточной лейкемии, но в то же время четко отличается от него по составу белков-антигенов.

Одновременно попытки выделить вирус СПИД предпринимала другая гораздо более многочисленная и лучше оснащенная исследовательская группа в Национальном раковом институте США, возглавляемая Р. Галло. Несколько отстав от французов в открытии вируса СПИД, они в начале 1984 г. также изолировали его из крови больного и, что очень существенно, научились получать вирус в больших количествах. Для этого была подобрана специальная культура Т-лимфоцитов — клон Н-9, способный неограниченно производить вирусные частицы, причем без массивного разрушения клеток-мишеней. По аналогии с открытым его группой вирусом Т-клеточной лейкемии, Р. Галло назвал вирус СПИД агентом HTLV-3. Совмещая оба предложенные названия и отдавая долг уважения как французским, так и американским исследователям<sup>10</sup>, возбудитель СПИД принято обозначать как LAV/HTLV-3.

Мы недаром уделили внимание количественной наработке вирусных частиц в лаборатории Р. Галло. Поскольку ко времени открытия вируса уже было известно, какие люди находятся под наибольшей угрозой заражения, сразу остро встал вопрос об оптимальных методах диагно-

<sup>10</sup> Barré-Sinoussi F. et al.— Science, 1983, v. 220, p. 868; Popovic M. et al.— Science, 1984, v. 224, p. 868.

стики. Хотя обнаружить вирус и удается более чем у 50 % больных, все же это не может служить диагностическим критерием, да и доступно оно лишь крупным, хорошо оборудованным лабораториям. Поэтому со стороны вирусологии наиболее приемлемой диагностикой может быть выявление в сыворотке крови антител к вирусу. Кроме того, таким способом можно проверить и накопленные для переливания запасы крови, что тоже чрезвычайно важно. Значит, необходимо было научиться получать большие количества вирусного антигена — для обнаружения антител.

Вернемся теперь на некоторое время к мишеням вирусной агрессии — Т-лимфоцитам. Поскольку Т4-лимфоциты наиболее чувствительны к вирусу, логично превратить эту информацию в диагностический подход.

Действительно, оптимальная схема диагностики СПИД предполагает комплекс методов для выявления антител к вирусу LAV/HTLV-3 и определения числа клеток, несущих Т4-маркер, в крови больных. Присутствие антител и резкое снижение числа Т4-положительных клеток дает основание врачу связать клинические проявления болезни с действием Т-лимфотропного вируса и поставить диагноз СПИД.

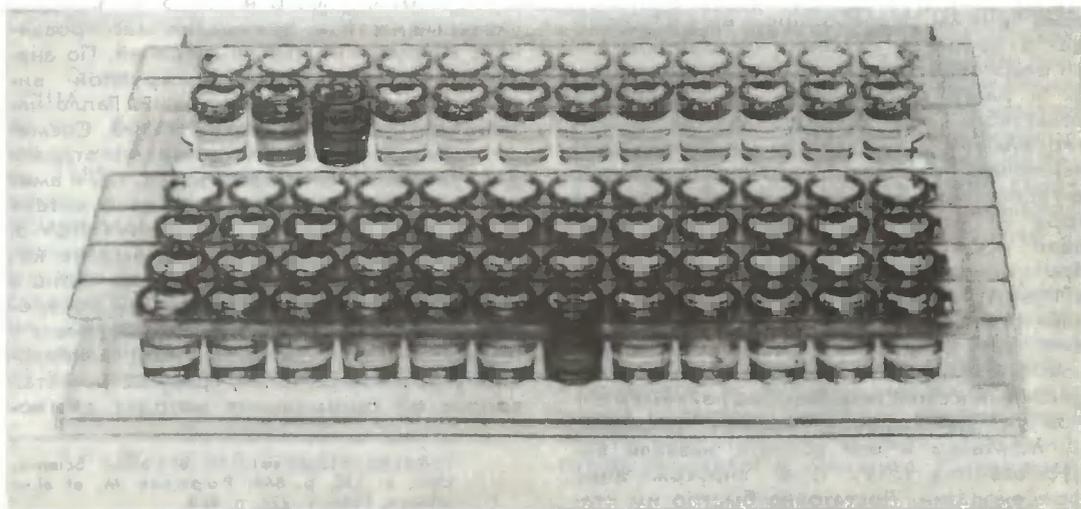
### САМЫЙ ТОЧНЫЙ МЕТОД С НЕЖНЫМ ИМЕНЕМ ELISA

Этот новый термин лишь внешне совпадает с женским именем. В действитель-

ности же — это аббревиатура названия метода определения антител с ферментным маркером, наиболее чувствительного из известных к настоящему времени тестов: метод позволяет обнаружить 1 молекулу антитела в 1 см<sup>3</sup> исследуемой пробы.

Микроколичества веществ (антигенов), антитела к которым предстоит найти в сыворотке крови, наносят на поверхность лунок пластмассовой панели. В ту же лунку вносят исследуемую сыворотку крови и выдерживают некоторое время для связывания с антигеном. После отмывки свободной (непрореагировавшей) сыворотки в лунки добавляют еще один реагент, который содержит фермент пероксидазу и связывается с антителами, образуя молекулярный комплекс. Если в сыворотке присутствуют специфические антитела к антигену, каждая молекула антитела становится меченой за счет молекулы пероксидазы. На следующем этапе в лунки добавляют красящее вещество — хромоген. Если иммунный комплекс антиген — антитело образован, молекула пероксидазы обеспечивает его ярко-коричневую окраску, которая легко регистрируется визуально или может быть количествен-

Пластмассовая панель, на которой проводят иммуноферментную реакцию ELISA, позволяющую диагностировать СПИД. В лунках, куда была внесена сыворотка крови больных, имеющих антитела к вирусу, появляется ярко-коричневая окраска. Нормальная сыворотка не окрашивается.



но измерена с помощью фотометра. ELISA сыграла значительную роль в диагностике HTLV-вирусной инфекции — большая часть данных о распространении ее в мире получена этим методом.

### ЕСТЕСТВЕННАЯ ИСТОРИЯ ВИРУСА ЛЕЙКЕМИИ

T-клеточная лейкемия была впервые зарегистрирована как самостоятельное заболевание в Японии в 1977 г. Японские исследователи Т. Ушияма, К. Йодои и их коллеги обратили внимание на необычное преобладание в Японии лейкемии, при которой злокачественные клетки несут маркеры T-, а не В-лимфоцитов. Они описали 16 случаев болезни, названной ими T-клеточной лейкемией взрослых (англ. ATLL), и заметили, что все больные были уроженцами юго-западной части Японских остров<sup>11</sup>. Несколько позже заболевание, подобное ATLL, зафиксировали и в США, причем первые случаи болезни также были связаны не с аборигенами, а с выходцами с островов Карибского бассейна, на Западе чаще называемых Вест-Индией. Таким образом, сразу удалось сосредоточить внимание на существовании в мире как минимум двух эндемичных (природных) очагов заболевания — Вест-Индия и Юго-Западная Япония. ATLL — быстро прогрессирующее злокачественное заболевание белой крови, часто поражающее также мозг пациентов. Более глубокое изучение в очагах заболевания больных и внешне здоровых людей показало, что существуют длительные формы течения ATLL без яркой симптоматики, при которых патологический процесс можно выявить только путем тщательного анализа лимфоцитов крови и лимфатических узлов. Основной мишенью заболевания, объектом злокачественной лейкемической трансформации при ATLL становятся лимфоциты с поверхностным маркером T4, т. е., как мы уже знаем, T-хелперы.

В 1980 г. было опубликовано важное сообщение группы американских ученых из Национального института рака в Бетезде (штат Мериленд): удалось открыть ретровирус, тесным образом связанный с развитием T-клеточных лейкозий и опухолей, происходящих из T-клеток. Эту группу возглавлял нам уже известный Р. Галло. Данная работа завершила целую эпопею поисков ретровирусов, закономерно свя-

занных с опухолями высших животных и человека, продолжавшуюся почти 80 лет. Многие исследователи, начиная с лауреата Нобелевской премии американца П. Рауса, впервые открывшего ретровирусы в начале 1900-х годов (тогда еще, конечно, они так не назывались), предполагали, что опухолеродные вирусы могут действовать и на клетки человека. Однако прямых доказательств не было. Работа группы Р. Галло такие доказательства дала.

Первичные и повторные случаи выделения ретровируса (получившего краткое название HTLV-1) были сделаны в тех же географических зонах, где встречается лейкемия ATLL. Абсолютно все больные имели признаки инфицирования HTLV-1. В лейкемических клетках больных содержалась нуклеиновая кислота (наследственное вещество) вируса. Вне организма, в культурах клеток, вирус HTLV-1 превращал нормальные клетки крови в злокачественные. Наконец, получены доказательства, что HTLV-1 и родственные ему ретровирусы обезьян вызывают лейкемию у зараженных обезьян. Совокупность этих данных дает веские основания считать HTLV-1 первым ретровирусом, действительно связанным с происхождением злокачественных процессов у человека.

Очень важным для исследования вируса HTLV-1 и подобных ему агентов был факт почти 100 %-ного образования антител к этому вирусу как у заболевших лейкемией, так и у здоровых людей, так или иначе контактировавших с вирусом. Читатель невольно останавливается на этой строке. Казалось бы, парадокс: антитела, т. е. защитные молекулы, призванные бороться с инфекцией, здесь присутствуют как пассивные свидетели вирусного процесса, но это ощущение парадоксальности уходит, если вспомнить, что иммунная реакция есть результат кооперативной работы всех иммунокомпетентных клеток: в данном случае гиперактивность В-лимфоцитов, секретирующих антитела, просто говорит о «раздражении» постоянно присутствующим в организме вирусом антителосинтезирующего аппарата, но отнюдь не о защитном характере ответа. В некоторых случаях в крови можно обнаружить комплекс специфических антител к вирусным антигенам, что имеет большое диагностическое значение. В эндемичных по HTLV-1 областях Японии прослежено, что у детей и лиц моложе 20 лет антител к вирусу, как правило, нет. В то же время почти у всех жителей этих ограниченных областей старше 20 лет антитела появ-

<sup>11</sup> Uchiyama T. J., Yodoi K. et al. — Blood, 1977, v. 50, p. 481.

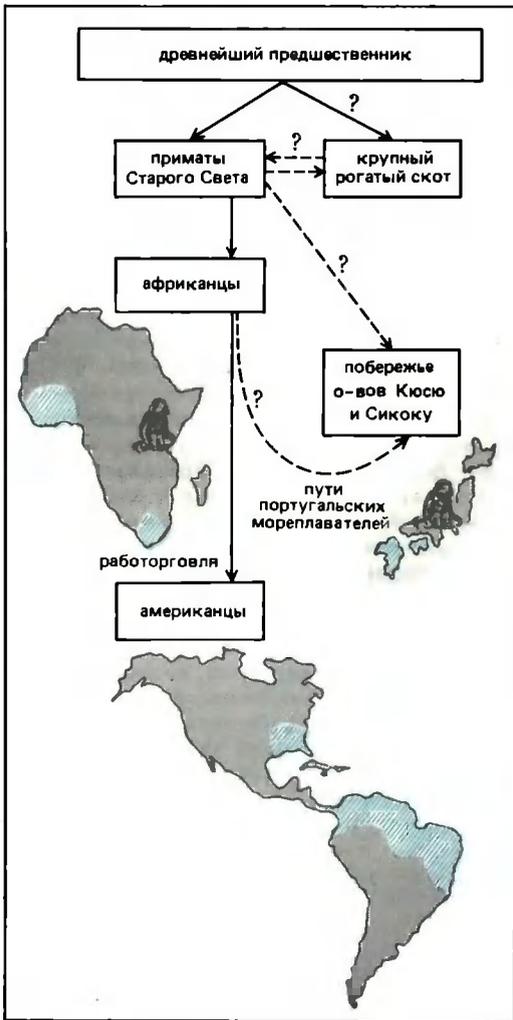
ляются. Метод ELISA, дающий определенные антител, позволил провести уникальное по широте охвата обследование и построить эпидемиологические карты распространения инфекции.

Как географическое, так и внутрисемейное распределение инфекции HTLV-1 и заболеваемости ATLL подтверждает вирусную этиологию болезни. В определенных «горячих точках» (Япония, Центральная Америка, Вест-Индия и Центральная Африка) число взрослых лиц, имею-

щих антитела, варьирует от 1 до 40%. Эпидемиологические исследования, начатые еще за несколько лет до открытия самого вируса, уже показали, что латентный период инфекции (время от заражения до появления признаков инфицирования) может быть весьма продолжительным. Так, лейкемия у чернокожих жителей Антильских о-вов развивалась иногда десятилетия спустя после их выезда из родных мест. Такие данные были получены почти одновременно в Великобритании и Нидерландах. По данным «сывороточной археологии» (т. е. определения методом ELISA антител в сыворотках крови, хранившихся по тем или иным причинам в течение многих лет в замороженном состоянии), антитела у инфицированного человека иногда появляются за 5—10 лет до развития лейкемии.

Исследование сывороток людей, а также обезьян в эндемичных по HTLV-1 районах мира позволило Р. Галло в 1984 г. высказать гипотезу о возможной естественной истории вирусов данной группы<sup>12</sup>.

Есть веские основания предполагать, что HTLV-1 эволюционировал (или мутировал) из гипотетического предшественника, общего с вирусами, поражающими крупный рогатый скот (вирус лейкоза крупного рогатого скота) и лошадей (вирус инфекционной анемии лошадей). Сначала этим ретровирусом были инфицированы обезьяны тропической Африки, а затем население эндемичных очагов. Уже в исторические времена с развитием работорговли вирус проник в Америку, начав путь с Антильских о-вов в Вест-Индию, куда были доставлены первые рабы. Голландские и португальские мореходы могли завезти вирус в Японию в начале XVI в., когда японское правительство разрешило основать фактории только на юго-западных островах Кюсю и Сикоку. Ведь именно на этих островах впервые выявлена вызываемая ретровирусом болезнь — Т-клеточная лейкемия ATLL! Так неожиданно вирусология и иммунология позволяют нам заглянуть в глубь веков — чуть ли не во времена Марко Поло! Естественная история другого Т-лимфотропного ретровируса — HTLV-3 (вируса СПИД), по-видимому, во многом подобна истории HTLV-1. Однако основные ее события развернулись уже в XX в. В природе, несомненно, существуют

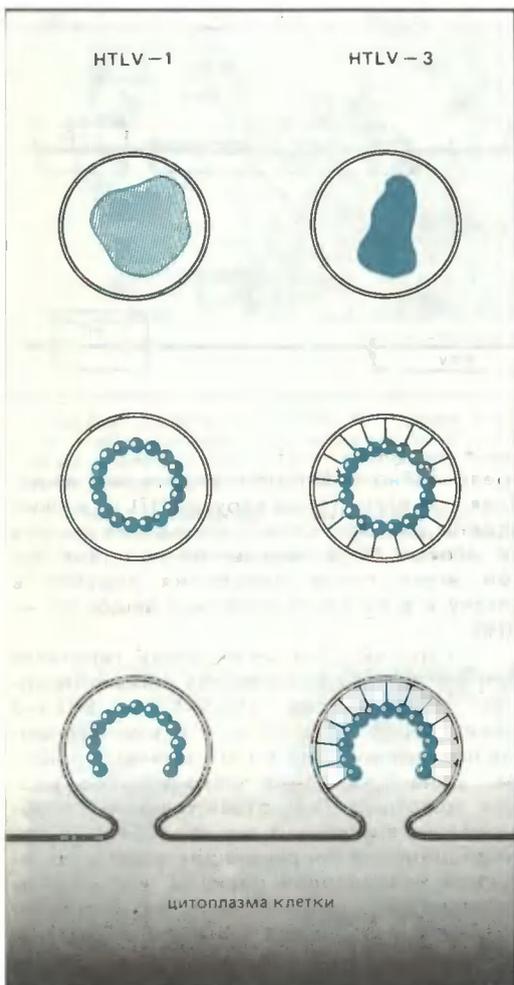


Схема, иллюстрирующая гипотезу происхождения и распространения по земному шару вируса HTLV-1. (По Р. Галло, 1984.)

<sup>12</sup> Gallo R. C.— Cancer Surv., 1984, v. 3, p. 113.

две очень близкие, но не идентичные группы Т-лимфотропных ретровирусов: близкие к «классическим» вирусам лейко- мий животных ретровирусы обезьян и человека, соответственно STLV-1 (от англ. simian T-cell limphotropic virus) и HTLV-1, и несколько отличающиеся от двух последних и больше напоминающие лентивирус анемии лошадей ретровирусы, ассоциированные со СПИД как у обезьян, так и у человека<sup>13</sup> — это вирусы STLV-3 и HTLV-3.

Как нередко эволюционную историю



Сравнительная схема формирования вирусных частиц [вирионов] вирусов HTLV-1 и HTLV-3 на поверхности инфицированных ими Т-лимфоцитов. На электронных фотографиях можно отличить один вирус от другого на всех этапах их развития. (По Л. Монтанье, 1984.)

высших животных приходится изучать на основании анализа последовательных стадий развития их зародышей, так и многие черты эволюционной истории вирусов «спрятаны» в их онтогенезе, т. е. в последовательных фазах взаимодействия вируса с клеткой. Исследование в этом аспекте ретровирусов группы HTLV проводится сейчас в рамках советско-французского научного сотрудничества с использованием методов электронной микроскопии.

Использование тонких методов ультрамикроскопии позволяет проследить малейшие детали жизненного цикла вируса в лимфоците. Помимо важности этой работы для понимания механизмов поражения лимфоцитов ретровирусами, она имеет значение и для поисков путей борьбы с инфекцией.

Электронная микроскопия может оказаться полезной и для дифференциальной диагностики инфекции вирусами HTLV, поскольку сопоставление стадий формирования вирусов HTLV-1 и HTLV-3, позволяет четко отличить их друг от друга.

#### СТРАТЕГИЯ НА МОЛЕКУЛЯРНОМ УРОВНЕ

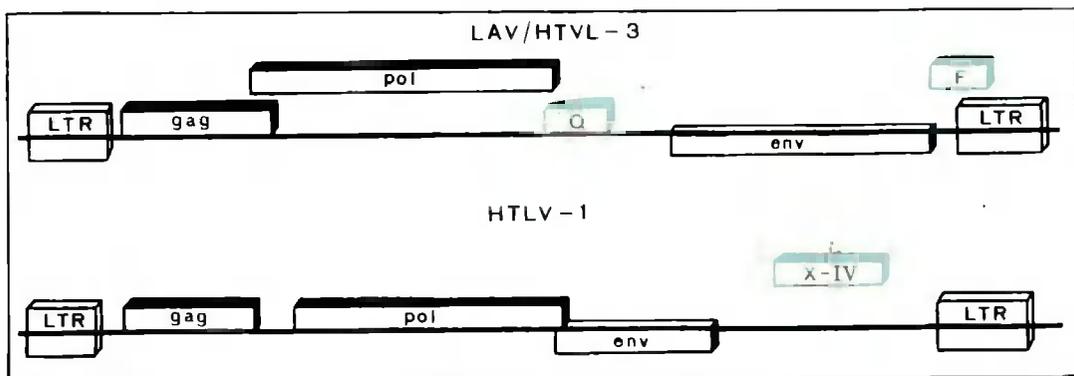
Почему рассматриваемая нами группа вирусов получила начальную приставку «ретро»? Дело тут, конечно, не в совпадении с модным термином, а в основном биологическом свойстве вирусов — способности их нуклеиновых кислот — РНК — воспроизводить себе подобных через особый, редко встречающийся в природе способ передачи генетической информации: РНК→ДНК→РНК. За открытие этого нового пути в 1975 г. американским исследователям Г. Темину и Р. Балтимору была присуждена Нобелевская премия. Оказалась, что в общебиологическом смысле вирусу иногда выгоднее включиться в генетический материал клетки, как бы превратиться в клеточный ген. И сделать это помогает вирусу особый фермент — обратная транскриптаза, «печатающая» оттиск ДНК на матрицах РНК. Обсуждая достижение Г. Темина и Р. Балтимора, исследователи онкогенных вирусов благодарной памятью обращались к имени советского исследователя Л. А. Зильбера (1894 — 1966), предвосхитившего это открытие выдвинутой еще в 60-е годы вирусно-генетической теорией опу-

<sup>13</sup> Henrickson R. V., Mual K. G. et al. — Lancel, 1983, № 1, p. 388.

холевого роста<sup>14</sup>. Л. А. Зильбер и его ученики впервые экспериментально показали, что причиной опухолевого перерождения клетки может быть внедрение в ее генетический материал чужеродной части — вирусной нуклеиновой кислоты — ДНК<sup>15</sup>. От термина «обратная транскриптаза» (синоним — «ревертаза») и пошел термин — «ретровирусы».

Молекулярная и клеточная биология ретровирусов — «горячая точка» ряда биологических наук уже на протяжении

представление о «стратегии» вирусного наследственного вещества (генома) в осуществлении своей биологической функции, т. е. поддержании вируса как вида. Надо иметь в виду, что вирусы, как абсолютные паразиты, не могут существовать без клетки-хозяина. Поскольку инфицированные вирусом клетки в организме становятся объектом иммунологической атаки, логично предположить, что именно поражение центрального звена иммунологического надзора — клетки Т4 —



Строение генома Т-лимфотропных вирусов HTLV человека. Концевые группы вирусных генов, так называемые LTR [от англ. long terminal repeat — длинные концевые повторы] состоят из однородных нуклеотидов и не несут смысловой нагрузки. Вирусы HTLV имеют характерные для всех ретровирусов основные вирусные гены: gag — ген внутренних белков, pol — ген обратной транскриптазы, позволяющий РНК реплицировать ДНК, env — ген белков вирусной оболочки. Помимо этого, вирус HTLV-1 имеет ген X-IV, вызывающий, по-видимому, превращение Т-лимфоцита в лейкоэмическую клетку, а вирус HTLV-3 — гены Q и F, участвующие в процессе гибели и разрушения Т-лимфоцитов. [По Л. Монтанье, 1984.]

двух десятилетий. Колоссально разрослись и методические возможности, и теоретические представления по этим вопросам. Самое существенное состоит в открытии нескольких вариантов молекулярно-биологического «поведения» ретровирусов при их взаимоотношениях с чувствительными клетками и с сообществом клеток — макроорганизмом. Стало популярным

чрезвычайно «выгодно» вирусу как виду. Зная структуру генов вирусов HTLV, можно понять, как происходит нападение вируса на клетки Т4 и каковы последствия такой атаки после внедрения вирусов в клетку и в ее наследственное вещество — ДНК.

Строгий план организации генетического аппарата человеческих Т-лимфотропных ретровирусов HTLV-1 и HTLV-3 имеет много общего и в основных чертах повторяет характер «генетической карты» ранее известных ретровирусов низших животных. Ген, ответственный за образование внутренних вирусных белков, непосредственно покрывающих молекулу вирусной нуклеиновой кислоты, всегда расположен на условном левом конце цепочки (этот ген имеет латинское обозначение gag). За ним следует ген, кодирующий синтез ключевого фермента ретровирусов — уже известной нам обратной транскриптазы (ген pol). Обычно следующим бывает ген, отвечающий за синтез наружных белков вирусной оболочки, защищающих его от внешних воздействий (ген env). У вируса HTLV-3 между генами pol и env есть еще один фраг-

<sup>14</sup> Зильбер Л. А. Вирусно-генетическая теория происхождения опухолей. М., 1968.

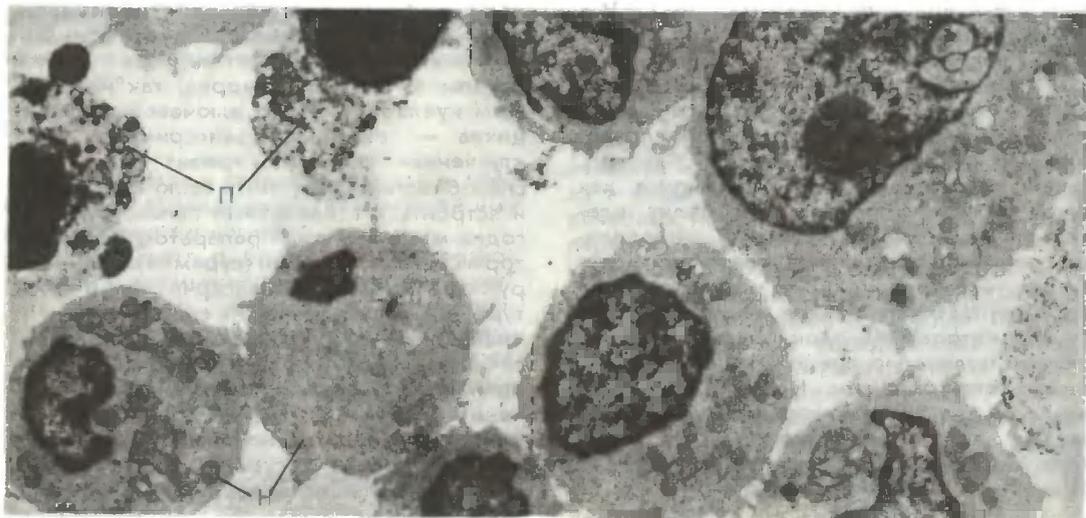
<sup>15</sup> Зильбер Л. А., Ирлин И. С., Киселев Ф. Л. Эволюция вирусно-генетической теории происхождения опухолей. М., 1975.

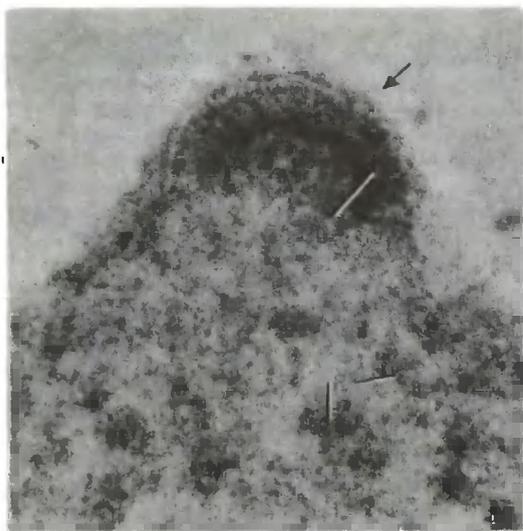


Лимфоцит Т4 больного СПИД. Я — ядро клетки, ОЯ — оболочка ядра, М — митохондрии, О — оболочка клетки; стрелками обозначены внеклеточные вирусы СПИД. Увел. 25 тыс.

Культура Т-лимфоцитов больного СПИД под электронным микроскопом. Н — нормальные лимфоциты, П — лимфоциты, пораженные вирусом. Увел. 3 тыс.

мент, обозначаемый латинской буквой Q. Отличаются также «правосторонние» фрагменты генома этих вирусов: у HTLV-1 есть фрагмент X-IV, а у HTLV-3 — короткий фрагмент F. Есть убедительные экспериментальные доказательства, что специфичность ретровирусов определяется именно





Формирование вируса СПИД на поверхности лимфоцита человека. СВ — формирующиеся сердцевинны вируса, Р — рибосомы клетки. Увел. в 300 тыс. раз.

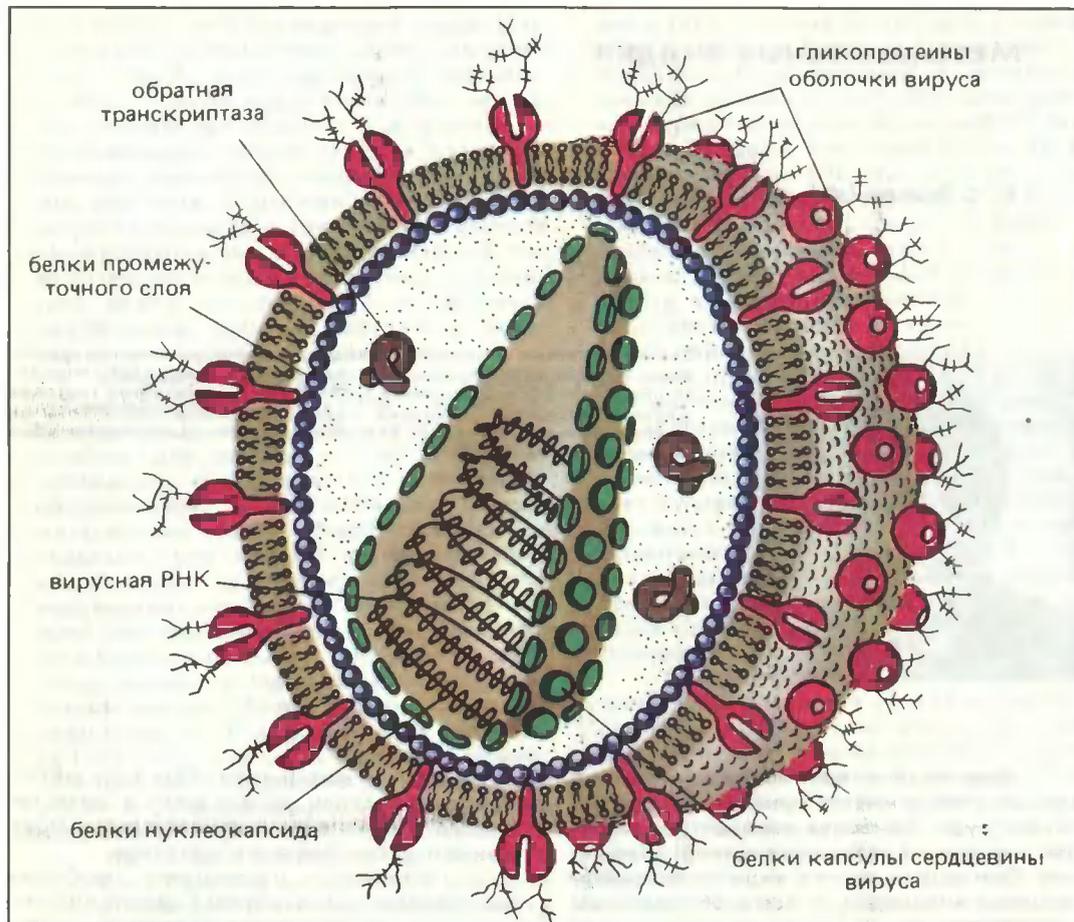
«правосторонними» генами. Так, у вируса HTLV-1 ген X-IV способен превратить нормальный лимфоцит T4 в опухолевую лейкемическую клетку. А наличие гена Q в геноме вируса HTLV-3 обеспечивает крайне высокую инфекционность и способность убивать клетку-хозяина — лимфоцит T4. «Помогает» ему в этом, по-видимому, и фрагмент F. Несмотря на все перечисленные различия (достаточные, кстати сказать, даже для отнесения HTLV-1 и HTLV-3 в разные классификационные подгруппы), эти инфекционные агенты имеют и глубокую общность, прежде всего в структуре оболочечного гена env. Этот ген отвечает за синтез вирусного белка, позволяющего вирусу проникать в T-хелпер. Белок «клеточного тропизма» вируса, как ключ к замку, подходит к белку клеточной поверхности, который определяет специфичность данной клеточной популяции — маркеру T4I В опытах в культуре клеток блокирование маркерного белка (рецептора) T4-моноклональными антителами полностью предотвращает заражение клеток вирусом HTLV. Хотя такой эксперимент невозможно воспроизвести в жизни, он указывает на один из путей «контрстратегии» против вирусов HTLV. И исследователи этим путем идут.

## «ПОРТРЕТ» ВИРУСА И ПЛАНЫ БОРЬБЫ

Комплекс современных электронно-микроскопических методов позволяет не только увидеть вирус, но и исследовать мельчайшие детали его внутреннего строения, различать отдельные молекулы вирусных белков и нуклеиновых кислот. Рассматривая детальный портрет вируса СПИД, полученный с помощью этих тонких методов, и мысленно сопоставляя его с генетической картой вируса, современные «охотники за микробами» думают, в первую очередь, о возможных уязвимых местах T-лимфотропных агентов, о планах профилактики вызываемых ими грозных болезней.

При этом, исходя из уже описанных биологических различий вирусов группы HTLV, воздействия на вызываемые ими процессы должны, по-видимому, принципиально различаться. При T-клеточной лейкемии внимание должно быть сосредоточено преимущественно на остановке роста опухолевых лейкемических клеток, несущих «опухольный» ген вируса. В случае же СПИД, наоборот, следует максимально подавить размножение самого вируса, которое приводит к развитию синдрома приобретенного иммунодефицита. Как показали исследования последнего времени, коварство этого вирусного заболевания выражается в двух основных моментах: в длительном скрытом (латентном) периоде, длящемся иногда до 5 лет, и в высокой изменчивости вируса СПИД, в чем-то сходной с широко известной изменчивостью антигенов вируса гриппа. Оба обнаруженных факта, конечно, существенно затрудняют эффективную борьбу с инфекцией.

Вернемся, однако, к поиску возможных «уязвимых мест» вирусов данной группы. В вирусном «ядре», так называемом нуклеоиде, скрыт ключевой фермент цикла — обратная транскриптаза. «Выключение» фермента грозит вирусу неспособностью превратить свою РНК в ДНК и встроиться в клеточный геном. Уже сегодня мы знаем ряд препаратов, среди которых есть и лекарство (сурамин), инактивирующее обратную транскриптазу. В культуре лимфоцитов сурамин спасает клетки от инфекции HTLV-3. Однако из-за своей токсичности сурамин, по-видимому, нельзя применять в дозах, необходимых для лечения больных СПИД. Нужны лекарства с большей избирательностью, с более точным «адресом доставки» в организме. И тут взгляды исследователей все боль-



Модель строения вируса HTLV-3, построенная на основании электронно-микроскопического изучения вируса. Эта работа выполнена совместными усилиями сотрудников Научно-исследовательского института эпидемиологии и вирусологии им. Н. Ф. Гамалеи АМН СССР под руководством А. Ф. Быковского и сотрудниками Института Пастера под руководством Л. Монтанья.

ше обращаются в сторону молодой и перспективной отрасли науки, называемой иммунной биотехнологией<sup>16</sup>.

Речь идет о биотехнологии, позволяющей в промышленных масштабах получать различные вещества и препараты, необходимые для иммунотерапии и иммунодиагностики. Один из ярких примеров эффективности иммунной биотехноло-

гии — получение и применение с различными целями моноклональных антител уникальной специфичности, о чем мы уже говорили. Поскольку моноклональные антитела к клеткам-мишеням, поражаемым вирусами группы HTLV, уже имеются в арсенале современной медицины, логично попытаться применить их как терапевтическое средство. В особенности привлекательна идея использовать такие антитела в качестве векторов-переносчиков для лечебных, например противовирусных, препаратов или же токсинов, избирательно убивающих лейкоэмические клетки. Принципиальная возможность такого подхода уже показана в экспериментах. Это дает основание надеяться, что объединенные усилия мирового научного сообщества и современная научная технология помогут противостоять необычной и весьма серьезной биологической опасности, которую представляют собой Т-лимфотропные вирусы человека.

<sup>16</sup> Петров Р. В. — Иммунология, 1981, № 4, с. 51.

## Металлоносные осадки

Е. С. Базилевская



Елена Сергеевна Базилевская, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Комиссии по проблемам Мирового океана АН СССР. Занимается проблемами минералогии и геохимии железо-марганцевых конкреций и других металлоносных отложений океанов. Автор монографии: Химико-минералогические исследования марганцевых руд. М., 1976.

В последние годы большое внимание ученых и экономистов привлекают океанические руды. Наиболее распространены на дне океана железо-марганцевые отложения. Они встречаются в виде железо-марганцевых конкреций, корок и обогащенных этими металлами осадков. Металлоносные осадки, хотя и не могут конкурировать с массивными отложениями в экономическом отношении, представляют большой научный интерес. Несмотря на то что сейчас уже решаются вопросы освоения океанических руд, наши знания о металлогении океана (т. е. о происхождении металлов и закономерностях их размещения) еще далеко не совершенны. Предметом острой дискуссии между специалистами остается вопрос: откуда берутся металлы, которые связаны в осадочной толще? А за длительный период существования океанов на Земле здесь накоплено огромное количество металлов, и особенно железа и марганца. Основными источниками могут быть два: снос с суши (терригенная поставка) и эндогенная (глубинная) поставка из недр. В классических трудах советского геохимика Н. М. Страхова обосновывается представление о решающей роли терригенной поставки металлов в океаны. Однако в исследованиях последних лет главная роль отда-

на глубинным источникам<sup>1</sup>. При этом металлоносные осадки используют в качестве одного из важнейших доказательств эндогенного происхождения металлов.

Попытаемся рассмотреть проблему последовательно и начнем с закономерностей отложения осадков в океанах.

### КАК ФОРМИРУЮТСЯ МЕТАЛЛОНОСНЫЕ ОСАДКИ

В океанах, как и в других бассейнах, большое количество твердой части речного стока откладывается в окраинных районах, центральных областей достигает незначительная часть самой тонкой взвеси. Иными словами, скорости накопления осадков при удалении от берегов постепенно падают. В отличие от малых бассейнов (озера, моря) в океанах этот процесс как бы «прижат» к окраинным районам. В центральных частях, называемых пелагиалью, процессы простой механической дифференциации взвеси значительно усложняются. Это связано с тем, что, перемещаясь в воде, микроскопические частицы взвеси не остаются

<sup>1</sup> Лисицын А. П. и др.— Известия АН СССР, сер. геол., 1985, № 3, с. 3.

безразличными к окружающей среде. Они реагируют на изменение физико-химических условий, могут сорбировать металлы из воды, с ними могут взаимодействовать планктонные организмы и т. д. В итоге — осаждающаяся на дно взвесь в пелагиали океанов оказывается обогащенной железом, марганцем и другими металлами. Процессы сорбционного накопления металлов продолжают еще длительное время, пока поверхность осадков контактирует с морской водой: это связано с чрезвычайно медленными темпами накопления осадков — миллиметры за тысячу лет.

Обычно осадки в пелагических районах океанов содержат до 6—8 % металлов. По-видимому, эта цифра является оптимальной для осадков, после отложения проходящих стадии старения, уплотнения, обезвоживания и т. д. «Излишние» порции металлов не могут поглощаться такими осадками, они как бы «выдавливаются» вверх и идут на формирование железомарганцевых конкреций, чрезвычайно широко распространенных в этих районах. Но в природе не бывает правил без исключений, поэтому в отдельных местах формируются осадки с более высоким содержанием металлов. Если содержание превышает 10 %, осадки относят к металлоносным. Название это совершенно условное, и нередко металлоносными называют рудные отложения океанического дна вообще.

Металлоносные осадки впервые были подняты со дна океана на палубу знаменитого английского научно-исследовательского судна «Челленджер» более 100 лет назад. Случилось это при работах в юго-восточной части Тихого океана. Необычность поднятых осадков сразу бросалась в глаза — это были темно-бурые, почти черные, илистые осадки, по консистенции напоминающие творожистую массу. В них оказалось необычайно высокое содержание железа — до 20—30 %.

Долгое время металлоносные осадки не привлекали особого внимания исследователей, но в конце 60-х годов интерес к ним резко возрос. В последующие годы было проведено несколько специализированных морских экспедиций в район вероятного распространения этих осадков, в их числе 8-й и 14-й рейсы научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев», организованные Институтом океанологии АН СССР. Возросший интерес был связан с появлением в ту пору нового направления в геологии океана — концепции тектоники литосферных плит. Дело в том, что металлоносные осадки в юго-восточной

части Тихого океана приурочены к подводному хребту — Восточно-Тихоокеанскому поднятию. В соответствии с представлениями сторонников этой концепции, осевые части срединно-океанических хребтов являются границами плит, раздвигающихся в разные стороны. Обычно здесь формируются протяженные впадины — рифтовые долины. Скорости спрединга (раздвига) различны в разных океанах. Они минимальны для Срединно-Атлантического хребта, а максимальные величины достигают в юго-восточной части Восточно-Тихоокеанского поднятия (до 16 см/год). Этот же район и представляет зону распространения металлоносных осадков. Рифтовые зоны хребтов характеризуются повышенной проницаемостью литосферы, и вдоль них происходит нарастание молодой коры за счет вулканических процессов, сопровождающихся гидротермальными излияниями. Предполагается, что основная часть металлов в океанические рудные отложения поступает из недр земли именно в этих зонах, особенно при высоких скоростях спрединга.

Поскольку срединно-океанические хребты протягиваются через все океаны на расстояние более 60 тыс. км, они вызывают особый интерес у исследователей, занимающихся металлогенией. В последние годы открыт целый ряд активных выходов рудоносных гидротермальных источников (гидротерм), приуроченных к северной части Восточно-Тихоокеанского поднятия. Фотографии «черных курильщиков», выбрасывающих в воду струи темноокрашенной взвеси сульфидов металлов, обошли страницы многих научных и популярных журналов. Устья жерл, из которых извергаются струи, формируют куполообразные формы на дне, достигающие иногда высоты 10—20 м. Они состоят из массивных отложений сульфидов железа, цинка и меди и обогащены другими ценными металлами, но в них отсутствует марганец.

Значительное внимание было уделено исследованиям юго-восточной части Восточно-Тихоокеанского поднятия. Однако гидротермальной активности, сравнимой по масштабам с северной половиной поднятия, здесь не обнаружено, хотя скорости спрединга в этом районе, как уже отмечалось, самые высокие. Между тем обширная территория, прилегающая к этому району, занята окисными железомарганцевыми металлоносными осадками<sup>2</sup>, которые обыч-

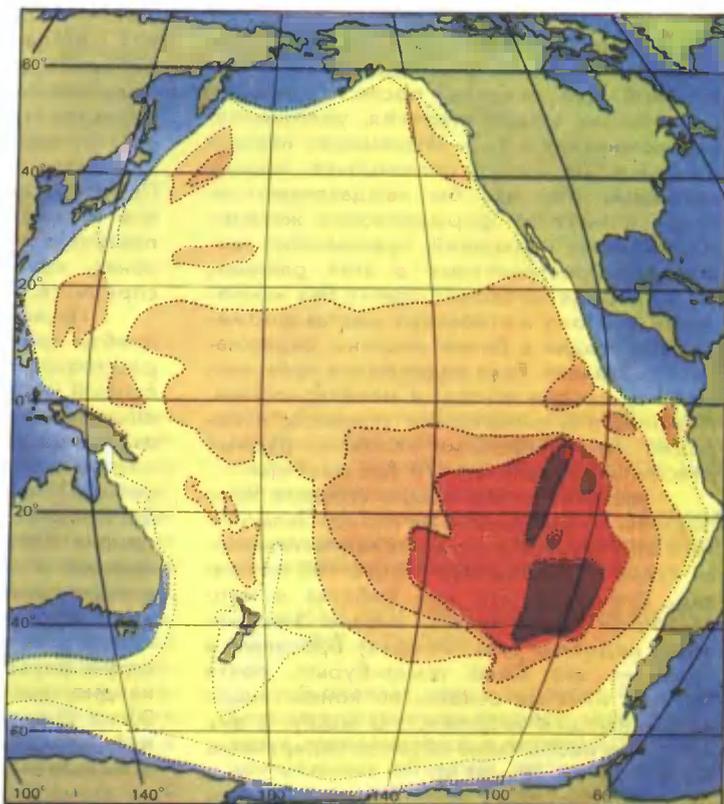
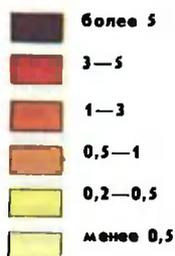
<sup>2</sup> Металлоносные осадки юго-восточной части Тихого океана. М., 1979.

но генетически связывают с поставкой металлов из глубин рифтовых зон.

В отличие от сульфидных отложений, распространенных вблизи от выходов гидротерм, металлоносные осадки оторваны от конкретных глубинных (эндогенных) источников металлов. Зона их распространения не имеет четких границ и постепенно сливается с обычными пелагическими осадками. Условной границей принято считать снижение содержания железа до 10 %, но не в натуральном осадке, а в его глинистой части.

Распределение марганца в поверхностном слое осадков Тихого океана (в пересчете на бескарбонатно-бескремнистое вещество; по Н. С. Скорняковой, 1976). Содержание марганца постепенно увеличивается от окраинных неглубоких частей океана к глубоководным. Максимальные величины характерны для юго-восточной части океана.

Содержание марганца, в %:



Обычный осадок имеет в своем составе несколько компонентов, среди которых основными являются: глинистая часть, биогенная, или органогенная часть, сложенная остатками скелетов планктонных организмов, и рудная фаза. Биогенные остатки могут иметь карбонатные или кремнистые скелеты, которые и обогащают осадок, нередко являясь его основным компонентом. В металлоносных осадках поднимают остатки карбонатного биоса достигают иногда 90 % их состава. Остальные 10 % представлены глинистой фазой. Считается, что носи-

телем рудного вещества в осадках является глинистая составляющая, а биогенные компоненты играют роль «разбавителя». Поэтому обогащенность осадков металлами оценивается только по составу их глинистых фаз. Допустим, что в нашем примере исходный осадок содержал 2—3 % железа и марганца. После пересчета на глинистое вещество эти значения увеличатся почти на порядок и достигнут 20—30 %. Все карбонатные осадки Восточно-Тихоокеанского поднятия после пересчетов оказываются металлоносными. Внешне они отли-

чаются от других карбонатных осадков более темной окраской, интенсивность которой зависит от содержания рудного пигментирующего вещества.

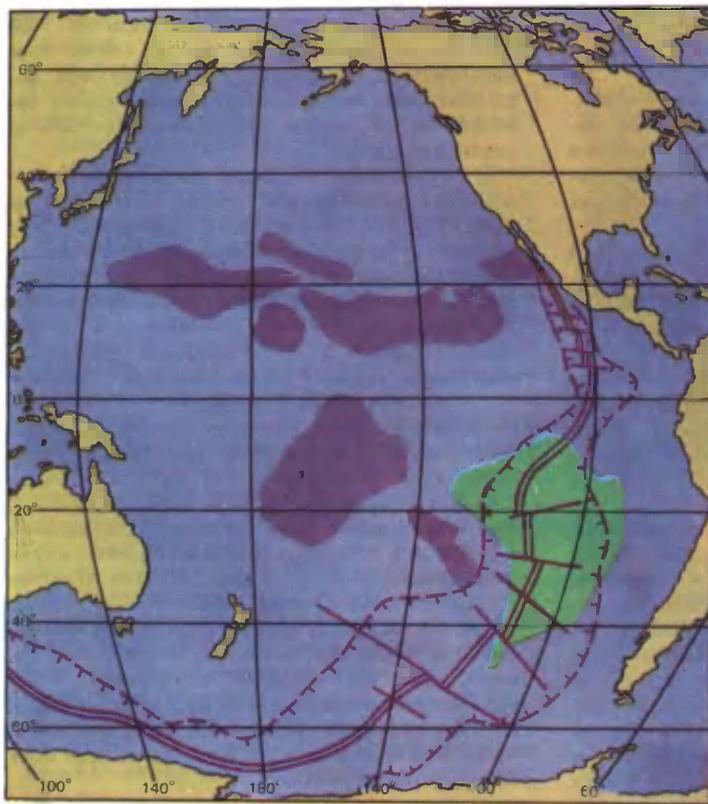
Однако это не те осадки, которые удивили первооткрывателей с «Челленджера». Поднятые тогда на борт корабля отложения вообще не имели биогенной составляющей и были похожи на глинистую часть карбонатных осадков. Такие отложения встречаются на довольно больших глубинах во впадинах, окаймляющих подводный хребет. Действительно ли их происхождение

связано с гидротермальными источниками или, может быть, обусловлено преобразованием карбонатных осадков?

Дело в том, что в океанах существуют предельные глубины (4—5 км), ниже которых карбонат кальция растворяется под действием усиливающегося гидростатического давления. Эта глубина несколько варьирует и носит название «глубины карбонатной компенсации». В пределах тектонически активных зон океанического дна не исключена вероятность сползания (или других причин погружения) ранее сформиро-

образования осадков и, во-вторых, здесь не исключена вероятность глубинной поставки металлов через спрединговый рифт.

Но все же представляется, что вторая точка зрения недостаточно обоснована по ряду причин. Основная — это явная недооценка значения процессов современного железо-марганцевого рудообразования в океанах. Главный результат этих процессов — формирование не металлоносных осадков, а железо-марганцевых конкреций и корок. Не учитывать рудных отложений, генетически связанных с подстилающими



Поля железо-марганцевых конкреций в Тихом океане и зона распространения металлоносных осадков (железа и марганца), приуроченная к Восточно-Тихоокеанскому поднятию. Поля железо-марганцевых конкреций не связаны с поднятием.

- Поля железо-марганцевых конкреций
- Металлоносные осадки
- Граница Восточно-Тихоокеанского поднятия
- Рифтовая зона

ровавшихся карбонатных осадков ниже этой, предельной для их существования глубины. Теряя до 90 % своего вещества, такие осадки относительно обогащаются рудными компонентами, в них образуется гель кремнекислоты, и они приобретают тот специфический состав и вид, о которых говорилось выше.

Что касается расположения самой зоны металлоносных осадков в Тихом океане, то, во-первых, эту зону можно считать районом максимального накопления металлов при обычном пелагическом процессе

осадками, а исследовать только одни осадки, как это теперь иногда делают, нельзя. В конкрециях и корках сконцентрировано во много раз большее количество металлов, чем в осадках. В среднем в тихоокеанских конкрециях содержится до 15 % железа и до 20 % марганца<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Волков Н. Н., Штеренберг Л. Е., Фомина Л. С. Железо-марганцевые конкреции. — В кн.: Геохимия диagenеза осадков Тихого океана. М., 1980, с. 169.

Размещение основных полей железомарганцевых конкреций в Тихом океане не имеет никакой связи с Восточно-Тихоокеанским поднятием. Они расположены на абиссальных (глубоководных) равнинах, удаленных от спрединговых центров. Это хорошо видно при сравнении приводимых в статье двух карт. Оказывается, что конкреций в области распространения металлоносных осадков нет. А это значит, что в общем балансе рудного вещества эта зона обеднена, а не обогащена металлами. Это и естественно, поскольку спрединговые центры — самые молодые структуры океанического дна, а процессы накопления металлов в осадочном слое геологически длительны.

Другой причиной слабой обоснованности эндогенной концепции является недоучет отсутствия в зоне распространения металлоносных осадков конкретных гидротермальных источников, поставляющих марганец.

Вообще, вероятность существенной поставки марганца гидротермами пока не доказана. До сих пор в литературе самым популярным примером прямой эндогенной поставки марганца в океан остается поле гидротермальных холмов вблизи Галапагосского спредингового центра. Однако этот пример не состоятелен, поскольку повышенные концентрации марганца во взвеси над этим районом связаны не с глубинными источниками, а с растворением его и выносом из осадочной толщи<sup>4</sup>. Гидротермальные растворы просачиваются здесь через 30-метровую толщу осадков и выщелачивают из них марганец. Измененные осадки в 10—20 раз обедняются марганцем по сравнению с исходными. Таким образом, этот пример малоубедителен, да он и не имеет отношения к области распространения металлоносных осадков, отстоящей от Галапагосского рифта на многие сотни километров, хотя и используется для объяснения их происхождения. Вообще, гидротермальных растворов с «ураганскими» концентрациями марганца, способных создать существенные рудные отложения, на дне океана пока не обнаружено. Имеются отдельные наблюдения, в том числе вблизи 21-й параллели ю. ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия, свидетельствующие о некотором повышении содержания марганца

вблизи гидротермальных источников, но чтобы обоснованно оценить их значимость, придется остановиться на специфике геохимии марганца в океанических условиях.

## ГЕОХИМИЯ МАРГАНЦА В ОКЕАНЕ

Когда мы говорим о формировании железомарганцевых руд в океане, хочется подчеркнуть особую роль именно марганца. Во-первых, он значительно менее распространен в земной коре, чем железо, и его гигантское накопление в океанах настолько уникально, что позволяет говорить об особом марганцеворудном осадочном процессе; во-вторых, свойствами гидроокислов марганца в значительной мере обусловлено формирование рудных отложений, имеющих большую экономическую ценность.

Марганец — самый динамичный элемент в океанической среде. Он почти не входит в состав сложных минералов и в осадках и конкрециях обычно представлен свободными гидроокислами с различными соотношениями между двух- и четырехвалентными формами в зависимости от условий среды. В растворенном состоянии марганец имеет двухвалентную форму.

На окраинах океанов, где оседает основная часть речного стока, осадки формируются в восстановительных условиях, при которых почти весь марганец из взвеси переходит в растворенное состояние и обогащает воду осадка. Содержание марганца в этой воде в сотни и даже тысячи раз выше, чем в морской. Эти районы являются своего рода «фабрикой», производящей марганец, который в конечном счете и поступает в океан. Подобных концентраций марганца не обнаружено ни в одном гидротермальном растворе, а между тем площади окраинных районов океанов значительно превосходят площади всех спрединговых зон.

В глубоководных центральных районах океана, наоборот, существует высокоокислительная обстановка. При сверхнизких темпах отложения осадков эта обстановка сохраняется во всей их толще. Преобладающей формой марганца здесь становится нерастворимая, высокоокисленная, близкая к соединению  $MnO_2$ . Но в чистом виде четырехвалентная гидроокись почти не встречается. Благодаря своей высокой сорбционной активности, она, как правило, связывает некоторое количество других металлов, в том числе и  $Mn^{2+}$ . Таким образом, двухвалентный марганец может находиться не только в привычном для него растворен-

<sup>4</sup> Базилевская Е. С. Металлогения океанского ложа по данным глубоководного бурения. — В кн.: Геология дна океанов по данным глубоководного бурения. М., 1984, с. 85.

ном состоянии, но и в связанном в твердой фазе. По-видимому, существует подвижное равновесие между этими двумя формами в морской воде. Сдвиг его под влиянием изменений условий в окружающей среде приводит к изменениям в соотношениях между растворимой и твердой формами марганца. Это относится как к уже отложившемуся осадку, так и к взвеси. Поэтому в океанской воде, в слоях «кислородного минимума», содержание растворенного марганца увеличивается.

Аналогичные процессы могут происходить и в зонах выхода кислых восстановленных гидротермальных растворов (а они обычно именно такие), где иногда наблюдается увеличение концентрации марганца в морской воде за счет растворения его из ранее отложившихся осадков, оказавшихся в сфере действия гидротерм.

Не все стороны геохимического поведения марганца пока вскрыты, но есть одна, проявляющаяся в океане вполне определенно — это стигивание его к «активным» поверхностям. Он обычно выделяется на границах геохимических барьеров, в частности на границе осадок — вода, где формируются конкреции. На всех приподнятых элементах рельефа большее количество марганца, чем на прилегающих к ним равнинных участках. Это проявляется и в отложениях железо-марганцевых конкреций, достигающих максимальной продуктивности на вершинах и склонах подводных холмов, и в отложениях рудных корок, имеющих максимальную толщину на вершинах подводных обнажений. Подобными корками могли бы быть покрыты и срединно-океанические хребты, но этому мешают два обстоятельства: во-первых, постоянно омолаживающиеся структуры, а, во-вторых, накапливание на их вершинах карбонатных остатков, разбавляющих рудное вещество. Но в целом подводные поднятия благоприятны для содержащих марганец металлоносных отложений.

Есть и еще одна причина, способствующая образованию металлоносных осадков в юго-восточной части Тихого океана, — это повышенные величины теплового потока из земных недр, характерные для этого района. По-видимому, они могут отражаться на более интенсивном развитии биоса и способствовать осаждению марганца из морской воды.

Вообще достаточно трудно определить, какие именно процессы приводили к обогащению осадков металлами на протяжении длительного отрезка времени. Мы судим о них главным образом по ко-

нечному результату и ищем прямые и ощутимые порождающие их причины. Между тем самые быстрообразующиеся, предположительно эндогенные, почти чисто марганцевые отложения, встреченные на Срединно-Атлантическом хребте, формируются со скоростью 200 мм в миллион лет, т. е. за год откладываются десятитысячные доли миллиметра. Даже в этом случае причины и источники их образования могут быть комплексными.

В последнее время большая роль в поставке марганца к осадкам стала отводиться биогенному фактору<sup>5</sup>. Однако в проблеме металлоносных осадков этот факт практически не учитывается. Между тем накопление марганца планктонными организмами, безусловно, может оказывать влияние на химический состав карбонатных металлоносных осадков. Вообще, надо отметить, что в свете этих данных едва ли правомерно производить пересчеты только на глинистое вещество осадков. По-видимому, при этом мы упускаем из вида один из источников непосредственной поставки металлов в осадки, в том числе и металлоносные, область распространения которых находится в благоприятных для развития планктона климатических условиях.

Для объяснения причин формирования металлоносных осадков обычно привлекаются два источника поставки рудного вещества: экзогенный и эндогенный. Однако, как мы попытались здесь показать, эти причины осложняются большим комплексом других факторов, которых может быть достаточно для образования таких отложений. Вместе с тем гигантская рудо-поставляющая роль, которая приписывается срединному хребтам стронниками тектоники литосферных плит, в отношении марганца явно преувеличена. Более обоснованными остаются представления о существенном вкладе терригенного сноса в океаническое рудообразование.

## РАЗНОВИДНОСТИ МЕТАЛЛОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Металлоносные осадки юго-восточной части Тихого океана — образования уникальные и нигде больше в океанах пока не встречены, но под этим названием, как мы уже знаем, нередко рассматриваются другие рудоносные отложения океанического дна. Состав их может быть разнообразным — от массивных суль-

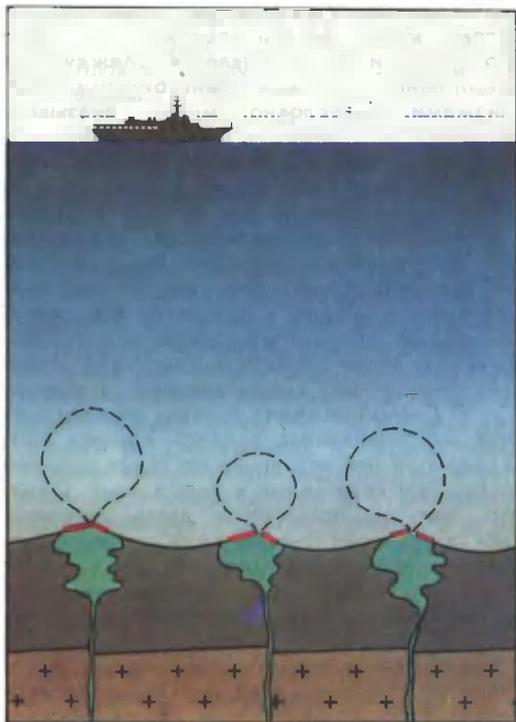
<sup>5</sup> См. сноску 1.

фидов до окисленных железо-марганцевых или почти чисто железистых или марганцевых отложений. Распространено предположение, что они имеют гидротермальное происхождение. Главным доказательством этого служит их местоположение.

В 1984 г. известный американский геохимик П. Рона составил сводку всех обнаруженных в спрединговых зонах океанических хребтов гидротермальных металлоносных отложений<sup>6</sup>. В его перечне учтены 63 точки. Среди них только в восьми отме-

чены рудные отложения марганца, но и они имеют локальное распространение. При этом в Тихом океане почти все точки сосредоточены в районе Галапагосского рифта. Судя по этой сводке, существенного влияния на металлогению марганца в океане гидротермальные источники оказать не могут.

Особое место в обсуждаемой проблеме занимают металлоносные, насто рудные осадки Красного моря. Уникальность этого бассейна в том, что значительная



Разрез дна в районе гидротермальных холмов вблизи Галапагосского рифта. Изливающийся из трещин фундамента гидротермальный раствор просачивается сквозь осадочную толщу и растекается в верхней половине более молодого и пластичного осадка, вынося из него марганец.

-  Осадочная толща
-  Осадки, измененные гидротермальным раствором
-  Зоны повышенной концентрации металлов в морской воде
-  Отложения марганца
-  Безальты

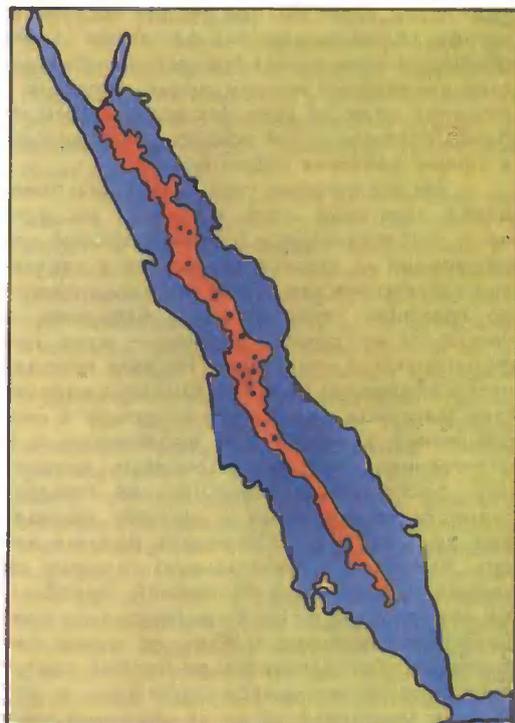


Схема Красноморского рифта, занимающего почти 1/3 бассейна Красного моря. В некоторых впадинах рифтовой зоны концентрируется рудное вещество.

-  Впадины Красного моря
-  Рифтовая зона

<sup>6</sup> Rona P. A.— Earth Sci. Rev., 1984, v.20, № 1, p. 1.

часть его площади занята спрединговым центром с рифтовой долиной, и это создаст идеальную природную лабораторию, где можно изучать процессы современного образования металлоносных осадков. В осевой части рифта имеется ряд глубоких впадин, в которых скапливается рудное вещество. Г. Ю. Бутузова, известный специалист по Красному морю, провела химико-минералогическое и литологическое исследование осадков в 14 впадинах<sup>7</sup>. При этом выяснилось, что в половине из них содержание марганца не превышает фоновых значений для красноморских осадков. В других оно несколько повышено, и только в одной (впадина Тетис) марганец, наряду с железом, является главным рудообразующим элементом, и средневзвешенные содержания его достигают 18 %. По подсчетам Г. Ю. Бутузовой, общий вклад эндогенного марганца в красноморских осадках составляет 5,4 %, остальные 94,6 % накапливаются в ходе нормального осадочного процесса. Таким образом, даже в Красном море, имеющем весьма ограниченные размеры и значительную площадь, занятую спрединговой зоной с высокой гидротермальной активностью, эндогенный вклад марганца невелик. Соотношение между площадями спрединговых зон и остальными областями океанов существенно ниже, чем в Красном море, и экстраполяция результатов, полученных для Красного моря, на океаны может свести долю эндогенного вклада марганца в их металлогению до очень малых величин.

Мы уже упоминали о быстрообразующихся отложениях марганца на Срединно-Атлантическом хребте. Они находятся на 26-м градусе с. ш. Здесь отсутствует слой осадков, и марганцевые корки (содержащие до 39 % Mn) отложились непосредственно на базальтовых породах в районе пересечения хребта с разломными зонами, служащими местом выхода гидротерм. Общая площадь, на которой отмечены точки с рудными отложениями, составляет около 150 км<sup>2</sup>. Наименьшие по мощности отложения отмечены на участке с современной гидротермальной активностью. На более древних неактивных участках, марганец входит и в состав базального цемента в брекчиях. По-видимому, исключать гидrogenный компонент в составе этих отложений также нельзя, поскольку формирование их, как и заведомо гидrogenных же-

лезо-марганцевых корок, происходит геологически медленно.

Большинство других металлоносных отложений в срединно-океанических хребтах имеет существенно железистый состав, причем, за исключением сульфидных руд в северной части Восточно-Тихоокеанского поднятия, они представлены рассеянными выделениями сульфидов и металлоносными глинами.

В ряде скважин глубоководного бурения также вскрыты металлоносные осадки. Часто они находятся в основании осадочного слоя на границе с базальтами, однако имеют распространение и в других горизонтах осадков. Происхождение базальных осадков обычно связывается с образованием их в спрединговых зонах и последующим отодвиганием вместе с плитами от осей хребтов. Однако эти отложения наименее изучены.

Наш обзор был бы неполным без упоминания о рудных корках. В литературе железо-марганцевые корки, приуроченные к тектонически активным районам, нередко рассматриваются как типично гидротермальные образования, хотя и в отдаленных от этих мест районах все подводные обнажения обычно также покрыты рудными корками. Разделить эти образования по источникам формирующих их металлов пока не представляется возможным.

В заключение отметим, что, представляя существенный научный интерес, металлоносные осадки Восточно-Тихоокеанского поднятия не могут конкурировать с железо-марганцевыми конкрециями в экономическом отношении. На сегодняшний день существует один вид гидротермальных металлоносных отложений, имеющих промышленную ценность, — это сульфидные руды Красного моря, а также, возможно, северной части Восточно-Тихоокеанского поднятия. Однако, несмотря на близость континента, освоение их пока не признано рентабельным из-за узлокального распространения, пестроты состава, а также технических трудностей и дорогостоящей технологии.

<sup>7</sup> Бутузова Г. Ю., Лисицына Н. А. — Литология и полезн. ископаемые, 1983, № 3, с. 16.

## Исчезнувшие народы. Сюнну

С. С. Миняев



Сергей Степанович Миняев, кандидат исторических наук, младший научный сотрудник Ленинградского отделения Института археологии АН СССР. Начальник Забайкальской археологической экспедиции того же института. Специалист по проблемам археологии Центральной Азии.

Наверное, каждому известно это имя — гунны. Название исчезнувшего народа до настоящего времени сохранилось в нашем языке как синоним воинственности, варварства, необузданной жестокости. Энциклопедии и исторические справочники сообщают, что появление этого кочевого народа в Европе положило начало так называемому Великому переселению народов, что союз кочевников во главе с гуннами производил опустошительные набеги на европейские страны, достигнув своего наибольшего могущества при знаменитом вожде Аттиле. Часто гуннам приписывают роль катализатора тех исторических процессов, которые привели к падению Западной Римской империи и окончательной ликвидации рабовладельческого строя в Европе.

Все это — знакомые события европейской истории. Менее известны широкому читателю азиатские «однофамильцы» гуннов (некоторые историки считают — «родственники»), обитавшие в степях Центральной Азии в последние века до новой эры и первые столетия новой эры. В нынешней исторической литературе их называют хунну, или, что ближе к современной принятой транскрипции этого этнонима, сюнну. Союз скотоводческих племен, ко-

торый сложился в конце III в. до н. э. под властью сюнну, сыграл важнейшую роль в истории Центральной Азии. Завоевания сюнну на рубеже III—II вв. до н. э. положили конец «скифскому» периоду в развитии этого региона и ознаменовали наступление эпохи, которая стала связующим звеном между первобытностью и цивилизацией. Образование мощного племенного союза, влияние которого распространялось от Енисея до Маньчжурии и от плато Ордос до Байкала, позволило ликвидировать барьеры на пути этнических и культурных контактов, привело к образованию новых форм материальной культуры и общественных отношений, бытовавших затем на протяжении длительного времени. Не случайно именно с сюнну связывает письменная традиция происхождение многих племен и народностей более позднего времени, в том числе столь известных, как турки или кидани.

Военно-политическая история союза сюнну в период его могущества хорошо известна по историческим хроникам, авторы которых были современниками сюнну. Однако их происхождение и судьба после распада племенного союза остаются малоизученными и все еще дискуссионными вопросами. Впрочем, обо всем по порядку.

## ПИСЬМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ

Основными сведениями о сюнну мы обязаны выдающемуся историку древности Сыма Цяню. В его знаменитых «Исторических записках», созданных на рубеже II—I вв. до н. э., собраны все доступные в то время сведения по истории народов, с которыми китайцы, начиная с глубокой древности, постоянно вступали в контакты. 110-я глава «Исторических записок» целиком посвящена сюнну; она так и названа — «Повествование о сюнну». Кроме нее ценные сведения по истории этого народа содержат и другие главы этого произведения, а также более поздние исторические хроники<sup>1</sup>. Что же сообщают эти источники?

Несмотря на то что Сыма Цянь и живший в I в. н. э. автор «Истории Хань» Бань Гу были современниками сюнну, они ничего не смогли сообщить о происхождении этого народа. Сыма Цянь отметил лишь, что «родоначальником сюнну был отпрыск правителей рода Ся по имени Шуньэй». Правление «династии» Ся, существовавшей, видимо, реально, но пока не отождествленной с конкретными археологическими памятниками, относится к первой половине II тысячелетия до н. э., а первые достоверные сведения о сюнну датированы лишь концом III в. до н. э. За этот период, тянувшийся свыше полутора тысяч лет, о сюнну практически ничего не известно. Как справедливо подчеркнул Сыма Цянь, «это было так давно, что невозможно выяснить и последовательно изложить переходы власти от одного правителя к другому».

Зато события, связанные с возвышением сюнну и дальнейшими этапами их истории, переданы источниками довольно подробно. Образование племенного союза во главе с сюнну зафиксировано в виде яркой легенды, не лишеной, конечно, конкретного исторического содержания. В конце III в. до н. э. верховным вождем (шаньюем) сюнну был Тоумань, в правление которого они были вынуждены оставить ряд своих исконных земель. Тоуманю должен был наследовать старший сын Маодунь, однако Тоумань, желая передать власть младшему сыну от любимой жены (яньчжи), прибегнул к хитрости. Он отпра-

вил Маодуня заложником к соседям сюнну — племенам юечжи, что практиковалось в то время как своеобразная форма мирного договора. Затем Тоумань внезапно нарушил этот «договор» и напал на юечжи, рассчитывая, что те в отместку убьют заложника. Так бы вероятно и случилось, но Маодунь, проявив немалое хладнокровие и мужество, добыл себе коня и вернулся на родину. Отец, по достоинству оценив этот поступок, назначил его одним из военачальников и дал под командование несколько тысяч всадников. Это была роковая ошибка Тоуманя.

Маодунь, не забыв, видимо, пережитого унижения, воспитал своих воинов в духе беспрекословного повиновения, добившись этого простым, но эффективным способом. Изготовив сигнальные стрелы, издававшие в полете пронзительный свист, Маодунь приказал своему войску всегда стрелять туда, куда летит его стрела, а всем, кто не выполнит приказа, грозил отрубить голову. Последовательно пуская стрелы сначала в своего любимого коня, а затем в любимую жену, и столь же последовательно выполняя свою угрозу, Маодунь за короткое время добился того, что его приказы выполнялись без размышлений. Во время одной из охот Маодунь пустил стрелу в любимого коня своего отца, шаньюя Тоуманя, и «все его приближенные тоже выстрелили туда».

На одной из следующих охот (по сведениям источников, осенью 209 г. до н. э.) Маодунь пустил стрелу в своего отца. Переступив через труп Тоуманя, Маодунь стал верховным вождем сюнну. Подобный способ перехода власти не вызвал одобрения высшей знати, а также многочисленных жен Тоуманя и других его детей, тоже рассчитывавших на «престол». Однако Маодунь не остановился и перед казнью всех недобровольных. Уцелевшие вынуждены были беспрекословно подчиниться новому владыке.

Междоусобицей в среде сюнну решили воспользоваться их соседи на востоке, известные под собирательным термином «дунху» (восточные варвары), в которых современные ученые видят предков позднейших монголов. Дунху предъявили Маодуню требования, внешне символические, но крайне оскорбительные по существу: коня, отличавшегося необычайной выносливостью, и одну из жен шаньюя. Любое из требований можно было рассматривать как прямой повод к войне. Все советники угovarивали Маодуня отвергнуть претензии дунху, однако сам шаньюй был ино-

<sup>1</sup> При описании событий военно-политической истории сюнну использованы переводы источников, выполненные В. С. Таскиным. См.: Материалы по истории сюнну, вып. 1 (М., 1968) и вып. 2 (М., 1973).



Территория сюнну в период их наибольшего могущества. II—I вв. до н. э.

-  Территория, находившаяся под властью сюнну во II—I вв. до н. э.
-  Предполагаемый район, где протекал ранний этап истории сюнну

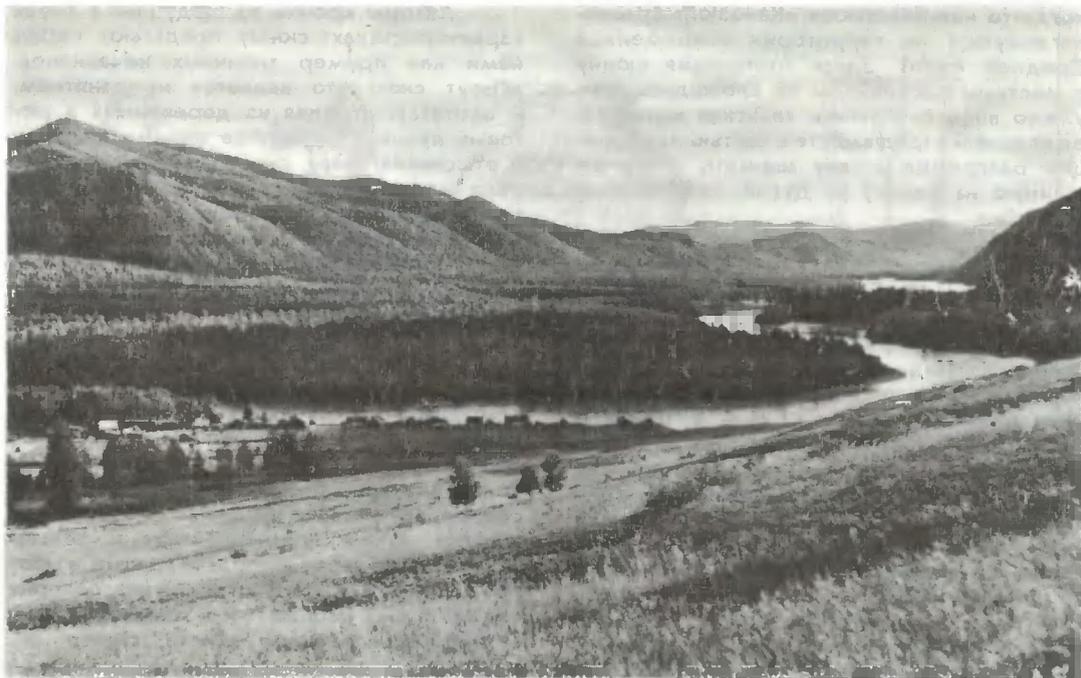
го мнения: «разве можно жить рядом с другим государством и жалеть для него одного коня... и одну женщину?» Дунху получили требуемое и, воодушевившись, захватили часть брошенной земли между ними и сюнну, предупредив последних, чтобы те не смели пользоваться ею. На этот раз советники уговаривали Маодуня не обращать внимания на потерю непригодной земли, но шаньюй вновь был неумолим. В гневе заявив, что земля является основанием государства, он велел отрубить головы всем согласным с потерей земли; затем, собрав войско, внезапно напал на дунху. Дунху были разбиты наголову, их правитель убит, а сюнну получили в качестве добычи множество скота и людей. Затем на западе Маодунь напал и покорил юечжи, на юге присоединил ряд районов, где кочевали племена лоуфань и байян, и полностью вернул земли, потерянные при его отце, шаньюе Тоумане. Завоевания Маодуня довершили походы на север, где он также подчинил ряд племен и расширил границы своего «государства» до огромных пределов.

Усиление сюнну не осталось без внимания на юге от их границ, в Китае, где после периода междоусобных войн сформировалась новая династия Хань во главе с императором Гао-ди. Император отнюдь

не собирался мириться с существованием на своих границах сильного племенного союза и предпринял военные действия, направленные на ослабление сюнну.

Эти действия окончились полным провалом, сам Гао-ди попал в окружение у горы Байдэн и находился там с небольшим отрядом целую неделю без продовольствия и без связи с остальными войсками. Лишь великодушие Маодуня, открывшего в окружении проход, позволило Гао-ди соединиться со своими отрядами, после чего военные действия прекратились. Был заключен договор о мире, «основанном на родстве», по которому Маодунь получал в жены принцессу из императорского рода и ежегодную дань в виде шелковых тканей, риса, вина и других товаров.

О силе и могуществе сюнну в этот период лучше всего свидетельствует письмо, которое Маодунь направил после кончины Гао-ди в 195 г. до н. э. его жене, вдовствующей императрице Гао-хоу. Письмо это Сыма Цянь не включил в свой труд, отметив, что оно «состояло из глупой болтовни». Содержание письма стало известно позднее: Маодунь в двусмысленных выражениях сетовал в нем на свое одиночество и предлагал императрице «руку и сердце». Это было неприкрытым оскорблением, однако ханьская империя не посмела начать



Горные и предгорные лесостепи, пересекаемые речными долинами, — характерные места кочевий сюнну.

военные действия — слишком хорошо помнили здесь об окружении под Байдэном. Императрица ответила письмом, составленным в уничижительных тонах и посылкой очередной дани.

При преемниках Маодуня относительно мирный период в отношениях длился несколько десятилетий. Нарушил его ханьский император У-ди (140—87 гг. до н. э.), проводивший активную завоевательную политику и решивший навсегда покончить с сюнну. Военные действия протекали с переменным успехом: в 123—119 гг. до н. э. сюнну потеряли значительную часть своих земель в Ордосе, однако в 90 г. до н. э. ханьские войска, глубоко вторгнувшись в земли сюнну, потерпели сокрушительное поражение у горы Яньшань. Ночью сюнну выкопали перед ханьскими отрядами глубокий ров, а затем напали на них с тыла и учинили «полный беспорядок», который был столь велик, что из нескольких десятков тысяч ханьских войск к укрепленной пограничной линии вернулись считанные единицы. После этой битвы шаньюй Хулугу отправил ханьскому императору по-

слание, в котором, отбросив «мелкие правила приличия», прямо продиктовал свои условия, лишь принятие которых могло обеспечить Хань относительное спокойствие. О степени очередного поражения лучше всего свидетельствует тот факт, что источники дружно умалчивают о содержании ответного послания.

Военные меры против сюнну в очередной раз не принесли успеха, однако этот племенной союз подтачивала другая опасность, поначалу не столь заметная, но оказавшаяся более разрушительной. Междоусобицы и борьба за власть, почти прекратившиеся при Маодуне и его преемниках, вновь вспыхнули в начале I в. до н. э., когда ослабла власть шаньюя. Эти усобицы, к которым добавились свирепствовавшие несколько лет голод и бескормица, значительно подорвали силы сюнну, и все зависимые владения отошли от них. Особой силы внутренние распри достигли в середине I в. до н. э., когда «пяť шаньюев спорили за власть». В результате сюнну раскололись на две части. «Южные» сюнну (деления условны) заключили мирный договор с Хань, обеспечив себе на некоторое время относительное спокойствие; «северные» во главе с шаньюем Чжи-чжи откочевали в «правые земли», а затем еще далее, в некую таинственную страну,

когда-то называвшуюся «Канцзюй» (располагавшуюся на территории современной Средней Азии). Здесь отношения сюнну с местным населением не сложились, чем умело воспользовалась ханьская империя: ее военный отряд вместе с частью канцзюйцев разгромил ставку шаньюя, расположенную на берегу р. Дулай, сам шаньюй был убит.

История сюнну в I в. н. э. — это история постепенного упадка некогда могущественного племени. Бесконечные усобицы окончательно подорвали его силы. Сюнну терпят ряд поражений от своих соседей, среди которых особо чувствительным было поражение от набиравших силу племен сяньби в 91 г. н. э. Шаньюй после этого бежал «неизвестно куда», а сяньби заняли северные земли сюнну. Как отмечают источники, оставшиеся сюнну «в количестве 100 000 юрт» сами приняли племенное название сяньби. Разумеется, сюнну не исчезают с исторической арены окончательно, как об этом принято иногда думать, — они упоминаются и позднее. Однако о былом могуществе нет и речи — власть над Центральной Азией переходит к другим племенам, некогда зависимым от сюнну.

События, связанные с перекочевкой «северных» сюнну в страну «Канцзюй», а затем и их поражением в 91 г. н. э., рассматриваются многими историками как толчок, приведший к длительному процессу переселения народов и появлению гуннов в Европе. К этой проблеме мы вернемся ниже, а пока посмотрим, что сообщают письменные источники об образе жизни и обычаях сюнну.

Авторы хроник единодушны в своих характеристиках: сюнну предстают перед нами как пример типичных кочевников. «Пасут скот, что является их занятием, и охотятся, стреляя из деревянных и роговых луков... Гоняясь за дикими зверьми и отыскивая траву, они не имеют постоянного места жительства... Нет ни городов, ни оседлости, ни земледелия... не занимаются обработкой полей».

Ценные сведения содержат хроники относительно политической структуры и погребальных обычаев сюнну. Шаньюй правил, опираясь на военачальников, каждый из которых имел выделенный участок земли для перекочевков и командовал вооруженными отрядами в несколько десятков или сотен тысяч человек; наиболее знатных военачальников насчитывалось 24. Эти военачальники по нескольку раз в год собирались в ставку шаньюя, где приносили жертвы духам предков, небу и земле, осенью производили подсчет скота и людей, участвовали в охотах. Отказ от приезда в ставку был вызовом шаньюю и при сильной центральной власти строго карался.

Похороны знати у сюнну сопровождалась пышной церемонией, рядом с покойником, уложенным во внутренний гроб, а затем внешний гроб, клали золото и серебро, одежды и шубы; «любимые слуги и наложницы следуют за умершим в могилу, и количество их достигает самое большее нескольких тысяч или сотен человек».

Итак, судя по сведениям письменных источников (а к ним у историка всегда особое доверие), в период своего расцвета сюнну предстают перед нами как мощная, хорошо организованная в военном и



Рукоять плетки из рога с изображением головы хищника. Иволгинское городище. II—I вв. до н. э.



Бронзовый котел. Иволгинский могильник. II—I вв. до н. э. (слева). Глиняный сосуд для хранения зерна; железный сошник и наконечник лопаты; железный меч (конец обломан). Иволгинское городище. II—I вв. до н. э.

политическом отношении держава, власть которой простирается почти на все центральноазиатские степи и с которой вынуждена считаться даже ханьская империя. Между тем мощь и влияние этой «державы» базируются, судя по источникам, на примитивном кочевом скотоводстве, дополняемом охотой. Не надо быть специалистом, чтобы увидеть здесь явное противоречие. К его оценке мы вернемся ниже.

#### АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ

В 1896 г. врач и антрополог в г. Кяхте, страстный краевед Ю. Д. Талько-Гринцевич (впоследствии профессор Краковского университета), начал раскопки археологических памятников Забайкалья, исследовав за несколько лет свыше 500 могил различной конструкции. К этому времени европейская наука уже располагала сведениями по истории народов Центральной Азии, в основном благодаря деятельно-

сти крупнейшего русского востоковеда Н. Я. Бичурина, опубликовавшего к середине XIX в. переводы основных источников по истории Китая, Монголии, народов Центральной Азии и Дальнего Востока. Поэтому, обобщая результаты своих раскопок и выделив группу погребений в «лиственничных срубках» (а находки в них датировались примерно ханьским временем), Ю. Д. Талько-Гринцевич заключил, что похороненные в срубках — люди из тюркских племен, которые в середине III в. до н. э. «сплотились в одно могущественное государство Хун-ху». Итоги исследований могил Забайкалья были почти полностью опубликованы Ю. Д. Талько-Гринцевичем, но широкое признание они получили не сразу.

В начале 20-х годов нашего века сотрудники Монголо-Тибетской экспедиции известного русского путешественника П. К. Козлова узнали о существовании в горах Ноин-Ула на севере Монголии крупного древнего кладбища, которое было открыто в 1912 г. горным техником А. Я. Баллодом, принявшим воронки в центре курганов за древние выработки. Сотрудникам экспедиции удалось проникнуть в погребальные камеры нескольких курганов, и сделанные там находки произвели в научном мире сенсацию. Воображение ученых поразили сложное устройство могиль-

ных сооружений, найденные в них роскошные ковры и шелковые ткани, меховая одежда, бронзовые изделия. Академия наук СССР в 1924 г. командировала в Монголию известного советского археолога С. А. Теплоухова, который смог, несмотря на сложные погодные условия (дело было в октябре), предпринять научное исследование одного из курганов «открытой разработкой» и выяснить многие детали захоронения. С. А. Теплоухов заключил, «что найденная в Ноин-Уле культура принадлежала могущественному народу. Таким народом могли быть гунны, начало могущества которых совпадает с эпохой старшей династии Хань». С. А. Теплоухов указал на сходство ноин-улинских погребений с курганами, раскопанными Ю. Д. Талько-Гринцевичем в Забайкалье, включив в круг этих памятников и «погребения в листовенных гробах» выделенные ранее Ю. Д. Талько-Гринцевичем в отдельную группу и ошибочно датированные V—VI вв. н. э.

Находки в Ноин-Уле вызвали большой интерес к изучению археологических памятников Забайкалья, для чего была создана специальная Бурят-Монгольская экспедиция АН СССР. Эта экспедиция во главе с Г. П. Сосновским продолжила раскопки Ю. Д. Талько-Гринцевича и открыла новые памятники, в том числе широко известное сейчас Иволгинское городище у г. Улан-Удэ. Исследование этого уникального памятника в послевоенные годы про-

должила экспедиция Ленинградского университета под руководством А. В. Давыдовой. Закономерным продолжением этих работ стало изучение той же экспедицией огромного поселения сюнну у с. Дурены на юге Западного Забайкалья. За последние годы найден и частично изучен ряд памятников сюнну как в Бурятской АССР, так и в Монголии и Ордосе. Что же нового узнали мы из археологических источников?

Прежде всего выяснилось, что эпоха господства сюнну в Центральной Азии — это эпоха качественного скачка в развитии производительных сил этого региона, что связано, в первую очередь, с освоением обработки железа. Именно в памятниках сюнну впервые в Центральной Азии широко представлены различные железные изделия: орудия труда, детали конской сбруи, пряжки для ремней и поясов и, что следует подчеркнуть особо, железное оружие: как наступательное (наконечники стрел, мечи и кинжалы), так и защитное (железные панцирные пластины). Все эти предметы сюнну изготовляли сами: на поселениях найдены и железоплавильные горны, и множество отходов производства в виде шлаков, а также забракованные после литья изделия. Самостоятельность этого производства подчеркивается оригинальной формой предметов, многие из которых не имеют аналогий на соседних территориях.

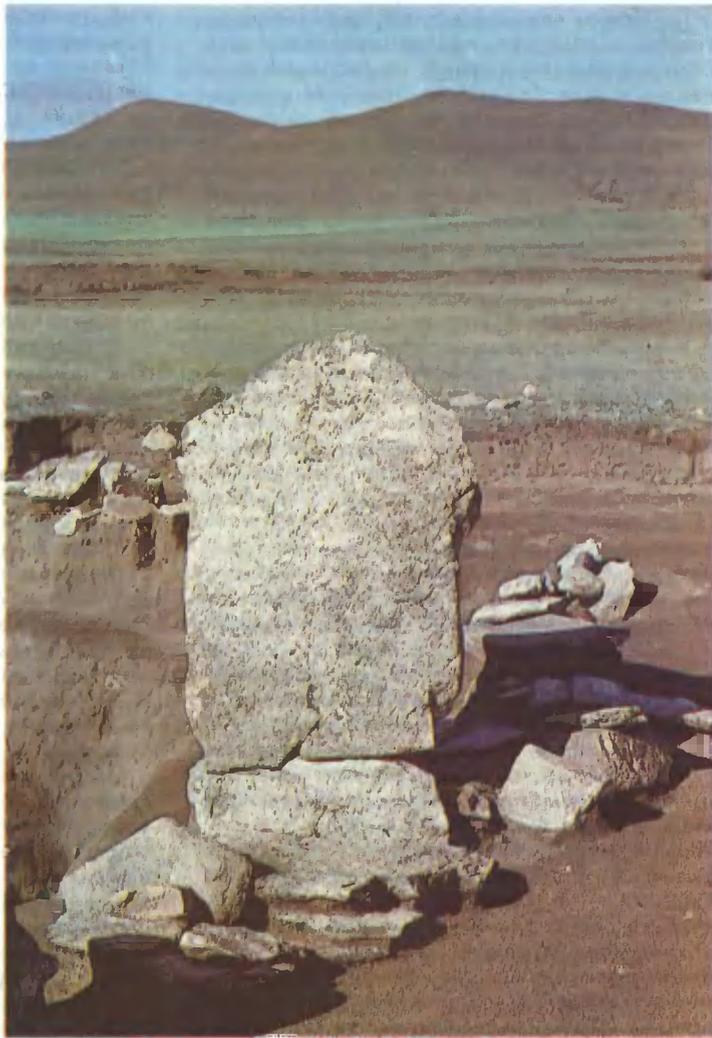
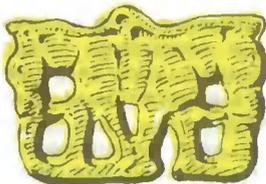
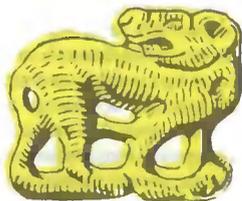
Вероятно, именно сюнну удалось освоить ранее своих соседей выплавку железа и наладить широкое изготовление железных изделий, в первую очередь оружия. Именно это обстоятельство, а также ряд нововведений в военном деле, в частности

Бронзовая пряжка пояса. Иволгинский могильник. II—I вв. до н. э.



Каменная стела — жертвенник. Воздвигнута на одном из курганов Дырестуйского могильника в честь похороненного здесь представителя знати сюнну.

Бронзовые нашивки на пояс. Дырестуйский могильник. II—I вв. до н. э.



изобретение дальнобойного лука, и дало сюнну те преимущества, которые позволили в короткий срок подчинить своих близких и отдаленных соседей на западе, востоке и севере и успешно противостоять ханьской империи на юге.

Высокой степени развития достигли у сюнну и другие виды ремесел — бронзолитейное, косторезное, ювелирное. Бронзовые изделия сюнну, украшенные в так называемом «евразийском зверином стиле», включены во все монографии и каталоги по древнему искусству народов Азии. Изумительные произведения ювелиров сюнну — разнообразные поделки из кости, агатовые, бирюзовые, сердоликовые, флюоритовые бусы, подвески, кольца — составят украшение любой музейной экспо-

зиции. И эти изделия сюнну изготавливали самостоятельно — в их жилищах найдены следы бронзового литья и отходы косторезного производства, заготовки для украшений из различных минералов. Изучение химического состава бронз показало, что для их изготовления использованы сложные сплавы меди с различными компонентами, незнакомые металлургам соседних областей.

Один из самых значительных выводов, который позволяют сделать археологические источники, — бесспорное наличие у сюнну земледелия. На поселениях найдены многочисленные сошники, серпы, мотыги, зернотерки для размола зерна; нередки находки и зерен проса, обнаружены специальные ямы для хранения зерна.

Ярким свидетельством качественного скачка в развитии производительных сил сюнну являются крупные ремесленно-земледельческие центры, неизвестные в предшествующую эпоху. Несколько десятков таких центров известно сейчас на территории Забайкалья, Монголии и Ордоса, наиболее ярким из них — Иволгинский комплекс. Он включает в себя большое и малое городища и относящийся к ним могильник, на долю которого приходится сейчас свыше половины всех исследованных погребений сюнну. Расположенное на берегу Селенги большое городище было окружено мощной системой оборонительных сооружений из рвов и валов, вершины которых укреплены частоколом из заостренных бревен. Общая ширина укреплений составляла почти 40 м, что превращало этот относительно небольшой поселок (350×200 м) в почти неприступную крепость. Внутри этой крепости ровными рядами располагались жилища-полуземлянки, сгруппированные в несколько «кварталов»; в центре крепости находилось жилище «правителя». Иволгинское городище — типичное поселение оседлых жителей, занимавшихся земледелием, скотоводством, рыболовством и различными ремеслами. А вот охота играла второстепенную роль — среди костей, найденных на поселении, кости диких животных составляли лишь незначительный процент.

К иному типу относится поселение сюнну у с. Дурины на берегу притока Селенги — р. Чикой. Здесь нет оборонительных укреплений, а жилища и другие хозяйственные сооружения тянутся вдоль берега реки на несколько километров. Занятия жителей этого поселения были в основном такими же, как и у иволгинцев, но преобладало, видимо, железоделательное производство — отходы этого производства составляют абсолютное большинство среди находок на поселении. Здесь же найдена уникальная бронзовая печать с изображением горного козла, которая позволяет предположить и существование каких-то документов, скрепляемых такой печатью.

Немало ценных сведений принесло и изучение могильников сюнну. Для погребения знати возводились роскошные гробницы, уступающие по размерам, конечно, египетским пирамидам, но требовавшие все же немалого времени и человеческого труда при их сооружении. Для постройки такой гробницы выкапывалась большая яма (глубина свыше 10 м, средние размеры 20×20 м). С южной стороны в яму вел длин-

ный пологий спуск-дромос; на дне ямы устанавливался сруб в 7—10 венцов. В него ставился другой сруб, несколько меньших размеров, а внутрь второго сруба помещали гроб из широких деревянных досок, скрепленных с помощью шипов и пазов. Внутренняя поверхность срубов драпировалась шерстяными коврами и шелковыми тканями, на полу устанавливался разнообразный погребальный инвентарь. На поверхности место погребения отмечалось каменной кладкой, окаймляющей контуры ямы и дромоса.

Погребения представителей военной прослойки, занимавшей, видимо, привилегированное положение в обществе, группируются, как правило, вокруг погребений знати, но отличаются от них меньшими размерами и более простой конструкцией. Могильная яма в таких случаях меньших размеров, у нее нет дромоса, а гроб помещали только в один сруб; не столь богат и погребальный инвентарь. Рядовое население хоронили в простых деревянных гробах, установленных в неглубокой яме, которая отмечена на поверхности невыразительной каменной кладкой; в таких могилах находят лишь по нескольку предметов. Низшие слои общества погребены в простых ямах, часто без всякого инвентаря.

Весьма существенно, что находки погребений воинов сюнну в Южной Сибири, Туве, Монгольском Алтае и ряде других мест подтверждают сообщения письменных источников о границах распространения влияния сюнну и позволяют предположительно отождествить упоминаемые в источниках племена с конкретными археологическими культурами.

Таким образом, археологические материалы засвидетельствовали, что усиление сюнну и связанный с этим «героический период» их истории, выдвинувший легендарных вождей типа Маодуня, обусловлены качественным ростом производительных сил, новым уровнем материального производства. Такое заключение существенно расходится с приведенной выше характеристикой образа жизни сюнну (примитивное кочевое скотоводство и охота), которую дают письменные источники. Не совпадают и сведения о погребальных обычаях: разнообразия конструкций, например, хроник не фиксируют, а человеческие жертвоприношения, о которых они сообщают, не были обнаружены при раскопках до самого последнего времени.

Легче всего, конечно, обвинить авторов хроник в недостаточной информированности: ведь археология дает нам вполне

материальные свидетельства, отразившие реальную жизнь общества, а сведения письменных источников проверке поддаются трудно. Однако не будем спешить с заключениями.

## ПРОБЛЕМЫ

Внимательнее изучив письменные источники, мы увидим, что все данные о примитивном кочевом укладе жизни сюнну относятся не к эпохе их возвышения, а к уходящему в глубь тысячелетий легендарному периоду истории сюнну, ко времени их мифического предка Шуньвэя. В эпоху расцвета сюнну внимание хронистов сосредоточено в основном на событиях политических и военных, обычаи же и образ жизни сюнну переданы в традиционных выражениях, типичных для характеристики всех скотоводческих народов. Качественный скачок, который совершили сюнну в области материального производства, не был до конца понят и оценен в общественном сознании их соседей, хотя хроники и фиксируют его в виде кратких упоминаний о том, что «в земле сюнну сеяли просо» или «было приказано строить амбары для хранения зерна». Итоговый же результат качественного сдвига в жизни сюнну — создание мощного племенного союза с хорошо организованной внутренней структурой — передан письменными источниками достаточно объективно.

Следует учитывать также, что возможности археологии реализованы пока далеко не в полной мере. Несмотря на всю значимость и эффективность материалов раскопок, археологическую характеристику получили лишь памятники, расположенные на юге Бурятии, в первую очередь Иволгинский комплекс и поселение Дурены. Памятники сюнну, расположенные в соседних районах, исследовались в незначительном объеме и в большинстве своем без учета современных методических требований. Между тем соблюдение этих требований существенно расширяет возможности археологических источников, что наглядно показали работы нашего отряда в полевом сезоне 1984 г. При исследовании одного из известных могильников сюнну на р. Джиде раскопкам были подвергнуты не только сами курганы, хорошо заметные благодаря каменной кладке на поверхности, но и значительные участки могильного поля вокруг них. Результат не замедлил сказаться — с северной, восточной и южной стороны одного из курганов были обнаружены еще три

погребения, как бы связанные с курганом в один комплекс, но не имевшие никаких внешних признаков. Простота конструкции этих сопутствующих погребений и практическое отсутствие инвентаря показывают, что здесь погребены люди из низших слоев общества. Причина смерти одного из погребенных (молодого человека) вполне ясна — в первой части лобной кости находилось ромбовидное отверстие от удара острым предметом. Учитывая возраст остальных погребенных (младенец и ребенок 5—6 лет), можно предположить и их насильственную смерть. Так, сообщения письменных источников о человеческих жертвоприношениях у сюнну впервые подтвердились лишь спустя почти сто лет после открытия их первых археологических памятников.

Разумеется, не до конца еще использована и информация, которую хранят письменные источники. Новые их переводы, выполненные и прокомментированные В. С. Таскиным, дали в руки историков новые данные, как правило отсутствовавшие в прежних переводах. Безусловно, комплексное использование сведений из хроник и археологических источников позволит значительно продвинуть разработку главных проблем в истории сюнну. Пока же эти проблемы остаются, и в заключение остановимся на основных из них.

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ СЮННУ И ИХ СВЯЗЬ С ГУННАМИ

Выше мы отмечали, что письменные источники не решают проблемы происхождения сюнну; не решили ее пока и данные археологии. Значительная трудность заключается здесь в том, что многие признаки, характеризующие общество сюнну, его материальную культуру и погребальные обычаи, — это типичный комплекс новаций, не имеющих аналогий в предшествующее время. И если отсутствие крупных ремесленно-земледельческих центров в скифскую эпоху вполне объяснимо — они появились только у сюнну как результат нового уровня в их развитии, — то отсутствие в эту же эпоху типичных захоронений сюнну, какими считаются курганы Ноин-Улы, существенно тормозило разработку проблемы. Однако и этот факт, на мой взгляд, вполне объясним. Ведь курганы знати (а только такие и раскопаны в основном в Ноин-Уле) отразили все тот же процесс усиления сюнну на рубеже III—II вв. до н. э., когда резкое социальное расслоение и обособление



Погребение ребенка, принесенного в жертву при закладе кургана. Дырестуйский могильник.

знати и привело к сооружению столь впечатляющих гробниц. Естественно, они не могли сооружаться до усиления сюнну, в период определенного общественного равенства, как, впрочем, и после падения могущества сюнну, когда социальные различия вновь были сnivelированы. Поэтому вовсе не в курганах знати ключ к решению проблемы происхождения сюнну. Более вероятно, что признаки, характерные для сюнну в ранний, неизвестный пока период их истории, сохранились впоследствии в погребениях рядового населения, которое в малой степени затронула социальная поляризация в период II—I вв. до н. э.

Такой подход позволяет сейчас, несмотря на крайний недостаток данных, наметить район, где могли первоначально обитать сюнну. Это лесостепные районы юго-западной Маньчжурии, где в долинах рек Ляохэ и Лаохаэ обнаружены в последнее время несколько особых погребальных памятников скифской культуры VIII—IV вв. до н. э. Эти памятники обладают как раз теми признаками, которые в III—I вв. до н. э. проявляются именно в памятниках рядового населения сюнну: тело погребенных вытянуто на спине, деревянные гробы в неглубокой яме, небольшая каменная кладка на поверхности. Возможно, именно в намеченном районе

сформировалось ядро племенного союза сюнну, откуда, после известных нам событий, его влияние распространилось на обширные территории азиатских степей. Разумеется, предложенная версия — не решение проблемы, но ее разработка; возможно, она поможет нам существенно продвинуться в понимании тех процессов, которые привели к образованию племенного союза сюнну. Во всяком случае, близких к сюнну памятников скифской эпохи нет в других районах Центральной Азии — эти районы были заняты племенными коллективами, которые характеризуются принципиально иными признаками, чем сюнну.

Наконец, об исторической судьбе союза сюнну, о возможности появления сюнну в Европе. Выше отмечалось, что исходным толчком, который привел к возможной миграции сюнну и трансформации их в европейские гуннов, чаще всего называют либо события, связанные с перекочевкой отряда шаньюя Чжичжи на запад, в страну «Канцзюй», либо поражение сюнну от сяньбийцев, в конце I в. н. э. Рассмотрим достоверность обеих версий.

Согласно сведениям письменных источников, вместе с Чжичжи до «Канцзюй» дошло 3 тыс. человек, которые жили в «городе» шаньюя на берегу р. Дулай,

отождествляемой иногда с р. Талас в Киргизии. Однако в Таласской долине, хорошо изученной археологически, до сих пор не найдено ничего похожего на поселение сюнну или тем более город. Существенно, впрочем, другое. При разгроме ставки шаньюя в 36 г. до н. э. из пришедших с ним сюнну было убито 1518 человек и свыше 1200 попало в плен. Естественно, это обстоятельство перечеркивает попытки связать эпопею шаньюя Чжицжи с началом перемещения сюнну на запад.

Обратимся к другой версии. Разделение сюнну на «северных» и «южных» привело к обострению противоречий в их среде, в результате чего «северные» сюнну терпят ряд поражений, разделяясь, в свою очередь, на целый ряд мелких орд. Во главе каждой стоял вождь, по-прежнему именовавший себя шаньюем, но не обладавший той значительной военной силой, которая отличала племенной союз сюнну во II—I вв. до н. э. Ряд поражений, который терпят эти орды в I в. н. э., приводит к бегству их вождей, но отнюдь не на запад, как принято иногда думать. Рассказывая об этих событиях, хронисты используют неопределенные выражения: «шаньюй отошел на 1000 ли» (около 500 км.— С. М.), «шаньюй бежал далеко». После поражения в 91 г. н. э. «северный» шаньюй «бежал неизвестно куда». Каждый раз речь идет о разных вождях, войско которых не следует за ними, а остается на месте и вливается в состав либо «южных» сюнну, либо других племен. Так, в 91 г. н. э. оставшиеся сюнну в количестве 100 тыс. кибиток «сами приняли название сяньби». Важна для нас и следующая фраза источника: «С этого момента началось усиление сяньби».

Таким образом, военная сила, которой располагали сюнну в I в. н. э., не исчезла, она служила в Центральной Азии основой для усиления других племенных группировок, в первую очередь сяньби, которые вскоре на недолгий срок завладели азиатскими степями. Не случайно письменные источники упоминают о сюнну и во II, и в III, и в IV—V вв. н. э., т. е. тогда, когда европейские страны уже испытали на себе силу кочевых народов. Историческая судьба сюнну связана в раннем средневековье с Центральной Азией: западнее Саяно-Алтайского нагорья нет ни одного раннего памятника сюнну, а те, которые здесь имеются, относятся к эпохе Маодуня, когда сюнну контролировали и Южную Сибирь, и многие другие районы азиатских степей.

Однако кочевые народы, наводившие ужас на цивилизованные страны Европы в первые века новой эры, не случайно, видимо, получили имя «гунны». Европейские историки, конечно, знали о существовании в Центральной Азии мощного племенного союза во главе с сюнну. Сведения о нем могли поступать по Великому шелковому пути, который служил не только для обмена товарами — по нему в обе стороны поступала, видимо, и информация о событиях самого различного характера. Отметим, что некоторые участки этого пути сюнну контролировали в период своего могущества.

Сведения о мощном центральноазиатском союзе кочевых племен были, очевидно, столь впечатляющими, что название «сюнну» быстро получило в Европе нарицательный характер; в латиноязычных источниках оно могло быть записано со слуха в различных вариантах, в том числе как Hunis или Hunni. Поэтому, когда кочевые орды появились на границах европейских государств, их стали называть именно таким собирательным термином — «гунны», окончательно закрепившимся после их военных успехов. Эти события составляют интереснейшую и во многом еще не прочитанную страницу европейской истории и, конечно, заслуживают отдельного разговора.

Как видно, предлагаемая версия не решает проблему происхождения европейских гуннов, а напротив — подчеркивает ее сложность. Исследования этой и других проблем продолжают, и не раз еще придется вернуться к яркой и насыщенной событиями истории кочевых народов евразийских степей и задуматься над новыми находками и материалами.

## СОЗДАТЕЛЬ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ГИСТОЛОГИИ

К 100-летию со дня рождения А. А. Заварзина

25 марта 1986 г. исполнилось 100 лет со дня рождения академика Алексея Алексеевича Заварзина, крупнейшего биолога-эволюциониста, сумевшего наметить новые, нетрадиционные подходы к разработке ряда важнейших биологических проблем.

Взгляды Заварзина на некоторые вопросы общей биологии и сейчас еще многими воспринимаются со скепсисом, несмотря на безусловное признание его заслуг как гистолога.

Каков же был этот яркий и талантливый человек, создавший новую теорию, сильную научную школу в области, казалось бы, застывшей как вспомогательная медицинская дисциплина! История его жизни говорит о многом: о путях в науку в начале XX в.; о создании в провинции полнокровного научного центра в тяжелые годы после первой мировой войны и послевоенной разрухи; о пламенном служении науке и о праве быть руководителем; о сложной и напряженной атмосфере, царившей в биологии в 30—40-х годах.

Отмечая знаменательный юбилей, «Природа» публикует статью члена-корреспондента АН СССР Н. Г. Хрущева и кандидата биологических наук А. Д. Харазовой, в которой теория А. А. Заварзина рассматривается в свете современных представлений, и исторический очерк О. О. Астаховой, использовавшей неопубликованные ранее воспоминания учеников Заварзина и другие архивные материалы.

### Принципы параллелизмов в эволюции тканей

**Н. Г. Хрущев,**  
член-корреспондент АН СССР  
Москва

**А. Д. Харазова,**  
кандидат биологических наук  
Ленинград

Общие задачи, стоящие перед любой биологической наукой, всегда связаны с вопросами эволюции. Гистология — наука о тканях многоклеточных животных — не составляет исключения. И хотя ее становление относится к 20-м годам прошлого столетия, формирование гистологии как самостоятельной биологической дисциплины, а не придатка анатомии, началось с работ Алексея Алексеевича Заварзина.

Уже в своей магистерской диссертации, защищенной в Петербургском университете в 1913 г., Заварзин пошел нетрадиционным путем. Изучив взаимодействия нервных клеток в глазах и оптических нервных центрах<sup>1</sup> личинок стрекозы,

<sup>1</sup> Оптические нервные центры — структуры, где происходит переключение нервных импульсов с одних клеток зрительного пути на другие.



АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ЗАВАРЗИН

13(25). III 1886 — 25.VII 1945

он сопоставил обнаруженные им факты с тем, что было известно о взаимоотношениях нервных клеток в глазах и оптических нервных центрах позвоночных и головоногих моллюсков. Так, впервые в гистологии был сознательно применен сравнительный метод по принципу функциональной аналогии. При этом выяснилась интересная закономерность: несмотря на резкие отличия анатомического строения камерных глаз позвоночных от фасеточных глаз насекомых, взаимоотношения нервных клеток в оптических центрах этих животных оказались удивительно сходными: зрительный путь в обоих случаях образован четырьмя слоями нервных клеток с тремя переключениями между ними (или, говоря современным языком, синапсами). В то же время при большом сходстве анатомического строения глаз позвоночных живот-

ных и головоногих моллюсков (и у тех, и у других глаза камерного типа) организация оптических нервных центров этих животных существенно различается: зрительные пути моллюсков состоят всего лишь из трех, а не четырех основных нейронов с двумя, а не тремя переключениями. Анализируя эти факты, Заварзин пришел к выводу, что в строении оптических нервных центров высших животных лежит общий принцип, не зависящий от степени родства, а определяемый лишь сходной функцией этих центров и уровнем организации животных. Более того, он предположил, что такие общие принципы организации характерны не только для оптических нервных центров, но и вообще для всей нервной системы многоклеточных животных.

Эта работа послужила началом созда-

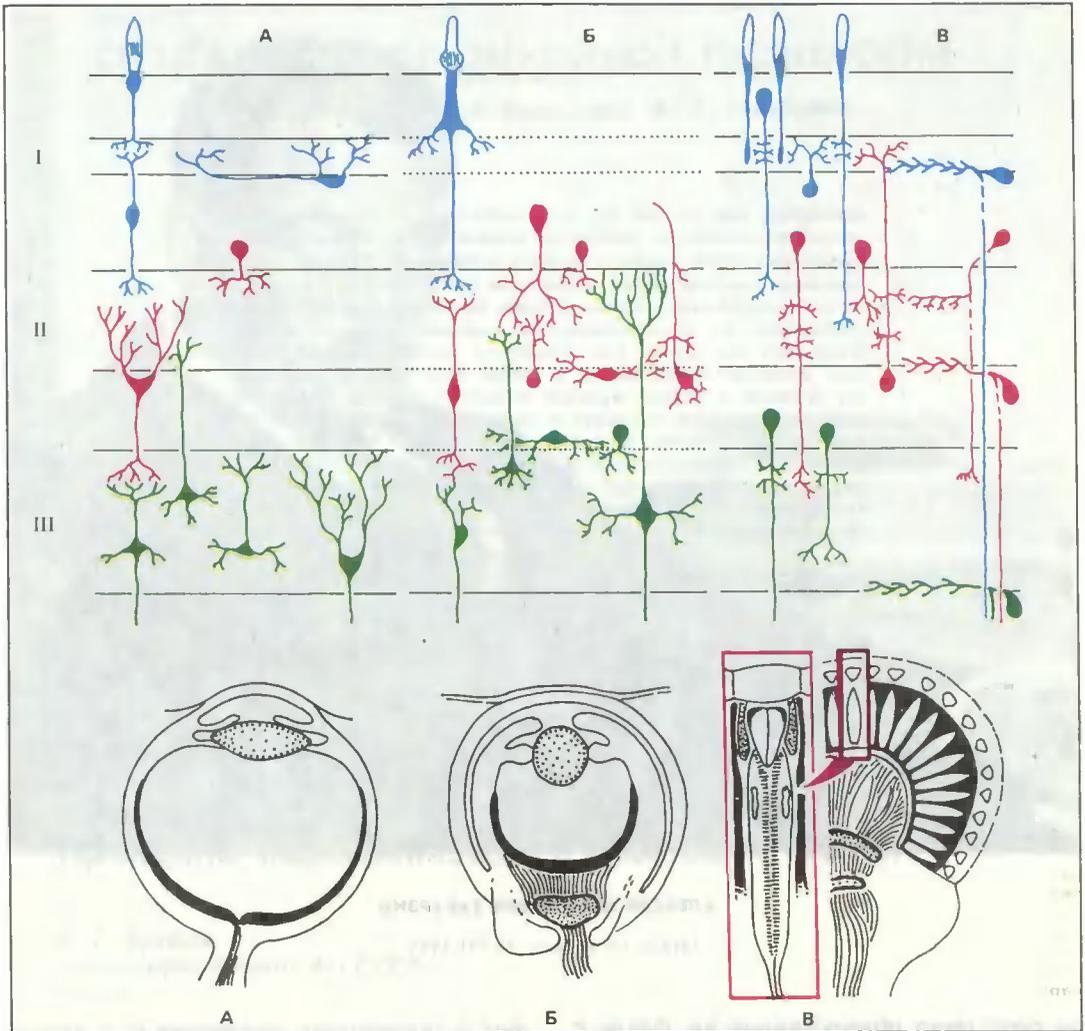
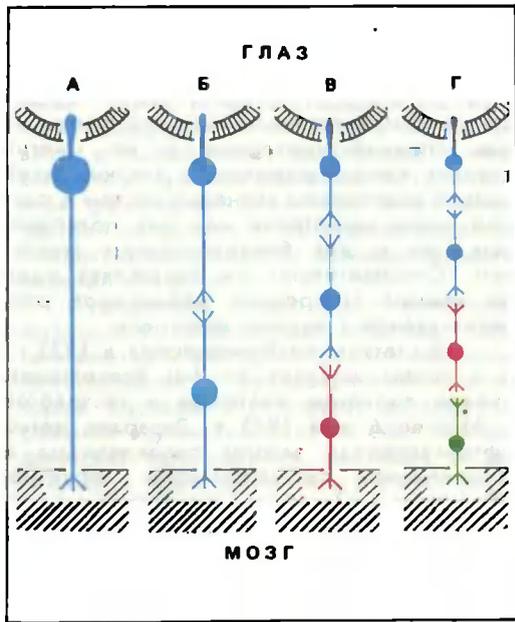
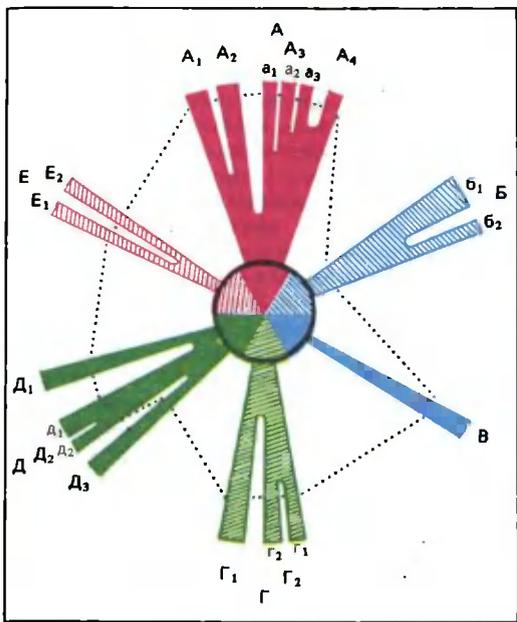


Схема строения оптических центров позвоночных (А), головоногих моллюсков (Б), насекомых (В); внизу: анатомическое строение глаз позвоночных, головоногих моллюсков (камерный тип) и насекомых (фасеточный тип).

Зрительный путь у позвоночных и насекомых состоит из четырех основных нервных клеток, лежащих на различных уровнях. Переключение импульсов между ними происходит в трех оптических центрах [I, II и III]. У головоногих моллюсков, напротив, несмотря на большее анатомическое сходство глаза с позвоночными (камерный тип строения), зрительный путь образован тремя основными нейронами с двумя оптическими центрами, расположенными в двух ганглиях. Организация этих структур отличается большой сложностью, поэтому для простоты здесь изображены только главные нейроны оптического пути. [По А. А. Заварзину, 1913.]

Заварзиным теории тканевой эволюции, превратившей гистологию из чисто описательной вспомогательной дисциплины в стройную самостоятельную биологическую науку об общих закономерностях развития и функционирования тканевых структур.

В следующий, пермский, период своей научной деятельности Заварзин обосновал справедливость этого вывода, применив метод сравнительной аналогии при исследовании других отделов нервной системы (брюшная нервная цепочка насекомых, спинной мозг позвоночных, вегетативная нервная система позвоночных). К этому времени были получены и первые результаты по исследованию воспалительных новообразований в соединительной ткани на-



Схема, иллюстрирующая принцип параллелизма и закон расщепления гистологических структур. Все функциональные структуры тканей можно представить в виде рядов, причинно связанных друг с другом. Центральный круг, разделенный на отдельные секторы, изображает такое начальное состояние ткани, когда все структуры морфологически неразличимы. Шесть лучей (обозначены прописными буквами) — типы тканей, которые в той или иной степени дифференцированы у каждого организма (строчные буквы). Пунктирная линия обозначает такой предполагаемый организм, у которого тип А развит очень высоко, Б, напротив, очень слабо, остальные же занимают промежуточное положение. Эта наглядная схема иллюстрирует тождественность плана всех функциональных структур, которые представлены разными типами. [По А. А. Заварзину, 1925.]

Схема, иллюстрирующая принцип параллелизма на примере строения оптических путей. Можно различить четыре типа устройства оптического пути: в простейшем случае [А] оптические волокна идут прямо в мозг из глаза, т. е. весь путь образован одной фоторецепторной клеткой [такой тип встречается у некоторых аннелид, раков, насекомых]; в более сложном случае [Б] два оптических нейрона вступают друг с другом в контакт в одном единственном оптическом ганглии [этот тип характерен для аннелид, пауков, скорпионов]; при большем усложнении [В, Г] количество нейронов увеличивается и соответственно увеличивается количество ганглиев [тип В встречается у многоножек, пауков, головоногих моллюсков, тип Г — у скорпионов, насекомых и позвоночных]. Таким образом, эта схема показывает, что структуры не зависят от филогенетических отношений. [По А. А. Заварзину, 1928.]

секомы, ракообразных, аннелид и других групп многоклеточных животных.

Полученные факты неопровержимо показали, что у далеко отстоящих групп животных в тканях нервной системы и в тканях внутренней среды (соединительная ткань, кровь) существуют какие-то общие принципы структурной организации.

Заварзин пришел к выводу, что открытые им закономерности отражают общие универсальные особенности организации и усложнения тонких структур многоклеточных животных. Этот обобщающий вывод был сформулирован и обоснован им в 20-х годах в ряде работ, и в частности в большой статье, опубликованной в 1925 г. на немецком языке под названием (в переводе на русский) «Параллелизм

структур как основной принцип морфологии»<sup>2</sup>. В своей первой формулировке теории параллелизма Заварзин констатировал, что у неродственных животных широко распространено сходство тонких структур, аналогичных в функциональном отношении. Это сходство обусловлено общими принципами организации тканей, и для выяснения этих принципов необходимо сравнение на основе функциональной аналогии. Тогда же Заварзин высказал предположение о закономерностях усложнения тон-

<sup>2</sup> Der Parallelismus der Strukturen als ein Grundprinzip der Morphologie.— Z. wiss. Zool., 1925, B. 124, H. 1, S. 118.

ких структур многоклеточных организмов. По его мнению, многоклеточные тканевые системы возникают из более простых, малоклеточных путем расщепления каждой сложной мультифункциональной клетки на две специализированные и во многих случаях проще устроенные клетки. Такой способ усложнения тканевых систем в равной мере характерен как для позвоночных, так и для беспозвоночных животных. Следовательно, он составляет один из важных внутренних механизмов развития тканей у высших животных.

В статьях, опубликованных в 1925 г., и в ярком докладе на 2-м Всесоюзном съезде зоологов, анатомов и гистологов в Москве 6 мая 1925 г. Заварзин четко сформулировал законы параллелизма и расщепления гистологических структур, обосновал и разработал плодотворный метод, позволивший окончательно вывести гистологию из первобытного состояния чисто описательной дисциплины, по словам Заварзина, и, как сказал А. В. Румянцев, крупный гистолог, современник Заварзина, «найти выход из бессодержательного гистологического эмпиризма».

Заварзин в это время еще не делал выводов эволюционного характера, хотя и подошел к ним вплотную, ибо он показал сходство организации функционально аналогичных тканевых структур, свидетельствующее об их параллельном развитии, и вскрыл внутренние механизмы их эволюционного усложнения. Таким образом, в первой формулировке теории параллелизма был предложен, разработан и апробирован рабочий метод сравнительно-гистологического анализа. Основную идею теории параллелизма и закона расщепления гистологических структур хорошо иллюстрируют предложенные Заварзиным и воспроизводимые нами схемы. Всю свою дальнейшую научную деятельность Заварзин посвятил творческому развитию этих идей.

После возвращения из Перми в Ленинград в начале 30-х годов Заварзин создал отдел общей морфологии Всесоюзного института экспериментальной медицины — крупный центр морфологической науки, который вскоре занял видное место не только в Ленинграде, но и во всей стране. Заварзин умело объединил здесь усилия ученых разного профиля (гистологов, эмбриологов, цитофизиологов и сравнительных анатомов), поставив перед ними стратегическую задачу — внедрить исторический общебиологический подход в теорию и практику медицинских исследова-

ний. Таким образом, в этом крупном центре морфологической науки продолжались традиции, заложенные еще в конце XIX — начале XX вв. нашим великим соотечественником И. И. Мечниковым.

Общей теоретической основой исследований в отделе общей морфологии стали теория параллелизма и разработанный Заварзиным сравнительный метод исследования по принципу функциональной аналогии. Однако для широкого использования этой теории и лежащего в ее основе метода необходимо было дать исчерпывающее объяснение фактам, свидетельствующим об ограниченности преобразования тканей в ходе дивергентной эволюции многоклеточных животных. Перед Заварзиным стояла задача превратить теорию параллелизма в теорию об общих закономерностях тканевой эволюции, в учение об эволюционной динамике тканей. В ходе детального изучения вскрытых закономерностей он пришел к выводу, что эволюционный процесс на тканевом уровне организации, т. е. эволюция тканей, принципиально отличается от эволюции организмов.

Причиной таких специфических эволюционных изменений тканей Заварзин считал прежде всего их особое положение в организме — он рассматривал ткани как частные системы организма, отражающие самые общие стороны взаимоотношений организма с внешней средой.

Уже у первых многоклеточных животных эти взаимоотношения сводились к реализации тканями важнейших функций: пограничности; обеспечения постоянства внутренней среды; интеграции организма и управления им на основе анализа и проведения раздражения; сократимости и движения. Значит, функций, общих для всех многоклеточных животных, относительно немного — четыре, что и приводит к формированию у них всех ограниченного числа (также четырех) типов тканей, а именно: эпителиальных, тканей внутренней среды, тканей нервной системы и сократительных.

Таким образом, Заварзин с глубоких биологических позиций обосновал принятую всеми гистологами эмпирически классификацию тканей. Он показал, что именно такая классификация и является естественной системой тканей, поскольку отражает причины их возникновения в эволюции многоклеточных животных.

Осуществляя самые общие функции многоклеточного организма, ткани эволюционируют в направлении более со-

вершенной реализации своих функций. Поскольку же исходным тканевым элементом для специализации служит эквипотенциальная клетка, обладающая общими для всех многоклеточных животных свойствами, а функции тканей, в принципе, сходны у всех организмов, то и ткани, аналогичные в функциональном отношении, как правило, изменяются в одном направлении. В результате такой направленности независимо приобретаются сходные черты организации. Особенно это ярко проявляется у высших многоклеточных животных, стоящих на более высоких эволюционных ступенях.

В связи с этим основной задачей эволюционной гистологии Заварзин считал выяснение общих закономерностей эволюционной динамики каждого типа тканей в их конкретном проявлении у неродственных форм. При этом организация ткани у каждой группы многоклеточных организмов хотя и отражает общие тенденции эволюции данного типа тканей, однако может быть далеко не тождественной у разных организмов, что и делает использование сравнительного метода по принципу функциональной аналогии особенно актуальным.

Новую формулировку теории параллелизма Заварзин назвал теорией параллельных рядов тканевой эволюции. В законченном виде теория параллельных рядов тканевой эволюции была изложена Заварзиным в его последней монографии «Очерки эволюционной гистологии крови и соединительной ткани»<sup>3</sup>.

Естественно, что Заварзин и его ученики и сотрудники не ограничились только теоретической разработкой учения об эволюционной динамике тканей. В многочисленных конкретных работах они показали плодотворность исторического подхода для решения теоретических и прикладных вопросов.

Судьба фактического материала, полученного Заварзиным и его учениками и сотрудниками, различна. Работы по нервной системе насекомых вошли в золотой фонд науки и приводятся сейчас во многих мировых сводках. Что же касается гистологических наблюдений в работах по регенерации мышц, новообразованию соединительной ткани и крови, то их интерпре-

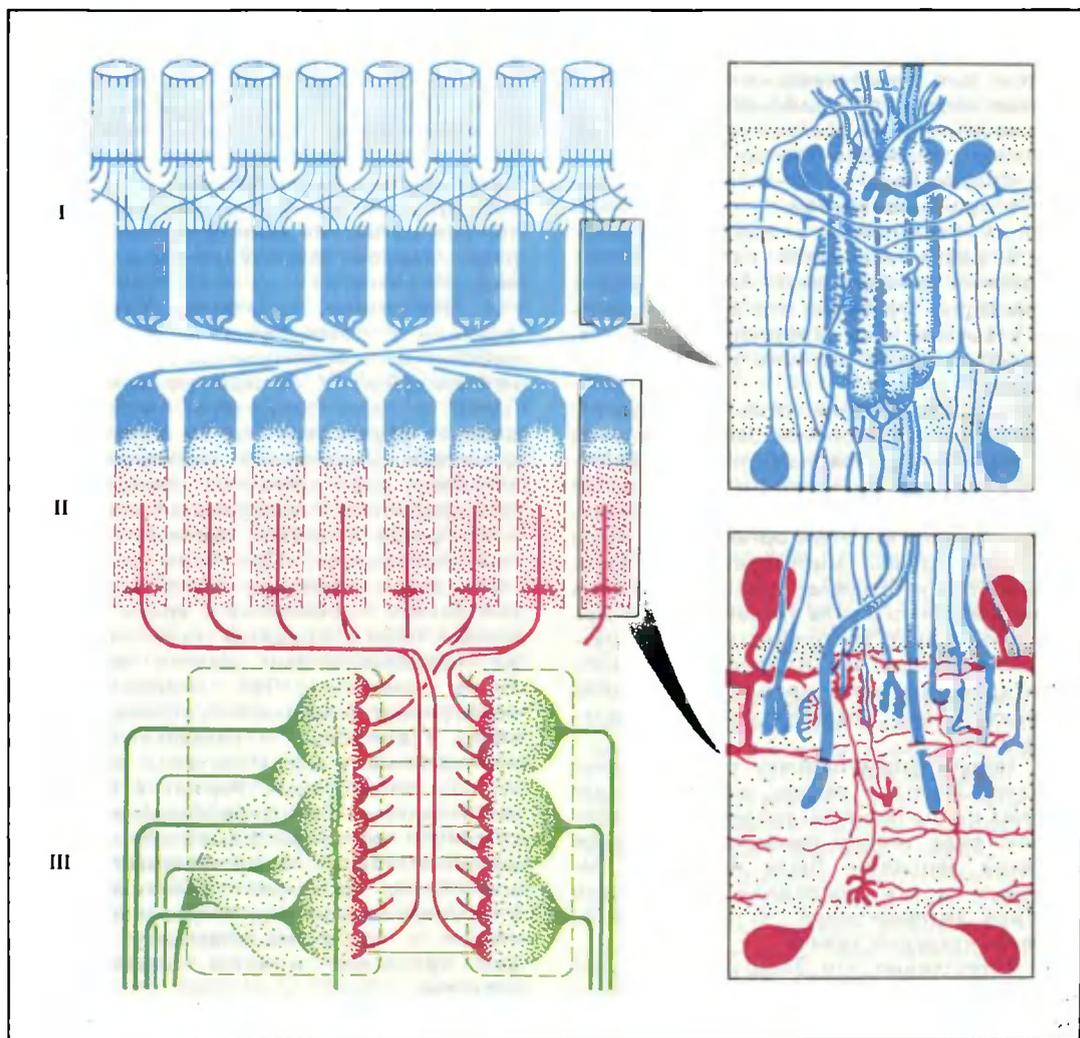
тация Заварзиным не во всем соответствует современным представлениям. Однако само учение об эволюционной динамике тканей с честью выдержало испытание временем и не только не устаревает, а приобретает все более универсальное и глубокое значение. По сути дела, весь фактический материал современной частной цитологии и гистологии поддается плодотворному анализу методом функциональной аналогии.

Например, защитные, иммунные, функции у позвоночных животных обеспечиваются в основном особой лимфоидной системой. У беспозвоночных лимфоидная система отсутствует, а защитные реакции осуществляются за счет неспецифических гуморальных факторов и деятельности двух клеточных систем: наиболее древней и универсальной системы — макрофагов и особой системы гранулярных амебоцитов. При этом ограниченность эволюционной динамики этих защитных систем проявляется в ярких параллелизмах либо в пределах типа, либо между представителями далеко отстоящих типов животных. Так, сходные черты организации лимфоидной системы обнаружены у длительно и независимо эволюционировавших представителей отдельных классов позвоночных. Наряду с этим при несомненном полифилетическом происхождении гранулярных амебоцитов у таких далеко отстоящих неродственных групп животных, как оболочники и членистоногие, в структурно-химической организации этих клеток и их функциональном значении для организма имеется поразительное сходство.

Естественно, что в анализе эволюционной динамики таких систем ведущее значение принадлежит методу морфофункциональной аналогии, поскольку именно при сопоставлении различных структур можно обнаружить их общие свойства.

Особенно ярко проявляется роль предложенного Заварзиным сравнительного метода в нейробиологии — науке, изучающей принцип организации и работы нервной системы, основной интегрирующей системы многоклеточных животных и человека. Огромное количество клеток в нервной системе позвоночных (десятки и сотни миллиардов) весьма затрудняет детальный анализ структурной организации нервной системы и особенно ее высших интегративных центров. Однако, если исходить из теории параллелизма Заварзина, которая утверждает наличие общих принципов организации функционально анало-

<sup>3</sup> Заварзин А. А. Очерки эволюционной гистологии крови и соединительной ткани. М., 1945.



Современная схема сложных отношений в оптических ганглиях мухи-каллифоры. Слева — схематическое изображение отростков фоторецепторов и трех ганглиев (обозначены разными цветами и римскими цифрами), содержащих многочисленные нейроны. В последовательно расположенных зрительных колонках, образованных группами нейронов с отростками и синапсами [обозначены прямоугольниками], идет ступенчатая обработка зрительной информации, которая воспринимается рецепторами от элемента изображения. Таким образом, каждая зрительная колонка соответствует единичному элементу изображения. Справа — типы синаптических контактов первого (вверху) и второго ганглиев. Каждый фоторецептор образует синаптические контакты с отростками нескольких нейронов первого и в некоторых случаях второго ганглиев. В свою очередь, нейроны первого ганглия помимо фоторецепторов формируют синаптические контакты с нейронами второго ганглия. Зоны синаптических контактов имеют, как отмечал А. А. Заварзин, строго закономерную пространственную организацию.

Сопоставление этой современной схемы со схемой

А. А. Заварзина, составленной им в 1913 г., показывает принципиальное сходство наблюдаемых отношений в оптических центрах насекомых, несмотря на более сложное морфологическое строение.

гичных систем, то для выявления этих общих закономерностей можно использовать системы с более простой организацией. Так, при изучении нервной системы в качестве объекта исследования логично, например, взять нервную систему высших первичноротых, и в первую очередь насекомых; количество клеток, составляющих нервную систему этих животных, неизмеримо меньше, чем у позвоночных. Таким путем пошли нейробиологи при изучении функциональной

организации оптических нервных центров, т. е. той самой системы, изучение которой и послужило толчком для развития теории параллелизма.

И современные морфологические и физиологические исследования подтвердили и существенно углубили представления Заварзина о закономерностях организации этих центров. Оказалось, что у насекомых изображение с фоторецепторов проецируется не на три, как считал Заварзин, а на несколько десятков экранов. Кроме того, помимо плоскостной экранной организации этих центров, существует еще и закономерное объединение нервных клеток «по вертикали» (в виде так называемых своеобразных колонок). Такая система позволяет передавать информацию с каждого фоторецептора на 4 канала в первом ганглии и на 20 каналов во втором — наиболее сложно устроенном оптическом ганглии.

Столь сложная структура оптических нервных центров — строго закономерное расположение нервных клеток по горизонтали и вертикали, как оказалось, характерна и для сетчатки позвоночных животных, правда, в этом случае она выражена менее отчетливо. Более того, организация нервных клеток по этому принципу обнаружена во всех отделах коры больших полушарий млекопитающих и человека. Следовательно, детальные исследования морфофункциональной структуры оптического анализатора насекомых приближают нас к пониманию общих принципов организации высших нервных центров позвоночных. В свете этих современных представлений интересно вспомнить, что идея об общих принципах организации оптических нервных центров насекомых и высших ассоциативных центров млекопитающих и человека была высказана Заварзиным в его монографии о нервной системе (1941) и получила развернутое обоснование в докладе «О про-

исхождении коры больших полушарий», опубликованном только сейчас<sup>4</sup>.

Заварзин обладал даром предвидения наиболее перспективных направлений науки. В годы, когда изучение фиксированных препаратов в световом микроскопе было основным методом гистологии, Заварзин отчетливо представлял возможности физико-химических подходов. Он был убежден, что гистология должна быть «прямой и непосредственной приемницей» физико-химических методов<sup>5</sup>.

Показательно также и высказывание Заварзина о значении метода структурно-функциональных аналогий для общей биологии, понимаемой в «узком смысле этого слова, в смысле молекулярной теории живого белка». Глубокий смысл этих слов, сказанных более 50 лет назад, с особой силой ощущается в наши дни, когда физико-химический анализ фундаментальных жизненных явлений стал реальностью, а изучение молекулярных основ дифференцировки и функционирования тканевых и клеточных структур превратилось в одно из наиболее актуальных и интенсивно разрабатываемых направлений современной биологии.

Таким образом, Заварзин полвека назад не только наметил один из столбовых путей развития гистологии, но и предугадал то исключительно важное значение, которое сравнительный метод, разработанный им в отношении тканевого уровня организации, будет иметь и в других биологических науках, объединенных в наши дни в такие комплексные дисциплины, как клеточная биология, нейробиология, биология развития и др.

<sup>4</sup> Заварзин А. А. Труды по теории параллелизма и эволюционной динамике тканей. Л., 1986.

<sup>5</sup> Заварзин А. А. О морфологических закономерностях в гистологических структурах. Природа, 1928, № 4, с. 346.

## Глазами современников

О. О. Астахова

Москва

Как оценить вклад ученого в науку, какова его роль в дальнейшем развитии того или иного научного направления? Ответ на эти вопросы обычно дает время. Самый яркий след ученого в науке — это теория или учение, носящее его имя; проверенные временем, они и составляют золо-

той фонд науки. Сегодняшние гистологи именно так оценивают научные заслуги Алексея Алексеевича Заварзина. Однако не менее важно знать, как жил и творил ученый, имя которого осталось в памяти потомков. Лучше всего об этом могут рассказать его современники. Но их со вре-

менем становится все меньше, и черты живого человека исчезают вместе с ними. Поэтому мы попытались как бы остановить уходящее время и нарисовать портрет Заварзина по воспоминаниям его учеников, используя также некоторые публикации, недоступные широкому читателю из-за их небольшого тиража.

В 1936 г., поздравляя Алексея Алексеевича Заварзина с 30-летием научной деятельности, известный советский гистолог А. В. Румянцев писал ему: «Сейчас, в развороте наших пятилетий, когда все настойчивее и властнее жизнь требует точных формулировок и не менее обдуманых систем, делающих науку настоящей наукой, а не крохоборчеством, и сообщающих науке и смысл, и путь, Вы первый... попытались дать то, чего нам так не хватало: общую теорию. Вы сделали большое дело — положили начало гистологии в Союзе... Мы все сразу — и заметьте — молчаливо (ученые — завистливые и неприятные люди!) признали Вас руководителем, нашим "папашей"»<sup>1</sup>.

О детских годах Заварзина сохранились воспоминания его младшего брата Александра (1900—1980), известного советского архитектора, соавтора памятников П. И. Чайковскому и А. С. Грибоедову в Москве, мемориального комплекса героям Великой Отечественной войны в Севастополе и многих других.

«Отец Алексея Алексеевича Заварзина, Алексей Амплиевич (кстати, мне говорили, что Заварзин производят от Заварза, что на диалекте означает ворчун)<sup>2</sup> происходит из крестьянской семьи из деревни, расположенной под Калугой. Он отличался огромным трудолюбием, ясной головой, был человеком безупречной порядочности, обладал мягким характером и большой добротой. Большие способности позволили ему, не имевшему образования (он учился только в сельской школе), свободно разбираться в сложных технических вопросах. Огромную помощь в работе оказывала ему его жена, Анна Савельевна (Степанова). Она обладала сильным воле-

вым характером, была умна и дальновидна, умела держать людей в повиновении, что ей приходилось делать с самого раннего возраста, когда она фактически сделалась хозяйкой дома. Алексей Амплиевич унаследовал от Степановых механическую мастерскую, которая давала семье все возрастающий доход.

В 1886 г. у них рождается сын Алексей, третий по счету. После потери двух детей третий ребенок, да еще сын, был окружен особым вниманием, и ему давалось все возможное в тех довольно скромных материальных условиях, в которых находилась семья. Часто это шло во вред воспитанности. В детстве Алексей был капризный избалованный ребенок, но с хорошей и доброй душой. Немалое и положительное влияние оказывало на него то обстоятельство, что свое детство он провел в трудовой обстановке.

В 1894 г. Алексей уже пошел в школу. Он был определен в частную гимназию и реальное училище К. И. Мая, на 10-й линии Васильевского Острова»<sup>3</sup>.

Об этом училище следует сказать несколько подробнее<sup>4</sup>. И дело не только в том, что с ним связана жизнь многих выдающихся деятелей отечественной культуры. Это было неординарное не только по тем временам учебное заведение в смысле особого отношения к процессу обучения, при-

<sup>3</sup> Архив А. А. Заварзина.

<sup>4</sup> Средняя школа Карла Ивановича Мая (1820—1895) была одним из лучших частных средних учебных заведений Петербурга. Первоначально (1857) школа была открыта как частное реальное училище, в 1862 г. было добавлено коммерческое отделение (закрыто в 1906 г.), а в 1865 г. гимназическое отделение с полным курсом древних языков, которому в 1882 г. были присвоены права правительственных гимназий. У Мая обучались многие выдающиеся деятели культуры, в том числе А. Н. Бенуа, учившийся здесь в 1885—1890 гг. вместе с К. И. Сомовым, Н. К. Рерихом. В своей книге «Мои воспоминания» (т. 1, М., 1980) А. Н. Бенуа посвящает учению у Мая десяткой страниц (с. 474—515): «Никакой формы в ней не полагалось, большинство товарищей принадлежало скорее к среднему кругу, никаких особенно блестящих путей гимназия не сулила... Зато я нашел в ней нечто очень ценное: я нашел известный уют, я нашел особенно мне полюбившуюся атмосферу, в которой дышалось легко и в которой имелось все то, чего не было в казенном учреждении: умеренная свобода, известная теплота в общении педагогов с учениками и какое-то несомненное уважение к моей личности... Только что помянутая атмосфера была целиком его, Мая, созданием — как личных его душевных и сердечных качеств, так и его принципов и целой теории... Карл Иванович твердо верил в то, что от юного существа можно всего добиться посредством вызывания ему доверия».

<sup>1</sup> Письмо А. В. Румянцева к А. А. Заварзину. 1936 г. Архив А. А. Заварзина.

<sup>2</sup> Эта интерпретация слова, видимо, неверна. В «Словаре русского языка XI—XVII вв.» (вып. 5, М., 1978, с. 143) мы читаем: заварза м. и ж. Стати въ большие заварзы — приобрести какие-то нежелательные качества. В «Толковом словаре» В. Даля (т. 1, СПб.— М., 1880, с. 558) заварзаты (вологодское) — запроказить, задурить.

виваемого ученикам. Не здесь ли взошли ростки заварзинского педагогического таланта, успевшие окрепнуть, когда Заварзин был еще совсем юным, не достигшим 30-летнего возраста профессором, руководителем большого научного коллектива?

В те школьные годы интерес к естествознанию у Заварзина пробудил преподававший тогда у Мая Константин Михайлович Дерюгин (1878—1939), с 1917 г. — доцент, а с 1918 г. — профессор зоологии Петроградского университета. Тогда еще выпускник Петербургского университета, Дерюгин, человек с широкими интересами, сумел увлечь учащихся изучением живой природы.

Определив старшего сына в реальное училище, родители хотели дать ему высшее техническое образование, чтобы в дальнейшем он смог заменить отца в работе. Но после окончания школы 16-летний Заварзин твердо решил идти на естественное отделение физико-математического факультета Петербургского университета. Осуществить это намерение было непросто. Переубедив родителей и заручившись поддержкой своего учителя Дерюгина и Владимира Михайловича Шимкевича (1858—1923), будущего академика, тогда заведовавшего кафедрой зоологии позвоночных в Петербургском университете, блестяще сдав экзамены, в 1903 г. Заварзин становится студентом Петербургского университета.

Это было неспокойное время. В феврале 1905 г. университет закрыли. В октябре того же года Заварзина избили на улице черносотенцы. Месяц спустя отец отправил его в Германию, в Гейдельберг. Возвратился Заварзин оттуда почти через год с основательным знанием зоологии и жгучей ненавистью к бюргерскому филлистерству, сохранившейся у него на всю жизнь.

После окончания Заварзинным университета в 1907 г. его оставляют при университете для подготовки к профессорскому званию, но без материального содержания. Желая быть независимым от родителей, он зарабатывает себе на жизнь изготовлением коллекционных препаратов и преподаванием в коммерческом училище. В университете он работает у Александра Станиславовича Догеля (1852—1922), «старого Догеля», крупного гистолога, известного своей высокой требовательностью к студентам. Но увлекательные лекции и личный пример самоотверженной работы Догеля вскоре сделали то — как писал Заварзин в некрологе своему учителю, — что

анатомо-гистологический кабинет Петербургского университета быстро наполнился самоотверженно работающими сотрудниками.

Один из первых учеников Заварзина, гистолог, впоследствии член-корреспондент АМН СССР Ф. М. Лазаренко так вспоминал об этом времени: «В 1913 г. Заварзин был самым младшим ассистентом у А. С. Догеля. Молодость, общительный характер, простота и очень веселый нрав [Заварзина] привлекали к себе молодежь. Он обычно сидел на столе, болтал ногами, курил (оглядываясь, чтобы не видели этого старшие) и рассказывал всегда что-то интересное, причем так, что хохотали все, а его зычный хохот перекрывал всех. Это были рассказы о Мурманской биологической станции, о том каких животных там можно найти, о тех интересах, которые они представляют для гистолога, как этих животных приходится ловить в море на лодках и катерах, и все это увлекательно, сплетая глубокую науку с веселыми эпизодами. Живые блестящие глаза, широкий размашистый подчас жест, добродушная шутка — вот характерные черты первого впечатления, которое оставлял Алексей Алексеевич на первокурсников...

Он ввел у нас строгую, переходящую в педантизм, систему в работе. С первых же дней в простой, товарищеской, необычной в то время обстановке в университете был составлен план работы на полгода... Мы заражались увлечениями А. А. Заварзина, который чувствовал в нас исправных и умелых исполнителей его задуманного плана расширенного практикума по гистологии. Общительность характера проявлялась не только в отношениях с нами, работающими в группе. Всякий любопытный факт, им обнаруживаемый, всегда приводил его в шумный восторг, он сейчас же рассказывал работающим в ассистентской нашей половине лаборатории, а также в ассистентской Догелевской половине... Нужно отметить, что такой стиль работы в лабораторной семье культивировался им всегда и в дальнейшем»<sup>5</sup>.

С началом войны 1914 г. возникла необходимость эвакуации университетов из западных областей, расположенных близко к фронту. В Пермь предполагалось перевести Юрьевский (впоследствии Тартуский) университет. При первом же из-

<sup>5</sup> Лазаренко Ф. М. Воспоминания. Архив А. А. Заварзина.

вести об этом пермская общественность начала подготовительную работу. За короткий срок в фонд будущего университета было собрано около 2 млн рублей. Большое участие принял в этом пермский пароходовладелец Н. В. Мешков<sup>6</sup>, передавший безвозмездно 500 тыс. рублей и здание огромного бывшего ночлежного дома (Народного дома имени Е. И. Мешковой) с дешевыми столовыми, библиотекой, амбулаторией, электростанцией. Но эвакуация Юрьевского университета в Пермь не состоялась. Тогда, в середине 1916 г., правительством вынесено постановление об открытии Пермского отделения Петроградского университета, с тем чтобы потом в законодательном порядке организовать самостоятельный университет, что и было сделано в 1917 г.

Пермский университет был 11-м, последним университетом, открытым в дореволюционной России. Туда поехали преимущественно молодые, энергичные представители профессорско-преподавательского состава, не имевшие близких перспектив на продвижение в Петроградском и других университетах, поскольку основные штатные места там были уже заняты. Приток молодых сил позволил за короткое время сформировать коллектив высокой педагогической и научной культуры, из которого вышли будущие академики: крупнейший математик Иван Матвеевич Виноградов (1891—1983), геолог-петрограф Александр Алексеевич Полканов (1888—1963), палеонтолог Юрий Александрович Орлов (1893—1966), физиолог растений Андрей Александрович Рихтер (1871—1947), ректор Пермского университета с 1921 г.; члены Академии медицинских наук: зоолог Владимир Николаевич Беклемишев (1890—1962), эмбриолог Павел Григорьевич Светлов (1892—1974) и гистолог Федор Михайлович Лазаренко

(1888—1953); студентами университета были будущие академики физиологи Василий Васильевич Парин (1903—1971) и Владимир Николаевич Черниговский (1907—1981).

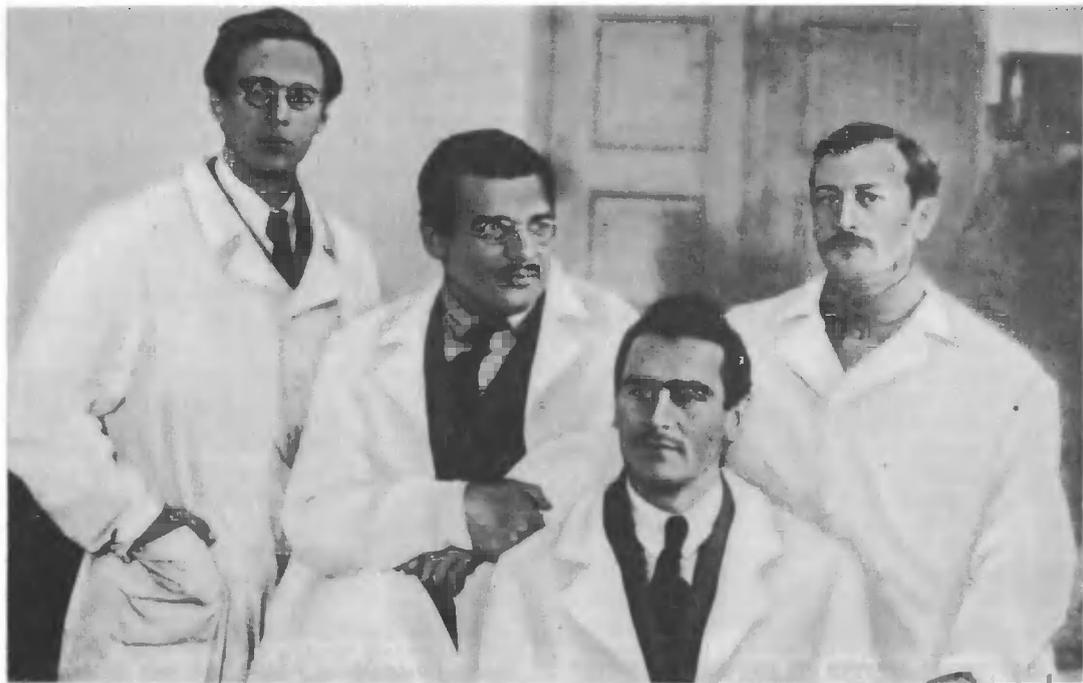
Ко времени переезда в Пермь у Заварзина был лишь двухлетний стаж приват-доцента Петербургского университета и небольшой опыт в организации научного журнала «Русский архив анатомии, гистологии и эмбриологии», основанного А. С. Догелем в 1915 г., который и привлек Заварзина к редакторскому делу.

В создании Пермского университета Заварзин был не просто активным участником, но и стал одним из его основателей. Примечательные воспоминания об этом ярком и нелегком времени оставил его тогдашний ассистент, уже упомянутый Ю. А. Орлов.

«...Обстановка вновь созданного университета была очень своеобразной и трудной. Нужно было быть энтузиастом своего дела и иметь мужество устраивать университет, педагогике, при первой же возможности научную работу и нужно было для успеха дела не только самому любить университет, но и заставить студенчество ценить его, понять, что студенты наравне с профессурой — основатели новой на Урале цитадели науки и культуры...»

Быть может, самое трудное в жизни и одновременно весьма важное — правильно оценивать людей. Это требует не только природного ума, умения быть объективным, но и некоторого жизненного опыта. Последний во всяком случае отсутствовал у еще не окончившего университет 23-летнего «ассистента». Поэтому мне многое было непонятно в А. А. Заварзине... Разные видели в нем разное. Некоторых поражала его непривычная для профессора шумность, резкость, внешняя, наполовину напускная неуклюжесть. Некоторые, особенно склонные к тихому спокойному существованию, а отнюдь не к активной организационной работе, были попросту недовольны его неуемной, несокрушимой энергией и настойчивостью, которые он проявлял всегда во всех вопросах, связанных с организацией нового университета. Но были и другие, которые правильно поняли, что перед ними прежде всего ученый и организатор науки в том месте, где ей по географическому положению необходимо быть. Они видели в А. А. Заварзине пусть неопытного и, может быть, по молодости и тем-

<sup>6</sup> Капиталист Н. В. Мешков был одним из тех типичных меценатов, которые до Великой Октябрьской социалистической революции жертвовали огромные суммы на развитие культуры и науки. Тех из них, которые с доверием отнеслись к Советской власти, В. И. Ленин старался привлечь к культурному и даже гражданскому строительству. Личный секретарь В. И. Ленина Л. А. Фотиева на запрос ученика Заварзина академика Ю. А. Орлова отвечала ему: «Ленин знал Мешкова еще до революции, не встречался с ним, но знал о нем и о его деятельности, и назначение Н. В. Мешкова консультантом НКПС было сделано с полного согласия Ленина, если не ошибаюсь, по инициативе Красина». (Письмо Л. А. Фотиевой к Ю. А. Орлову, 1965 г. Пермский обл. архив.)



С ассистентами, ближайшими сотрудниками и друзьями. Слева направо: Е. С. Данини, А. А. Заварзин, Ю. А. Орлов, Ф. М. Лазаренко. Пермский университет, 20-е годы.

пераменту очень зазорного, но бесценного работника и патриота своего университета, которому дороги в новом строящемся храме науки и просвещения и профессора, и студенчество, и вообще все, кто любит университет и все, что нужно для университета.

В особенности хорошо относилось к нему молодое, еще без всяких исторически сложившихся традиций, пермское студенчество. Как известно, студент, взятый по отдельности, может быть слаб, плох и т. д. Но студенчество как коллектив всегда было и будет умным, наблюдательным и тонко понимающим профессора коллективным умом... И пермское студенчество с самого начала полюбило ряд профессоров и преподавателей, но, может быть, никого так сильно, как А. А. Заварзина, несмотря на его строгость и требовательность...

В свою очередь, А. А. Заварзин ценил в профессуре и в местных людях прежде всего бескорыстное желание сделать все, что можно на пользу университета. Неугомонный и страстный, он был поэтому, быть может, и не всегда объективен в своих суждениях о других людях.

Начался 1920—21 учебный год. А. А. Заварзин продолжал свое деканство на медицинском факультете. Оно было очень сложно и полно хлопот. Приходилось хлопотать о новых клиниках, вести бесконечные переговоры со здравотделом и другим начальством по поводу помещений и т. д. Алексей Алексеевич начинал тяготиться нагрузкой не по прямой специальности — он был биолог, а не клиницист. Надо было добывать профессоров, причем таких, чтобы были не только хорошими врачами, но и организаторами, а также хорошими учеными. На беду, на Волге и Каме был недород, снова продолвольственные затруднения, притом довольно тягостные...

В это время Алексей Алексеевич полным ходом занимается работой над центральной нервной системой артропод, просматривая и протоколируя многочисленные серии препаратов, в значительной степени изготовленные ранее, частью еще в Петрограде. По своей живости и общительности он часто звал нас к себе, показывая наиболее интересные и красивые. А его препараты, за ними рисунки, были очень красивы. Это действовало на нас, в частности на меня, заражающе и бодро.

В январе 1921 г. я поехал с А. А. Заварзиным в Москву по делам медицинского факультета — шли хлопоты относитель-



На практических занятиях по гистологии. Кафедра гистологии в «Мешковском доме» — главном здании Пермского университета. 20-е годы.

но оборудования и добывания клиницистов... Закончив дела в Москве, мы отправились в Петроград... Необыкновенно тепло и отечески радушно меня встретил А. С. Догель, которому Алексей Алексеевич, по-видимому, хвалил меня. «Старый Догель» жаловался на трудную обстановку в анатомо-гистологическом кабинете, именно на отсутствие дружбы между его помощниками и старыми учениками, профессорами А. В. Немиловым и Д. И. Дейнекой, и в буквальном смысле слова со слезами на глазах говорил о талантливости и совсем особенных душевных качествах А. А. Заварзина...

Весна 1921 г. особенно памятна мне... Около этого времени был основан биологический научно-исследовательский институт при Пермском университете, первым директором которого был профессор Б. Ф. Вериге (1860—1925; с 1917 г. — заведующий кафедрой физиологии Пермского университета). В состав института, работавшего на базе биологических лабораторий университета и биологической станции в Нижней Курье, наряду с другими биологами вошли и все ассистенты А. А. Заварзина.

Институт вначале не имел никакого печатного органа. Он вскоре, однако, появился в виде Бюллетеня... Летом 1922 г. был сверстан... первый номер, в котором

были помещены наши краткие гистологические статейки. Этот первый выпуск стоил невероятных хлопот, легших, главным образом, на плечи А. А. Заварзина, зоолога А. А. Любищева и некоторых других, наиболее активных сотрудников института. Но начало было сделано, и впоследствии тонкие, в голубой обложке, выпуски этого Бюллетеня получили широкое распространение не только в СССР, но и за границей, откуда в обмен стало поступать много разнообразной литературы...

В это время биологические кафедры Пермского университета по своему оборудованию могли бы конкурировать с лучшими столичными. В гистологической лаборатории было 40 микроскопов, около 15 иммерсионных, серия микротомов, термостатов, значительное количество реактивов, посуды, довольно недурная справочная библиотека, а главное, дружная компания во главе с Заварзиным... Хорошо дело шло и в других биологических лабораториях, на кафедре зоологии у профессора Д. М. Федотова, на кафедре морфологии и систематики растений у профессора А. А. Рихтера<sup>7</sup>.

Однако для Пермского университета приближалось тревожное время. В 1921 г. административный центр Урала был пере-

<sup>7</sup> Орлов Ю. А. Воспоминания. Архив А. А. Заварзина.

несен в Свердловск. Там был открыт новый университет. Несмотря на отлично налаженную педагогическую и научную работу, встал вопрос о закрытии Пермского университета. После больших хлопот университет удалось отстоять. «Пройдя через бури революции и гражданской войны, израненный, но бодрый духом, 1 октября 1921 г. он праздновал свою победу и показал, что он есть и будет научным центром обширного Прикамья и Приуралья и что никакие силы не вырвут его из Перми», — так писали преподаватели и студенты по случаю 5-летней годовщины университета Н. В. Мешкову, принимавшему самое горячее участие в судьбе Пермского университета<sup>8</sup>.

Примерно в это же время в Пермь пришло известие об уходе с кафедры гистологии Военно-медицинской академии А. А. Максимова. Как вспоминает Ю. А. Орлов, «профессор Протопопов, позднее академик АН УССР, твердо заявил по этому поводу, что теперь Алексей Алексеевич наверняка уйдет в Военно-медицинскую академию. Нам, его ассистентам, не представлявшим себе ни Пермского университета, ни нашей лаборатории, ни самих себя без А. А. Заварзина, это показалось невероятным. Однако жизнь есть жизнь... Но ясно было и то, что нельзя удерживать человека — крупного ученого и организатора — несомненно не только имеющего права на пребывание в большом научном центре, но и в известной мере обязанного придти в него по всей конъюнктуре...

Алексей Алексеевич уехал в Пермь совсем молодым профессором после двухлетней доцентуры в Петроградском университете. За несколько лет пребывания в Перми он не только стал одним из самых главных основателей Пермского университета, но и сумел в трудной обстановке того времени, при огромной научно-организационной работе и педагогической нагрузке, вырасти сам научно и вырастить ряд учеников. Приходится поражаться его феноменальной силе духа и совершенно несокрушимой энергии. Не останавливаясь на научном анализе его работ, отмечу лишь, что некоторые его основные концепции развились именно в пермский период.

Нагрузка, которую он нес в то время, была бы достаточна для трех солидных и энергичных сотрудников. Он не боялся никакой работы, даже самой черновой, и никаких трудностей. Это всегда действова-

ло на всех ободряюще, не позволяло никому думать о том, что обязан или не обязан кто-либо выполнять работу, не всегда интересную или легкую. Алексей Алексеевич владел всем одинаково хорошо: топором, паяльником, метиленовой синькой, деканатом, а главное — своими товарищами и помощниками. Теперь, когда прошло много лет с тех пор, когда приходится стоять перед разнообразными трудностями жизни и ее организации, всегда вспоминаешь Пермь и Заварзина»<sup>9</sup>.

\*

В Петроградском университете на кафедре А. С. Догеля складывалось неблагоприятное положение, и он звал Заварзина к себе. Но в 1922 г. Заварзина выбрали руководителем кафедры гистологии Военно-медицинской академии, и он проработал там 10 лет. К этому времени относится публикация его основных работ, излагающих принцип параллелизма. В мае 1925 г. в Москве состоялся 2-й Всесоюзный съезд зоологов, анатомов и гистологов, на пленарном заседании которого Заварзин сделал большой доклад «О сравнительном методе в гистологии». «Кладя в основу гистологического исследования идею гистологического параллелизма, — говорилось в докладе, — мы получаем в свое распоряжение некоторый новый логический метод, который я и хочу назвать сравнительным методом гистологии»<sup>10</sup>. Как вспоминал А. В. Румянцев, «... после речи Алексея Алексеевича становилось для всех ясно, что дело идет не об интересной фантазии ученого, а о большом, новом направлении в советской науке, зачинателем которого является А. А. Заварзин... Все услышанное казалось новым и увлекательным... Речь Заварзина была произнесена без всякого ораторского блеска, но все, что говорил Алексей Алексеевич, дышало такой убедительностью и страстностью, что мы по праву считали его выступление одним из лучших и наиболее интересных»<sup>11</sup>.

После съезда Заварзин принялся горячо и последовательно готовить кадры. В первую очередь надо было создать свои учебники, чтобы не пользоваться переводными. В 1925 г. были отредактированы и переработаны «Основы гистологии»

<sup>9</sup> Орлов Ю. А. Воспоминания. Архив А. А. Заварзина.

<sup>10</sup> Заварзин А. А. — Изв. Биол. н.-и. ин-та при Пермском ун-те, 1925, т. 4, вып. 1, с. 3.

<sup>11</sup> Румянцев А. В. Академик Алексей Алексеевич Заварзин. — В сб.: Памяти академика А. А. Заварзина. М.—Л., 1948, с. 16.

<sup>8</sup> Архив Н. В. Мешкова. Цит. по: Невмыва-ка Г. А. Алексей Алексеевич Заварзин. Л., 1971, с. 76.

А. А. Максимова, в 1930 г. вышел написанный Заварзиным «Курс микроскопической анатомии», причем первая его часть, посвященная гистологии, вышла только в 1932 г. По этому многократно переиздававшемуся учебнику учились многие поколения советских медиков.

Очень много сил Заварзин отдавал общественной работе. «Бесчисленные заседания всевозможных коллегий, которые всегда переполняли жизнь наших научных работников, не были для него скучной обузой, как это нередко бывает. Он смотрел на них как на своего рода служение и не пассивно присутствовал на них, а собрав все силы, всюду находил случай что-то провести, чего-то не допустить, за кого-то или за что-то заступиться. Он оживлял заседание подчас даже там, где, казалось, для этого не было никакой возможности. Он как-то говорил, что ничто в жизни не берет у него так много энергии, как участие в заседаниях. И действительно, нередко можно было наблюдать, как полусонное «заслушивание» какого-нибудь дела в ученых советах при появлении А. А. Заварзина сменялось жаркой и принципиальной дискуссией, загоравшейся после его яркого выступления».

Характерным было и его отношение к научной печати. В 1934 г. выступая на Всесоюзной гистологической конференции с докладом, посвященным задачам советской гистологии, Заварзин сказал: «Но все это не будет иметь значения, если мы не решим основного вопроса, который надобно в совершенно недостойном положении. Это вопрос о нашей собственной литературе... Настала пора освободиться от необходимости идти на поклон к Западной Европе для того, чтобы публиковать нашу такую научную продукцию, какой на Западе еще нет»<sup>12</sup>. Он призывал всех советских морфологов не публиковать свои работы за границей, обязуясь в первую очередь сам печататься только в отечественных изданиях.

В 1932 г. во Всесоюзном институте экспериментальной медицины был создан Отдел общей и сравнительной морфологии, организация которого была поручена Заварзину. По его мнению, основной дисциплиной для отдела должна стать гистология, поскольку именно она наиболее тесно связана с медицинскими задачами. К этому

времени уже наметились основные черты эволюционного подхода к развитию тканей. Как писал Заварзин, «накопился достаточный материал для того, чтобы сделать более глубокую попытку, чем это было возможно раньше, еще раз поставить вопрос о тканевой эволюции и тем самым попытаться ввести гистологические исследования в то русло эволюционной морфологии, мимо которого они прошли в своем развитии»<sup>14</sup>. Еще раньше, обдумывая развитие этого направления, Заварзин записал в своем дневнике на биологической станции в Полярном: «Существует ли эволюция тканей, т. е. идет ли она по тем же законам, что и органическая эволюция? Нет и не может быть! Существует лишь подчиненное развитие. Свойством органической эволюции обладает лишь целый организм»<sup>15</sup>.

В своем большом докладе «Об эволюционной динамике тканей» он разбирает вопрос, почему возникают параллельные ряды и каким образом факт их существования согласуется с развитием целых органических форм, обычно не обнаруживающих такого параллелизма в своей эволюции. «Параллельные ряды могут существовать только в том случае, если у всех животных групп, даже далеко отстоящих по своему происхождению друг от друга (каковыми, в частности, являются артроподы и позвоночные), развитие тканей будет идти в одном и том же направлении и давать в результате одни и те же дифференцировки... Постольку же, поскольку каждый ряд является результатом известного филогенетического процесса, отсюда возникает необходимость допустить, что в филогенетической эволюции тканей имеется какая-то направленность, которой только и возможно объяснить параллельные ряды»<sup>16</sup>.

Существование аналогии в строении тканей, обнаруженное Заварзиным, было крупным эмпирическим обобщением, как это квалифицировал В. И. Вернадский. В своем предисловии к замечательной и, пожалуй, единственной биографической книге Г. А. Невмываки, посвященной Алексею Алексеевичу Заварзину, П. Г. Светлов писал: «Для того чтобы вывести гистологию на более широкую дорогу, необходимо было найти идею, которая могла бы охва-

<sup>12</sup> Из предисловия к кн.: Невмывака Г. А. Алексей Алексеевич Заварзин. Л., 1971, с. 9.

<sup>13</sup> Стенограмма Всесоюзной гистологической конференции. 1934 г. Архив А. А. Заварзина.

<sup>14</sup> Заварзин А. А. Об эволюционной динамике тканей.— Архив биол. наук, 1934, т. 36, вып. 1, с. 7.

<sup>15</sup> Архив А. А. Заварзина.

<sup>16</sup> Заварзин А. А. Об эволюционной динамике тканей, с. 29.



На отдыхе. А. А. Заварзин со своей семьей. Пригород Ленинграда. Конец 30-х годов.

тить основную массу фактического материала этой науки и тем самым приобщить ее к фронту передовых биологических дисциплин. Однако одного указания на такую идею было бы, разумеется, недостаточно. Нужно было, исходя из гистологического материала, создать обобщение, которое давало бы новый угол зрения для рассмотрения этого материала в свете крупной общепроцессуальной проблемы и открывало бы перспективы для дальнейшего исследования. То и другое было выполнено А. А. Заварзиным. Обобщением, о котором только что говорилось, явился открытый им принцип параллелизма тканевых структур, а общей идеей, в сторону которой был направлен этот принцип, — эволюционная теория. Этого было достаточно, чтобы перестроить гистологию заново. В ней появилась новое направление, за которым прочно удержалось название „эволюционная гистология“.

Опубликование теории параллелизма тканевых структур А. А. Заварзина (1923) по времени почти совпало с появлением теории гомологических рядов Н. И. Вавилова (1921) и теорией номогенеза Л. С. Берга (1922). Основой для этих трех теорий наших выдающихся ученых послужило явление параллелизма, понятое как незави-

симое возникновение сходных признаков в эволюции организмов, с дальнейшим развитием их в одинаковых направлениях. Первая из указанных теорий трактует параллелизм в клетках и тканях, вторая — в наследственных механизмах систематических признаков сравнительно близких форм родов и видов, третья — в сравнительно-анатомических рядах... Таким образом, основание для учения о параллелизме как о круге явлений, широко известном теперь на всех уровнях организации, от молекулярного до популяционного и биоценозического, занимающем в настоящее время значительные разделы мировой науки в ряде биологических дисциплин, положено трудами ученых нашей страны, причем видное место среди них принадлежит трудам А. А. Заварзина.<sup>17</sup>

Однако 30-е годы для самого Заварзина оказались трудными. В то время начали появляться всевозможные критические замечания, обвинения в антидарвинизме, идеализме, витализме. Критики, плохо разбиравшиеся в вопросах естествознания, огульно, но с апломбом обвинявшие Заварзина, создали вокруг него атмосферу недоверия. Особым нападкам подвергался его учебник «Курс гистологии и микроскопической анатомии», 4-му изданию (1934 г.) которого была предпослана фраза: «...от-

<sup>17</sup> Невмывака Г. А. Цит. соч., с. 6.

дельные теоретические установки возглавляемого автором направления не являются общепризнанными».

Заварзин вынужден был защищаться и оправдывать необходимость обсуждения идеи развития в учебнике для медицинских вузов: «...в советской школе вся работа должна строиться на совершенно твердых основах философии диалектического материализма, философии рабочего класса. Основным положением этой философии является развитие. Следовательно, идея развития должна лежать и в основе всей медицинской практики. В биологии и медицине развитие — это есть прежде всего эволюция органического мира и человека. Следовательно, в основе всего медицинского исследования, в основе всякого медицинского преподавания должно лежать эволюционное представление о человеческом организме»<sup>18</sup>.

Весной 1938 г. Заварзин закончил книгу «Очерки по эволюционной гистологии нервной системы». По своему содержанию книга эта гораздо шире ее названия. В ней автор, рассматривая все ткани, выдвигает принципы, на основе которых предлагает перестроить всю гистологию и наполнить ее новым содержанием.

Книга была сдана в издательство в 1938 г., однако издание ее встретило серьезные препятствия. Не видя других возможностей преодолеть предвзятое отношение к рукописи, Заварзин обратился с письмом в директивные органы. Он писал: «За свою более чем 30-летнюю работу я имел смелость подойти к разработке вопросов, которые развивают и углубляют дарвиновское учение. В методологической правоте своих представлений я убежден до конца, т. е. готов за них бороться на смерть. К сожалению, проблема дарвинизма — это такая область, в которой чрезвычайно легко, встав на демагогическую позицию, безапелляционно опорочить любое исследование, идущее не по установленному шаблону. Со мной это и случилось... я сейчас поставлен в ужасное положение. Если я не прав во всех своих теоретических посылках, то пусть это мне будет показано, и тогда я приложу все усилия к тому, чтобы исправить теоретический вред, который они не могли не принести»<sup>19</sup>.

В октябре 1940 г. в Ленинградском отделении Всесоюзного института экспериментальной медицины прошла теоретическая конференция по вопросам цитологии и гистологии, которая положительно оценила работу отдела Заварзина. 24 декабря рукопись была подписана в печать без всяких изменений и весной 1941 г. вышла в свет, но очень небольшим тиражом — всего 1000 экз. Книга разошлась чрезвычайно быстро. В апреле 1942 г. она была удостоена Государственной премии СССР.

Известие об этом пришло к Заварзину уже в Томск, куда он, сильно истощенный, был эвакуирован из блокадного Ленинграда в начале декабря 1941 г. Вот как писал он об этом событии своему сотруднику Л. Н. Жинкину: «Премия была полной неожиданностью... Узнал о том, что дело запущено, недели за две до присуждения... рад, что симпатизирующие моим идеям люди, и в первую очередь мои сотрудники, больше не будут страдать за эти симпатии. Это всегда меня больше всего угнетало»<sup>20</sup>.

\*

Хотя последствия ленинградской блокады оказались очень тяжелыми, Заварзин продолжал напряженно работать над начатыми им ранее «Очерками по эволюционной гистологии крови и соединительной ткани». Но, как вспоминал сам Заварзин, «для серьезной работы не хватало мозгов», и он засел за популярные лекции по гистологии. И все же работа над «Очерками» была закончена в декабре 1942 г.

Думал он и о будущем, когда писал из Томска Л. А. Орбели: «Несомненно, сразу же после войны нам предстоит большая борьба за нашу отечественную культуру и науку. Поэтому надо создать такие организационные формы, которые обеспечили бы победу и в этой борьбе»<sup>21</sup>.

2 сентября 1943 г. Заварзин был награжден орденом Трудового Красного Знамени, а 27 сентября избран действительным членом Академии наук СССР. 2 октября 1943 г. он пишет Л. А. Орбели: «Я надеюсь и верю, что и впредь в предстоящей работе мне удастся провести ту же честную линию ученого, преданного своему делу, которой я старался руководствоваться во всей своей деятельности»<sup>22</sup>.

В 1944 г. Заварзин переезжает в Москву. И опять он горячо берется за работу:

<sup>18</sup> Заварзин А. А. О некоторых критиках «теоретических установок проф. Заварзина». — Архив биол. наук, 1939, т. 54, вып. 3, с. 117.

<sup>19</sup> Рукописный черновик письма. Архив А. А. Заварзина.

<sup>20</sup> Архив А. А. Заварзина.

<sup>21</sup> ЛО Архива АН СССР, ф. 865, оп. 3, д. 431.

<sup>22</sup> Там же.



Одна из последних фотографий А. А. Заварзина. 1945 г.

почти каждый месяц выступает с большим докладом, готовит новое, шестое, издание учебника по гистологии, собирает старых сотрудников отдела и разбросанное по разным городам имущество. Но здоровье Алексея Алексеевича было подорвано. Большие волнения приводили к сердечным приступам.

В мае 1945 г. он поехал отдыхать в подмосковный санаторий ВМФ. Грузный, в черной шинели военно-морского флота с погонами генерал-майора медицинской службы, он отчужденно сидел на переднем сидении «эмки» (автомобиль Горьковского автозавода М-1) и смотрел на еще прозрачную зелень берез. Сзади сидела его жена и верный помощник Зоя Ефимова-Максимова, поддерживавшая его в самые тяжелые годы и создававшая в семье атмосферу возвышенного идеализма и служения делу.

24 июля Заварзина оперировали по поводу холецистита, но с операцией опоздали — 25-июля Алексей Алексеевич скончался. Он умер на 60-м году жизни, в полном расцвете творческих сил, не успев осуществить своих грандиозных планов, ко-

торые при его таланте были вполне реальными.

Это была большая потеря для советской биологии. Академия наук СССР переиздала труды Заварзина, учредила премию его имени, но наступил 1948 г., и те люди, с которыми Заварзин боролся до войны, стали задавать тон в науке. Забыли и о премии Заварзина, которая была присуждена только один раз в 1947 г. Г. А. Невмываке. Не пришло ли время возобновить присуждение этой премии?

\*

За прошедшие 40 лет после смерти Заварзина биологическая наука ушла далеко вперед: появились новые тонкие методы исследования, современная усовершенствованная техника, новые экспериментальные данные. Масса новых фактов заставляет иногда нас пересматривать прежние представления, а иногда укрепляет в правильности открытых ранее закономерностей и сделанных теоретических обобщений. Сегодня явления параллелизма, открытые Заварзиным на ткани нервной системы, обнаружены на самых разных уровнях организации и жизнедеятельности животных. «Появились данные, свидетельствующие о том, что наряду с общностью морфологического строения элементов нервной системы существует и общий план их химического строения. Это позволяет думать, что вся эволюция структур и химических материалов, из которых структуры строятся, происходит на базе единой структурной и химической организации»<sup>23</sup>.

«Оценивая Заварзина как ученого, мы можем с полным основанием утверждать, что именно он вывел советскую гистологию из того эмпирического тупика, в который она зашла на путях подражания зарубежным гистологическим школам, он первый понял необходимость эволюционного подхода для правильного понимания развития тканевого строения организмов и первый создал стройную эволюционную концепцию... Ему дано было от природы не только прозревать своим трудом дали той науки, которую он любил и которой увлекался, но своим трудом проложить глубокие и прочные пути по новой целине»<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> Крепс Е. М. Эволюционные идеи А. А. Заварзина и проблема функциональной эволюции. — Журн. эвол. биохим. и физиол., 1965, т. 1, вып. 4, с. 292.

<sup>24</sup> Румянцев А. В. Академик Алексей Алексеевич Заварзин. — В сб.: Памяти акад. Алексея Алексеевича Заварзина. М.—Л., 1948, с. 22.

## Фотонные мишени

Л. Г. Ландсберг



Леонид Григорьевич Ландсберг, доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории Института физики высоких энергий (Протвино). Область научных интересов — экспериментальная физика элементарных частиц. В «Природе» опубликовал статью: Электромагнитная структура нейтральных мезонов (1982, № 3).

Самый прямой и распространенный метод изучения взаимодействий между элементарными частицами — это эксперименты по соударениям пучков быстрых частиц определенного сорта с частицами, входящими в состав вещества бомбардируемой мишени. Другой хорошо известный путь — исследование распадов частиц. И в процессах столкновения, и в процессах распада одни частицы переходят в другие под влиянием сильных, электромагнитных или слабых взаимодействий.

Традиционные эксперименты по бомбардировке мишеней позволяют изучать взаимодействия только очень ограниченно числа различных типов элементарных частиц. В самом деле, налетающие частицы должны обладать достаточно большими временами жизни, чтобы они успели пролететь расстояния в несколько десятков и сотен метров, на которых методами магнитной оптики можно сформировать пучки с требуемыми параметрами. К таким частицам относятся протоны, электроны, мюоны, пионы и каоны. Гипероны, время жизни которых по порядку величины составляет  $10^{-10}$  с, при малых энергиях распадаются уже на расстояниях в несколько сантиметров. Однако при энергиях в десятки и сотни гигаэлектронвольт ( $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$ ) на помощь

экспериментаторам приходит теория относительности с ее релятивистским ростом времени жизни быстрых частиц. В результате удалось создать специальные, очень короткие, гиперонные каналы со сверхпроводящими магнитооптическими элементами и изучать свойства гиперонов высоких энергий в опытах с гиперонными пучками.

Для формирования пучков нейтральных частиц также нужны заметные расстояния — ведь необходимо с помощью магнитных полей провести их очистку от заряженных «партнеров». Поэтому и нейтральные пучки состоят только из стабильных или достаточно долгоживущих частиц — фотонов, нейтронов,  $K^0$ -мезонов, нейтрино.

Если в качестве «снарядов» мы можем воспользоваться хотя и ограниченным, но все же достаточно широким ассортиментом различных типов частиц, то с мишенями для бомбардировки дело обстоит значительно хуже. Такими мишенями могут быть только протоны, нейтроны и электроны, существующие в стабильном состоянии в материи.

Исследование соударений между фотонами и нестабильными адронами ( $\pi$ - и  $K$ -мезонами, гиперонами), между двумя фотонами, двумя мезонами и т. д. остаются

ся за рамками опытов, о которых говорилось выше<sup>1</sup>. Вместе с тем информация о таких процессах представляет значительный интерес для познания природы адронной материи. В первую очередь это относится к электромагнитным взаимодействиям между фотонами или фотонами и адронами. С помощью фотонов можно в известной степени «прозондировать» внутреннюю структуру адронов, изучить механизмы взаимных переходов кварковых и глюонных состояний, определяющих строение этих частиц. Электромагнитные процессы оказываются более простыми и поддаются сейчас более полной теоретической интерпретации, чем чисто адронные взаимодействия. Поэтому зачастую они служат пробным камнем для теории элементарных частиц.

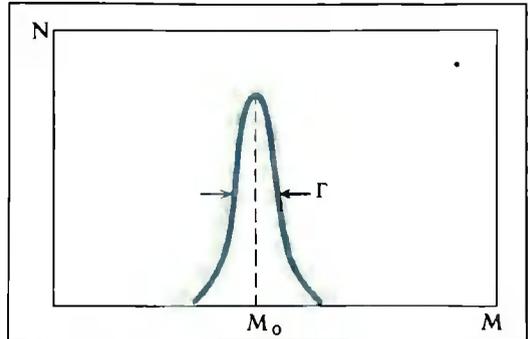
Прямые опыты по фотон-адронным взаимодействиям возможны только для нуклонов, образующих вещество мишеней. Для изучения электромагнитных свойств мезонов приходится исследовать их распады.

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И РАДИАЦИОННЫЕ РАСПАДЫ АДРОНОВ

Среди электромагнитных явлений особое место занимают радиационные распады адронов, происходящие с излучением фотонов. Это могут быть процессы, при которых начальный адрон, излучая  $\gamma$ -квант, переходит в другие адроны. Для мезонов возможны также распады на одни только фотоны. Например, нейтральные  $\pi^0$ -,  $\eta$ - и  $\eta'$ -мезоны могут превращаться в 2 фотона (как мы увидим ниже, такие распады представляют собой интерес).

Сделаем небольшое отступление, чтобы объяснить, какие величины определяют вероятность того или иного распада, и что называется, например, радиационной шириной. Если частица не является стабильной и может распадаться по разным каналам, то полная вероятность всех распадов определяет время жизни

( $\tau$ ) данной частицы. Чем сильнее взаимодействие, приводящее к распаду, тем меньше время жизни частицы. Часто удобнее говорить не о времени жизни частицы, а о так называемой ширине ее массового распределения (ее обычно называют просто шириной распада). Дело в том, что любая нестабильная частица, строго говоря, не обладает определенным значением массы. Если много раз измерять массу частицы, то результаты могут быть представлены в виде некоторого распределения, характеризующегося шириной



Массовое распределение для нестабильной частицы. Неопределенность в величине энергии такой частицы  $\Delta E$  и неопределенность во времени ее определения  $\Delta t$  связаны известным соотношением  $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ . Поскольку  $\Delta t$  не может быть больше времени жизни частицы  $\tau$ ,  $\Delta E = \Delta mc^2 > \hbar/\tau$ . Если производить многочисленные измерения [N] массы нестабильной частицы [M], то в соответствии с принципом неопределенности результаты измерений будут представлять собой некое распределение, характеризующееся шириной  $\Gamma = \Delta mc^2 \geq \hbar/\tau$ , или  $\Gamma [\text{МэВ}] \geq 7 \cdot 10^{-22}/\tau [\text{с}]$ .

$\Gamma [\text{МэВ}] \geq \hbar/\tau \approx 7 \cdot 10^{-22}/\tau [\text{с}]$ . Таким образом, можно измерять либо время жизни нестабильной частицы, либо ширину ее массового распределения, и любая из этих связанных между собой величин характеризует абсолютную вероятность распада. Полная ширина распада частицы  $\Gamma$  определяется как сумма парциальных ширин, характеризующих вероятность того или иного канала распада. Вероятность распада адрона с испусканием фотона называют обычно радиационной шириной.

Как же измеряются ширины тех или иных каналов распада какой-либо частицы? Обычно для этого надо найти относительную вероятность данного канала распада (по отношению ко всем распадам) и измерить полную ширину  $\Gamma$  (или соответствующее время жизни). Тогда ширина рассматриваемого канала распада (ее назы-

<sup>1</sup> Правда, существуют некоторые проекты создания встречных пучков нестабильных (но все же достаточно долгоживущих) частиц или реализации встречных фотон-фотонных соударений, но все они требуют преодоления очень больших технических трудностей и в ближайшие годы, по-видимому, не будут осуществлены — по крайней мере в области высоких энергий.

вают парциальной шириной) получится умножением полной ширины на относительную вероятность распада. Практически же все элементарные частицы можно разбить на 3 группы. Для одной из этих групп, у которой времена жизни превышают  $10^{-14}$  с, именно  $\tau$  является непосредственно измеряемой величиной — она определяется по распределению пролетных расстояний между вершинами образования и распада частиц в различных трековых детекторах. Распады частиц, относящихся к этой группе, обусловлены слабыми взаимодействиями — отсюда и сравнительно малые вероятности их распадов (соответственно, большие времена жизни).

Для другой группы очень короткоживущих частиц ( $\tau \approx 10^{-21} - 10^{-23}$  с), распадающихся благодаря сильным взаимодействиям, время жизни непосредственно измерить невозможно. Однако ширины соответствующих массовых распределений надежно определяются, если они превышают величину порядка нескольких мегаэлектронвольт ( $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$ ). В отдельных случаях достигается еще большая точность. Так, в прецизионных экспериментах группы английских физиков несколько лет тому назад была измерена полная ширина  $\eta'$ -мезона:  $\Gamma(\eta' \rightarrow \text{все каналы}) = 0,28 \pm 0,10 \text{ МэВ}$  (что соответствует  $\tau \approx 2 \cdot 10^{-21} \text{ с}$ )<sup>2</sup>. Поскольку относительная вероятность распада  $\eta' \rightarrow \gamma\gamma$ , составляющая около 2 %, была измерена еще раньше в ряде опытов (точнее всего это было сделано на Серпуховском ускорителе)<sup>3</sup>, то отсюда была определена и радиационная ширина двухфотонного распада  $\eta'$ -мезона:  $\Gamma(\eta' \rightarrow \gamma\gamma) = (5 \pm 2) \text{ кэВ}$ .

Наконец, третья группа частиц — это адроны, у которых времена жизни лежат в интервале от  $10^{-16}$  до  $10^{-21}$  с. В эту группу попадают, например,  $\pi^0$ -мезоны,  $\eta$ -мезоны,  $\Sigma^0$ -гипероны, распады которых обусловлены электромагнитными взаимодействиями. В этой области времен «не работают» никакие прямые методы измерения абсолютных вероятностей распада: времена жизни слишком коротки, чтобы их можно было зарегистрировать по пролетным расстояниям, а ширины массовых распределений слишком малы для непосредственных измерений. Правда, для  $\pi^0$ -мезонов прямые измерения времени жизни

все же удалось провести<sup>4</sup>. Что же касается  $\eta$ -мезонов и  $\Sigma^0$ -гиперонов, то непосредственные измерения их времени жизни (или ширины распада) оказались за пределами точности современных экспериментов. Пришлось искать новые пути определения абсолютных значений очень малых распадных ширин этих частиц.

## РАДИАЦИОННЫЕ РАСПАДЫ И КВАРКОВАЯ СТРУКТУРА АДРОНОВ

Поскольку радиационные распады адронов обусловлены взаимодействиями электромагнитных полей с зарядами кварков, то из вероятностей этих распадов можно получить очень важную информацию о кварковых состояниях внутри адронов. Мы проиллюстрируем это несколькими примерами.

Рассмотрим прежде всего электромагнитные распады нейтральных частиц, принадлежащих к самому легкому семейству мезонов — к так называемым псевдоскалярным мезонам. Нейтральные частицы этого семейства  $\pi^0$ -,  $\eta$ - и  $\eta'$ -мезоны могут, как уже отмечалось, распадаться на два  $\gamma$ -кванта.

В состав нейтральных мезонов входят электрически нейтральные комбинации кварка ( $q$ ) и антикварка ( $\bar{q}$ ):  $u\bar{u}$ ,  $d\bar{d}$  или  $s\bar{s}$ , которые в принципе могут переходить друг в друга. Их смешивание и определяет структуру волновой функции этих частиц. Мезон  $\pi^0$ , который входит в изотопическое пионное семейство, должен состоять из тех же типов кварков, что и  $\pi^{\pm}$ -мезоны. Поэтому в состав  $\pi^0$ -мезона могут входить только  $u\bar{u}$ - и  $d\bar{d}$ -пары. Более того, чтобы свойства  $\pi^0$ -мезона были очень близки к свойствам  $\pi^{\pm}$ -мезонов, его волновая функция должна представлять собой вполне определенную суперпозицию  $u\bar{u}$ - и  $d\bar{d}$ -состояний:  $\pi^0 \sim u\bar{u} - d\bar{d}$ . В состав же  $\eta$ - и  $\eta'$ -мезонов входят все три типа  $q\bar{q}$ -пар.

Вклад различных комбинаций  $q\bar{q}$  в амплитуды двухфотонных распадов нейтральных мезонов пропорционален квадрату заряда кварков. Поэтому точные изме-

<sup>4</sup> В последнем, очень изящном эксперименте этого типа было получено следующее значение для времени жизни  $\pi^0$ -мезона:  $(0,897 \pm 0,028) \cdot 10^{-16} \text{ с}$ . См.: Ather-ton H. W. et al.— Phys. Lett., 1985, v. 158B, p. 81.

<sup>5</sup> В квантовой теории нам постоянно приходится иметь дело с величинами, которые называются амплитудами тех или иных процессов. Квадрат модуля амплитуды определяет вероятность данного процесса.

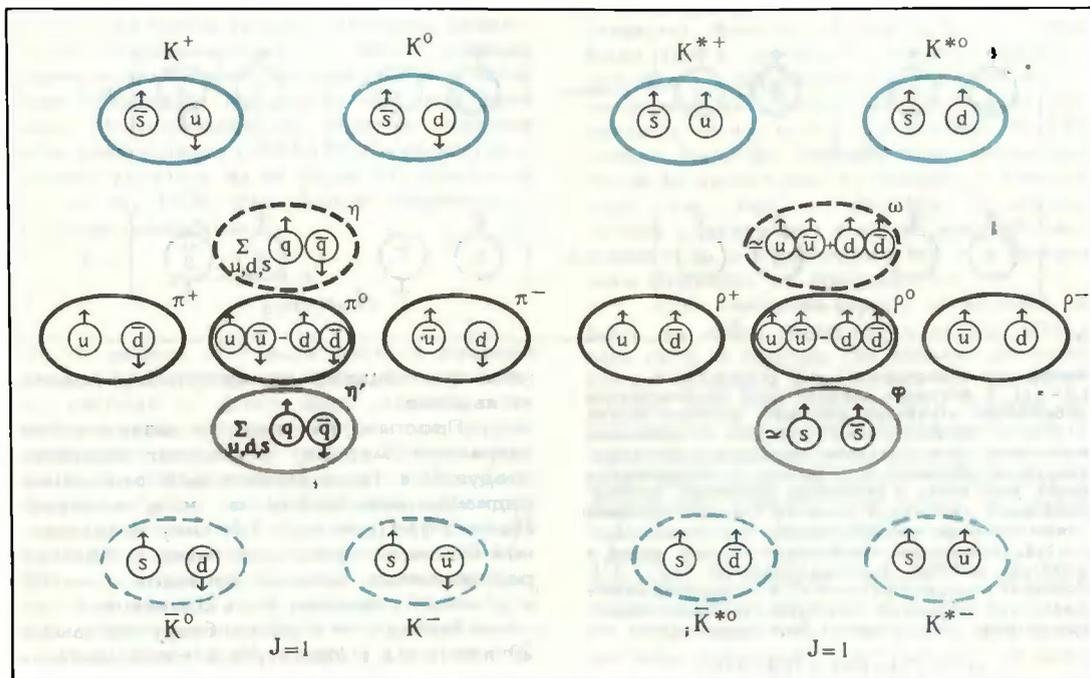
<sup>2</sup> Binnie D. M. et al.— Phys. Lett., 1979, v. 83B, p. 141.

<sup>3</sup> Appel V. et al.— Phys. Lett., 1979, v. 83B, p. 131.

рения ширин этих распадов должны дать ответ на вопрос о структуре волновых функций мезонов, и в частности определить примесь «странных»  $s\bar{s}$ -пар в  $\eta$ - и  $\eta'$ -мезонах.

Рассмотрим теперь еще один очень важный пример, связанный с изучением свойств нейтральных частиц, принадлежащих другому мезонному семейству — нотету векторных мезонов. Известно три типа таких нейтральных векторных мезонов:  $\rho^0$ ,  $\omega$  и  $\phi$ . Оказалось, что  $\rho^0$ -мезон напоминает  $\pi^0$ -мезон — он также является

членом изотопического семейства из трех частиц —  $\rho^+$ ,  $\rho^-$ ,  $\rho^0$ . Поэтому мезон  $\rho^0$  может состоять только из кварковых пар  $u\bar{u}$  и  $d\bar{d}$ . Кварковая структура  $\rho^0$ -мезона подобна  $\pi^0$ -мезону — она тоже имеет вид  $\rho^0 \sim u\bar{u} - d\bar{d}$ . Различие между ними в том, что у  $\rho^0$ -мезонов полуцелые спины кварков ориентированы параллельно и поэтому их суммарный спин (т. е. спин  $\rho^0$ -мезона) равен 1, в то время как для  $\pi^0$ -мезонов спины кварков направлены антипараллельно и, следовательно, суммарный спин равен 0.



Семейства самых легких адронов, состоящих из кварков  $u, d, s$  и соответствующих антикварков: нонет псевдоскалярных мезонов (слева) и нонет векторных мезонов (справа). Кварк-антикварковые пары ( $q\bar{q}$ ), входящие в состав этих мезонов, находятся в состоянии с орбитальным моментом, равным нулю. Поэтому спины частиц  $J$  определяются суммарным спином кварков (показан стрелками) и равны нулю для псевдоскалярных мезонов и единице для векторных мезонов. Частицы, расположенные на одной горизонтали каждого нонета, очень схожи между собой и образуют изотопические семейства. Все члены таких семейств — «близкие родственники», это как бы разные зарядовые состояния одной и той же частицы — пиона ( $\pi^+, \pi^0, \pi^-$ ),  $\rho$ -мезона ( $\rho^+, \rho^0, \rho^-$ ), каона ( $K^+, K^0$ ) и т. д. Есть также изотопические семейства, состоящие только из одной частицы:  $\eta, \eta', \omega$  и  $\phi$ .

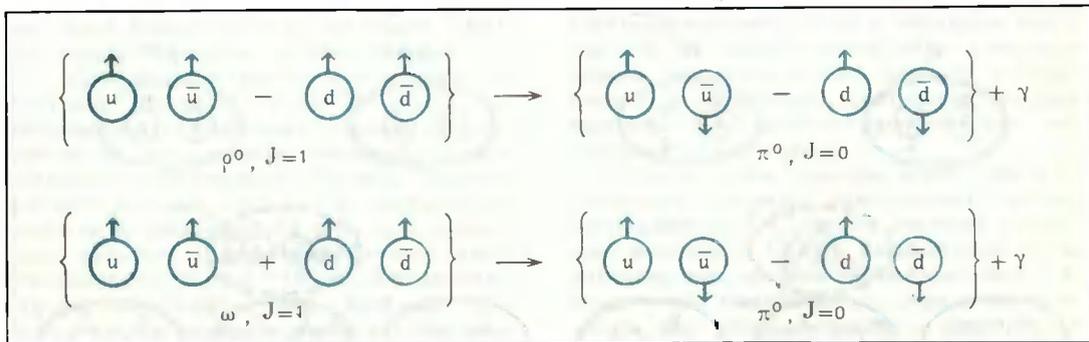
Для двух других нейтральных векторных мезонов —  $\omega$  и  $\phi$  — в ряде экспериментов установлено замечательное свойство, которого нет у псевдоскалярных мезонов  $\eta$  и  $\eta'$ . Мы отмечали выше, что в состав  $\eta$  и  $\eta'$  входят все три типа  $q\bar{q}$ -пар ( $u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$ ). Но у  $\omega$ - и  $\phi$ -мезонов происходит почти полное разделение этих комбинаций:  $\omega$ -мезон состоит почти целиком из  $u\bar{u}$ - и  $d\bar{d}$ -пар, образующих, в отличие от  $\rho^0$ -мезонов, систему  $\omega \sim u\bar{u} + d\bar{d}$ , а  $\phi$ -мезон почти полностью состоит из  $s\bar{s}$ -пар. Примесь  $s\bar{s}$ -пар в волновой функции  $\omega$ -мезона или  $u\bar{u}$ - и  $d\bar{d}$ -пар в волновой функции  $\phi$ -мезона очень мала (в первом приближении ею можно пренебречь). Такое разделение кварковых пар получило название идеального смешивания. Оно приводит к мно-

гим ярким экспериментальным эффектом. Например, «богатый»  $s\bar{s}$ -кварками  $\varphi$ -мезон с большой вероятностью образуется при соударении странных K-мезонов с нуклонами и плохо рождается в пион-нуклонных взаимодействиях. Далее, вероятность распада  $\varphi \rightarrow \pi^0 \gamma$  резко подавлена по сравнению с вероятностью распада  $\varphi \rightarrow \eta \gamma$ :  $\varphi$ -мезон, состоящий почти целиком из кварков  $s\bar{s}$ , не может, испустив  $\gamma$ -квант, перейти в  $\pi^0$ -мезон, состоящий из  $u\bar{u}$ - и  $d\bar{d}$ -пар, но может перейти в  $\eta$ -мезон, в составе которого тоже есть  $s\bar{s}$ -кварки.

структуры волновых функций, описывающих  $\rho^0$ - и  $\omega$ -мезоны:

$$\rho^0 \sim u\bar{u} - d\bar{d} \quad \text{и} \quad \omega \sim u\bar{u} + d\bar{d}.$$

Такое предсказание может быть проверено при исследовании радиационных распадов  $\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma$  и  $\omega \rightarrow \pi^0 \gamma$ . В этих распадах происходит переворот спина одного из кварков, и частица со спином 1 превращается в частицу со спином 0. Соответствующий момент количества движения уносится фотоном. Это — так называемый магнитный дипольный переход, амплитуда кото-



Радиационные распады  $\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma$  (вверху) и  $\omega \rightarrow \pi^0 \gamma$  (внизу). В фигурных скобках дано символическое изображение структуры волновых функций частиц  $\rho^0$ ,  $\omega$  и  $\pi^0$  со значениями из спинов  $J$ . Кварковая комбинация  $u\bar{u}$  в  $\rho^0$ -мезоне, переходя в соответствующую комбинацию в  $\pi^0$ -мезоне (с переворотом спина), дает вклад в амплитуду рассеяния, пропорциональный магнитному моменту  $u$ -кварка, который в свою очередь пропорционален его заряду  $Q_u = +2/3$ . Аналогично, комбинация  $d\bar{d}$  дает вклад в амплитуду распада, пропорциональный  $Q_d = -1/3$ . Поскольку волновые функции  $\rho^0$ - и  $\pi^0$ -мезонов имеют одинаковую кварковую структуру, суммарная амплитуда распада  $\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma$  может быть представлена как

$$A[\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma] = C(Q_u + Q_d) = 1/3C,$$

где  $C$  — некая константа.

Амплитуда распада  $\omega \rightarrow \pi^0 \gamma$  определяется уже не суммой, а разностью электрических зарядов  $u$ - и  $d$ -кварков, поскольку комбинации  $d\bar{d}$  входят в  $\pi^0$  и  $\omega$  с разными знаками:

$$A[\omega \rightarrow \pi^0 \gamma] = C(Q_u - Q_d) = C.$$

Ввиду того что ширина распада пропорциональна квадрату модуля соответствующей амплитуды, имеем:

$$\Gamma[\omega \rightarrow \pi^0 \gamma] / \Gamma[\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma] \approx |A[\omega \rightarrow \pi^0 \gamma] / A[\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma]|^2 = 9.$$

Итак, кварковая модель, представленная об изотопических семействах и об идеальном смешивании векторных мезонов привели к следующим предсказаниям для

рого пропорциональна магнитному моменту кварков.

Простые расчеты, основанные на кварковой модели, позволяют получить следующее предсказание для отношения радиационных ширин  $\omega$ - и  $\rho^0$ -мезонов:  $\Gamma(\omega \rightarrow \pi^0 \gamma) / \Gamma(\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma) = 9$  (в силу «родственной близости» всех трех типов  $\rho$ -мезонов радиационные ширины распадов  $\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma$  и  $\rho^\pm \rightarrow \pi^\pm \gamma$  должны быть одинаковы).

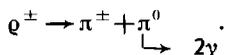
Распад  $\omega \rightarrow \pi^0 \gamma$  был обнаружен свыше 20 лет назад в Институте экспериментальной и теоретической физики (Москва) на запущенном тогда ускорителе протонов на энергию 7 ГэВ. Оказалось, что радиационный распад  $\omega$ -мезона происходит с довольно большой относительной вероятностью — около 10% от полной вероятности распада этой частицы<sup>6</sup>. Поэтому-то распад  $\omega \rightarrow \pi^0 \gamma$  удалось сравнительно легко идентифицировать, хотя для своего времени это был довольно тонкий и сложный эксперимент. Полная ширина  $\omega$ -мезона составляет примерно 10 МэВ, и ее удалось сравнительно легко и хорошо измерить. Отсюда была определена радиационная ширина

$$\Gamma(\omega \rightarrow \pi^0 \gamma) \approx (800 \div 900) \text{ кэВ}.$$

<sup>6</sup> Бармин В. В. и др. — ЖЭТФ, 1964, т. 18, с. 1289.

Однако проверка предсказаний кварковой модели для отношения радиационных ширин  $\omega$ - и  $\rho$ -мезонов затянута на много лет из-за трудностей, связанных с экспериментальным определением вероятности распада  $\rho \rightarrow \pi\gamma$ .

Ожидаемая ширина этого процесса должна была составлять, согласно предсказанию, 70—100 кэВ. А поскольку полная ширина  $\rho$ -мезона примерно в 10 раз больше ширины  $\omega$ -мезона и составляет около 100 МэВ, то относительная вероятность распада  $\rho \rightarrow \pi\gamma$  должна быть очень малой величиной (порядка  $10^{-3}$ ). Поиски распадов  $\rho^0 \rightarrow \pi^0\gamma$  на таком уровне оказались практически невозможными на фоне гораздо более интенсивного распада  $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$ , который полностью маскирует искомый процесс. Многочисленные попытки прямых поисков распадов  $\rho^\pm \rightarrow \pi^\pm\gamma$  также не увенчались успехом из-за фона от основного (т. е. в 1000 раз более вероятного) распада  $\rho$ -мезонов



Легко видеть, что если регистрирующая аппаратура «потеряет» один из  $\gamma$ -квантов от распада  $\pi^0$  (этот квант может нести очень малую энергию, и его тогда трудно зарегистрировать), то такие события могут имитировать распад  $\rho^\pm \rightarrow \pi^\pm\gamma$ . Подобная ситуация носит весьма общий характер: эксперименты по прямой регистрации электромагнитного распада типа  $a \rightarrow b\gamma$  трудно осуществить, если относительная вероятность этого распада мала и если есть основной канал распада с образованием  $\pi^0$ -мезона ( $a \rightarrow b\pi^0$ ), который в случае «потери» одного мягкого фотона можно принять за исследуемый радиационный распад.

Итак, рассмотрение радиационных распадов адронов показало, что эти процессы позволяют получить очень важную информацию о внутренней структуре частиц и детально проверить существующие теоретические предположения о кварковых состояниях, определяющих строение и основные свойства адронной материи. Однако для измерения многих радиационных ширин прямые методы регистрации электромагнитных распадов оказались неэффективными либо из-за трудностей, связанных с определением времени жизни частиц, либо из-за тяжелых фоновых условий. Поэтому для решения этой важной научной задачи нужны были принципиально новые идеи. Они были высказаны уже

давно, но из-за возникших очень серьезных экспериментальных проблем практическая реализация этих предложений сильно затянулась и стала возможной в полной мере лишь в последние годы.

### РЕЛЯТИВИСТСКОЕ ДВИЖЕНИЕ, ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ, ВИРТУАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Вернемся к рассмотрению распада  $\rho^\pm \rightarrow \pi^\pm\gamma$ , который не удалось зарегистрировать прямыми методами из-за фона от  $\rho^\pm \rightarrow \pi^\pm\pi^0$ ,  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$  (с «потерянными фотонами»). Вместо распада  $\rho \rightarrow \pi\gamma$  можно было бы в принципе изучать обратный процесс — образование  $\rho$ -мезонов в « $\pi\gamma$ -соударениях»<sup>7</sup>. Точно так же вместо распадов  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ,  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  (и вообще  $M \rightarrow 2\gamma$ ) можно было бы изучать образование мезонов во «встречных  $\gamma\gamma$ -пучках». К сожалению, как уже отмечалось, встречных пучков с  $\gamma$ -квантами высоких энергий или с  $\gamma$ -квантами и  $\pi$ -мезонами нет и в обозримом будущем не предвидится.

Если какую-то задачу не удастся решить «в лоб», приходится искать обходные пути, и именно так обычно делаются самые красивые физические исследования. Чтобы пояснить, какие пути можно использовать для изучения соударений фотонов с адронами или с фотонами, напомним некоторые основные представления квантовой теории, связанные с виртуальными частицами. Существование таких частиц есть следствие фундаментального принципа квантовой теории — принципа неопределенности.

Согласно этому принципу, для любой системы возможны значительные, но очень кратковременные флуктуации энергии  $\Delta E$ , проявляющиеся в образовании и последующем поглощении некоторых частиц, которые могут существовать лишь в течение очень небольшого промежутка времени  $\Delta t$  — тем меньшего, чем больше величина энергетической флуктуации ( $\Delta t \gtrsim \hbar/\Delta E \sim \hbar/mc^2$ , где  $\hbar$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света, а  $m$  — масса образующейся частицы). Эти «временно существующие» частицы и получили название виртуальных.

Виртуальные частицы играют очень важную роль в наших представлениях о микромире. Оказывается, любая частица

<sup>7</sup> Сказанное выше относится ко всем радиационным распадам адронов  $a \rightarrow b\gamma$  — вместо них можно было бы исследовать  $b\gamma$ -соударения с образованием адронов.

окружена целым «облаком» виртуальных частиц, которые то образуются, то поглощаются и т. д. Эти облака имеют различный состав, размеры и плотность. Именно они обуславливают протяженность элементарных частиц и, как следствие, определенное распределение в них материи, электрического заряда, магнитного момента. Эта внутренняя структура частиц изучается в многочисленных экспериментах<sup>8</sup>.

По современным представлениям, любой процесс взаимодействия между ча-

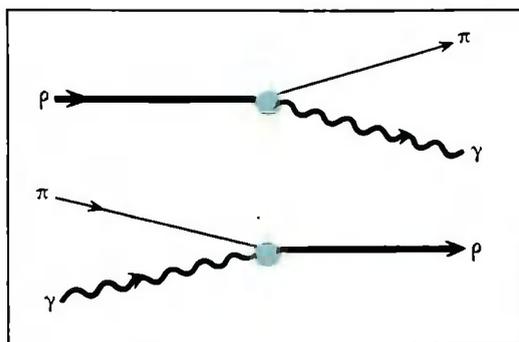


Диаграмма Фейнмана радиационного распада  $\rho$ -мезона (вверху) и его образования в гипотетических встречных  $\gamma$ -соударениях. Видно, что рассматриваемые процессы идентичны и определяются одним и тем же взаимодействием, или, как принято говорить, одной и той же  $\gamma$ -вершиной (на рисунке закрашена).

стицами вызван обменом виртуальными частицами. Например, в случае электромагнитных сил это виртуальные фотоны. Отсутствие у фотонов массы покоя означает, что энергия виртуальных фотонов может быть очень мала. Соответственно время существования виртуального фотона в промежуточном состоянии может быть достаточно велико. Испущенный виртуальный фотон, двигаясь со скоростью света, может пройти большое расстояние, прежде чем он поглотится другой частицей. Поэтому электромагнитные силы довольно медленно убывают с расстоянием. Обмен виртуальными фотонами позволяет объяснить закон Кулона для электростатики и закон Ампера для взаимодействия электрических токов.

Процессы с виртуальными частицами лежат в основе многих тонких электромагнитных явлений. Так, виртуальный фотон может перейти в электрон-позитронную пару, которая в результате аннигиляции снова превращается в фотон. Такие процессы (поляризация вакуума) приводят к «экранированию» электрического заряда частицы виртуальными  $e^+e^-$ -парами и несколько меняют свойства электромагнитных взаимодействий. Это проявляется, например, в изменении энергетических уровней атомных электронов (знаменитый лэмбовский сдвиг уровней).

Слабые взаимодействия осуществляются путем обмена промежуточными векторными бозонами, масса которых в 100 раз превышает массу нуклонов. Вследствие этого в виртуальном состоянии они находятся очень недолго и успевают пролететь не более  $10^{-16}$  см. Иными словами, радиус действия слабых сил очень мал.

Сильные взаимодействия происходят за счет обмена виртуальными адронами и «цветными» глюонами. Радиус действия ядерных сил (порядка  $10^{-13}$  см) определяется временем жизни в виртуальном состоянии самого легкого адрона —  $\pi$ -мезона.

Таким образом, несмотря на то что виртуальные частицы живут очень короткое время и не могут быть зарегистрированы непосредственно, их существование проявляется в целом ряде физических эффектов. Поэтому мы можем говорить о виртуальных частицах как о вполне наблюдаемых и реально существующих объектах. В таком случае возникает вопрос: нельзя ли выделить и исследовать взаимодействие налетающей частицы с виртуальной частицей облака, окружающего частицу-мишень?

Оказывается, надеяться на изучение взаимодействий с такой «виртуальной мишенью» можно, только если удастся выделить события, определяемые какой-то одной виртуальной частицей, а не целым их комплексом, и выбрать такие условия, когда эта частица близка к реальной.

Чем же можно характеризовать степень «виртуальности» частицы? Для обычных, «реальных» частиц существует определенное соотношение, связывающее между собой их массу  $m$ , полную энергию  $E$  и импульс  $p$ :  $E^2 - p^2c^2 = m^2c^4$ . Величина  $P^2 = E^2 - p^2c^2$  есть квадрат 4-импульса частицы. Для «реальных» частиц  $P^2 = m^2c^4$  — в этом случае говорят, что частица находится на так называемой массовой поверхности. Для виртуальных частиц из-за принципа неопределенности эта связь на-

<sup>8</sup> Более подробно см.: Ландсберг Л. Г. Электромагнитная структура нейтральных мезонов. — Природа, 1982, № 9, с. 13.

рушена:  $(P^2)_{\text{вирт}} \neq m^2 c^4$ , виртуальная частица «сходит» с массовой поверхности, а степень нарушения соотношения  $P^2 = m^2 c^4$  и характеризует степень «виртуальности» частицы. Таким образом, можно рассчитывать, что в качестве мишени удастся использовать виртуальные частицы, которые не слишком сильно «сошли» с массовой поверхности.

Подробнее расскажем, что такое 4-импульс, поскольку этим представлением нам придется оперировать и в дальнейшем. Частица, движущаяся со скоростью, близкой к скорости света, подчиняется законам релятивистской механики, где любое движение рассматривается в четырехмерном пространстве-времени. Координаты и время образуют четырехмерный вектор (4-вектор)  $X = \{ct, \vec{r}\}$ , а вместо энергии  $E$  и импульса  $p$  в отдельности используют 4-импульс  $P$  с компонентами  $\{E/c, \vec{p}\}$ . Законом сохранения энергии и импульса соответствует закон сохранения 4-импульса (т. е. всех его четырех компонент).

Важную роль при анализе релятивистских процессов играют скалярные произведения 4-векторов (в том числе, квадраты 4-векторов), которые не меняются при выборе разных систем координат. Они имеют несколько непривычный вид: скалярному произведению 4-векторов  $A = \{a_0, \vec{a}\}$  и  $B = \{b_0, \vec{b}\}$  соответствует выражение  $AB = a_0 b_0 - \vec{a} \cdot \vec{b}$ . В частности, квадрат 4-импульса, переданного частицей при взаимодействии, представляет собой разность квадратов изменения энергии  $\Delta E$  и импульса  $\Delta \vec{p}$  этой частицы  $q^2 = (\Delta E/c)^2 - (\Delta \vec{p})^2$ . Это выражение может быть как положительной величиной (времени-подобные переданные импульсы), так и отрицательной (пространственно-подобные переданные импульсы). Для читателей, не знакомых с релятивистской механикой, такие «отрицательные квадраты» могут вызвать тревогу и недоумение. Однако в них нет ничего таинственного; они просто означают, что в соответствующей реакции импульс частицы меняется сильнее, чем ее энергия.

Для выяснения условий, при которых определяющую роль в том или ином процессе играет только одна виртуальная частица, очень полезными оказываются наглядные рисунки, изображающие механизм протекания данного процесса, — диаграммы Фейнмана. Линии на этих рисунках символически изображают частицы: линии с внешним свободным концом — реальные частицы, внутренние линии без свободных концов — виртуальные, поскольку такие частицы могут ис-

пускаться только на какое-то короткое время, а затем обязательно поглощаются. Вершины на этих графиках изображают взаимодействия между частицами. Стрелки показывают направление развития процесса во времени. Такие фейнмановские диаграммы не только качественно изображают физические процессы, но и позволяют по определенным и хорошо известным правилам получать выражения для амплитуд этих процессов.

Вооруженные всей этой «фейнмановской техникой», рассмотрим в общем виде

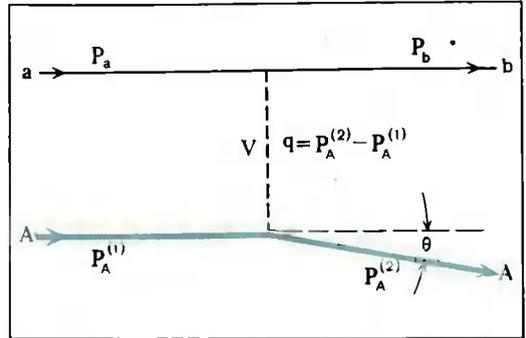


Диаграмма Фейнмана реакции  $a + A \rightarrow b + A$  [ $P_a$ ,  $P_b$ ,  $P_A^{(1)}$  и  $P_A^{(2)}$  4-импульсы частиц, участвующих в реакции]. Переданный импульс  $q$  для данного процесса — это изменение 4-импульса частицы-мишени  $A$ . Он переносится виртуальной частицей  $V$ , которой частицы  $A$  и  $a$  обмениваются в процессе взаимодействия.

реакцию  $a + A \rightarrow b + A$ . В простейшем случае это взаимодействие осуществляется обменом одной виртуальной частицей  $V$ . Налетающая частица ( $a$ ) испускает виртуальную частицу ( $V$ ) и переходит в другую частицу ( $b$ ). Что же касается частицы-мишени ( $A$ ), то, если  $V$  не несет никаких зарядов, она не изменит своих квантовых чисел. Реакция  $a + A \rightarrow b + A$  может осуществляться и более сложным способом, когда происходит обмен несколькими промежуточными виртуальными частицами. Поэтому если мы хотим изучать процесс  $a + V \rightarrow b$ , т. е. реакцию на «виртуальной» мишени, то обязательно надо обеспечить выполнение двух условий, о которых говорилось выше: обмен одной виртуальной частицей должен быть доминирующим в реакции  $a + A \rightarrow b + A$ , а сама виртуальная частица должна не слишком сильно «сходить» с массовой поверхности. Иными словами, для 4-импульса  $q$ , перенос-

симого этой частицей, должно приближенно выполняться соотношение  $q^2 \approx m_V^2$ . Оказывается, эти условия не независимы, а именно, при  $q^2 \approx m_V^2$  преобладает механизм обмена одной частицей.

Теперь обсудим релятивистскую кинематику реакции  $a+A \rightarrow b+A$  (обозначим массы частиц, участвующих в этой реакции,  $m_a$ ,  $m_b$ , и  $M_A$ , а их 4-импульсы —  $P_a$ ,  $P_b$ ,  $P_A^{(1)}$ ,  $P_A^{(2)}$ ). Переданный 4-импульс для данного процесса — это изменение 4-импульса  $P_A$  частицы-мишени. Он переносится виртуальной частицей  $V$ , которой об-

Тогда  $q^2 = (P_A^{(2)} - P_A^{(1)})^2 = -\vec{P}_A^2 c^2 < 0$  (пространственно-подобный 4-импульс). Для его определения воспользуемся законом сохранения 4-импульсов:

$$(P_a + P_A^{(1)})^2 = (P_b + P_A^{(2)})^2.$$

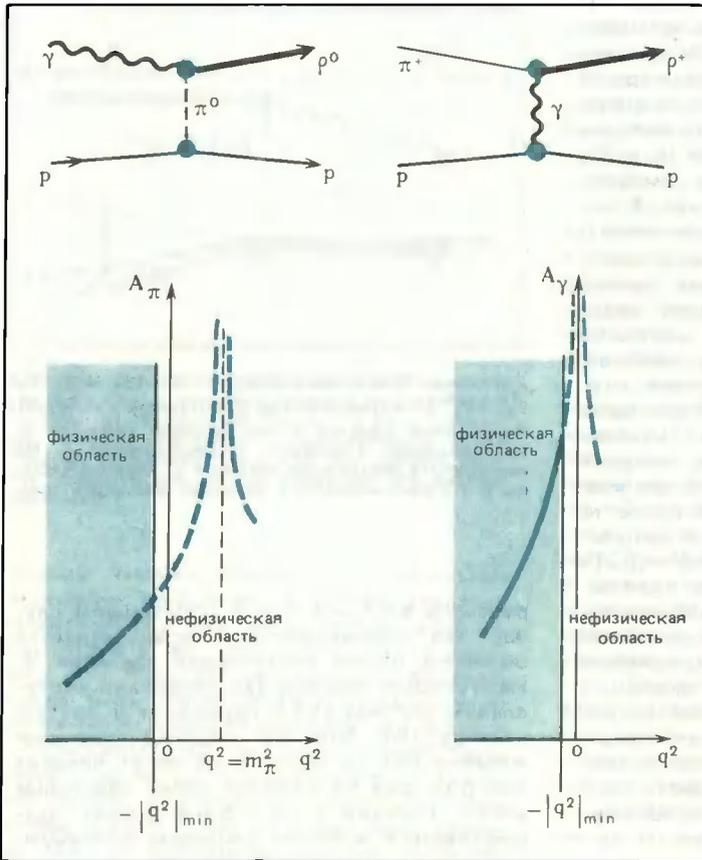
В результате получим

$$q^2 = -\vec{P}_A^2 c^2 \approx -[c^4(m_b^2 - m_a^2)/2E \cos \theta]^2,$$

или

$$|q^2|_{\min} = [(m_b^2 - m_a^2)/2E]^2.$$

Итак мы видим, что кинематика реакции  $a+A \rightarrow b+A$  разрешает только простран-



Реакция фоторождения  $\rho^0$ -мезона ( $p + \gamma \rightarrow \rho^0 + p$ ), обусловленная обменом одним пионом  $\pi^0$  (слева вверху) и поведении амплитуды  $A_\pi$  этого процесса (слева внизу). Реакция  $\pi^+ + p \rightarrow \rho^+ + p$ , происходящая за счет обмена одним фотоном  $\gamma$  (справа вверху) и поведении амплитуды  $A_\gamma$  этого процесса (справа внизу). Амплитуда реакции пропорциональна некоторой функции [ее называют пропагатором], определяющей вероятность образования виртуальной частицы-переносчика с определенным квадратом 4-импульса  $q^2$ . Пионный пропагатор имеет вид  $1/(m_\pi^2 - q^2)$ , где  $m_\pi$  — масса пиона. Чтобы механизм однопионного обмена давал основной вклад в реакцию, соответствующая амплитуда должна быть много больше всех других амплитуд: это может осуществиться только вблизи точки  $q^2 = m_\pi^2$  [пионного полюса]. Однако кинематика реакции разрешает только пространственно-подобные значения переданного импульса [ $q^2 < -|q^2|_{\min} < 0$ ], и полюс «зарыт» довольно далеко в «нефизической области». Что касается полюса пропагатора виртуального фотона  $1/q^2$ , то при больших энергиях он может быть расположен очень близко к границе физической области:

$$|q^2|_{\min} = -[(m_b^2 - m_a^2)/2E_a]^2 \rightarrow 0 \text{ при } E_a \rightarrow \infty.$$

В этом случае амплитуда однофотонного обмена становится очень большой и доминирует над всеми другими.

меняются частицы  $a$  и  $A$  в процессе взаимодействия. Сделаем предположения, несколько упрощающие наши рассуждения:

- 1) частица  $A$ , вылетающая под углом  $\theta$  к начальному пучку, тяжелая ( $M_A \gg m_a, m_b$ ) и медленная ( $|\vec{P}_A c| \ll M_A c^2$ ); в этом случае  $E_A^2 = M_A^2 c^4 + \vec{P}_A^2 c^2 / 2M_A$ ;
- 2) энергии частиц  $a$  и  $b$  велики, так что  $E_a \approx E_b \approx |\vec{p}_a c| \approx |\vec{p}_b c|$ .

ственно-подобные значения квадрата переданного импульса ( $q^2 < 0$ ), переносимого виртуальной частицей  $V$ . С ростом первичной энергии  $q^2$  уменьшается по абсолютной величине и приближается к нулю (оставаясь все время отрицательным). Поэтому условие  $q^2 \approx m_V^2$ , при котором «степень виртуальности» промежуточной системы  $V$  не слишком велика, хорошо может быть выполнено только в одном случае — когда

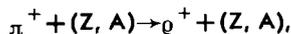
виртуальная частица имеет массу, равную нулю, т. е. для виртуальных фотонов.

Продолжим это рассмотрение несколько дальше и определим, при каких условиях обмен одной виртуальной частицей  $V$  вносит доминирующий вклад в реакцию  $a + A \rightarrow b + A$ . Для примера возьмем реакцию фоторождения  $\rho^0$ -мезона ( $\gamma + p \rightarrow \rho^0 + p$ ) и посмотрим, нельзя ли для нее выделить взаимодействие первичного фотона с одним виртуальным  $\pi^0$ -мезоном из облака вокруг протона и изучить таким способом на виртуальной  $\pi$ -мезонной мишени процесс образования  $\rho$ -мезонов в  $p\gamma$ -взаимодействиях. Многочисленные попытки, сделанные в этом направлении, успеха не имели: оказалось невозможным выбрать такие условия опыта, при которых реакция  $\gamma + p \rightarrow \rho^0 + p$  была бы обусловлена обменом одним виртуальным пионом. Амплитуда такого однопионного обмена пропорциональна некоторой функции, определяющей вероятность образования виртуального  $\pi$ -мезона с определенным квадратом 4-импульса  $q^2$ . Эта функция называется пионным пропагатором и имеет вид  $1/(m_\pi^2 - q^2)$ . Однопионная амплитуда может быть существенно больше всех других возможных амплитуд, вносящих вклад в сечение рассматриваемой реакции, только вблизи пионного полюса  $q^2 \approx m_\pi^2$  (т. е. когда пропагатор становится очень большим). Таким образом, условие доминирующего вклада однопионного обмена действительно совпадает с условием «малой виртуальности»  $\pi$ -мезона и, как мы уже убедились, не может быть выполнено, поскольку  $q^2 < 0$ . Полюс оказывается недостижим в реальном эксперименте — как говорят, он лежит в нефизической области. Все это делает практически невозможными чистые опыты на пионных виртуальных мишенях (и вообще на мишенях из виртуальных частиц с массами, отличными от нуля — чем больше масса, тем глубже «зарыт» полюс пропагатора виртуальной частицы в нефизическую область).

Для безмассовых виртуальных фотонов ситуация оказывается иной, и при правильном выборе условий опыта (когда квадрат переданного импульса  $q^2$  очень мал и пропагатор виртуального фотона  $1/q^2$  играет определяющую роль) становится принципиально возможным сколь угодно чисто выделить процесс, происходящий на «виртуальной фотонной мишени». Такие реакции обычно называют процессами образования частиц в кулоновском поле ядер.

## ОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТИЦ В КУЛОНОВСКОМ ПОЛЕ ЯДРА

Рассмотрим теперь процесс когерентного образования<sup>9</sup> частиц в кулоновском поле ядра с зарядом  $Z$  и атомным номером  $A$  более подробно, выбрав в качестве примера реакцию



которая открывает возможность косвенного измерения радиационной ширины распада  $\rho^+ \rightarrow \pi^+ \gamma$ . Исследование кинематики этого процесса показывает, что минимальное значение абсолютной величины квадрата переданного импульса имеет вид:

$$|q^2|_{\min} = [(m_\rho^2 - m_\pi^2)/2E_\pi]^2.$$

При больших первичных энергиях эта граница физической области может почти вплотную подойти к полюсу фотонного пропагатора  $q^2 = 0$ , где соударения налетающего пиона с виртуальными фотонами кулоновского поля ядра играют доминирующую роль.

Образование  $\rho$ -мезонов в кулоновском поле ядер сосредоточено в области очень малых переданных импульсов. Зависимость вероятности этого процесса от  $q^2$  имеет весьма своеобразный вид, позволяющий выделить взаимодействие с виртуальным фотоном на фоне других реакций. Эта вероятность сначала резко увеличивается с ростом  $|q^2|$ , достигая максимума при  $2|q^2|_{\min}$ , а затем быстро убывает. Хотя полная вероятность кулоновского рождения  $\rho$ -мезона довольно слабо (по логарифмическому закону) увеличивается с ростом энергии  $E_\pi$ , величина максимума квадратично растет, а сам он быстро смещается в сторону все меньших значений  $|q^2|_{\min}$ . Поэтому с повышением первичной энергии процессы кулоновского образования  $\rho$ -мезонов (и других частиц) выделяются все более отчетливо.

Взаимодействие  $\rho$ -мезонов с виртуальными фотонами кулоновского поля ядра — это не единственный когерентный механизм для реакции  $\pi^+ + (Z, A) \rightarrow \rho^+ + (Z, A)$ . Возможен другой процесс, обусловленный сильными взаимодействиями, который сводится к обмену между ядром

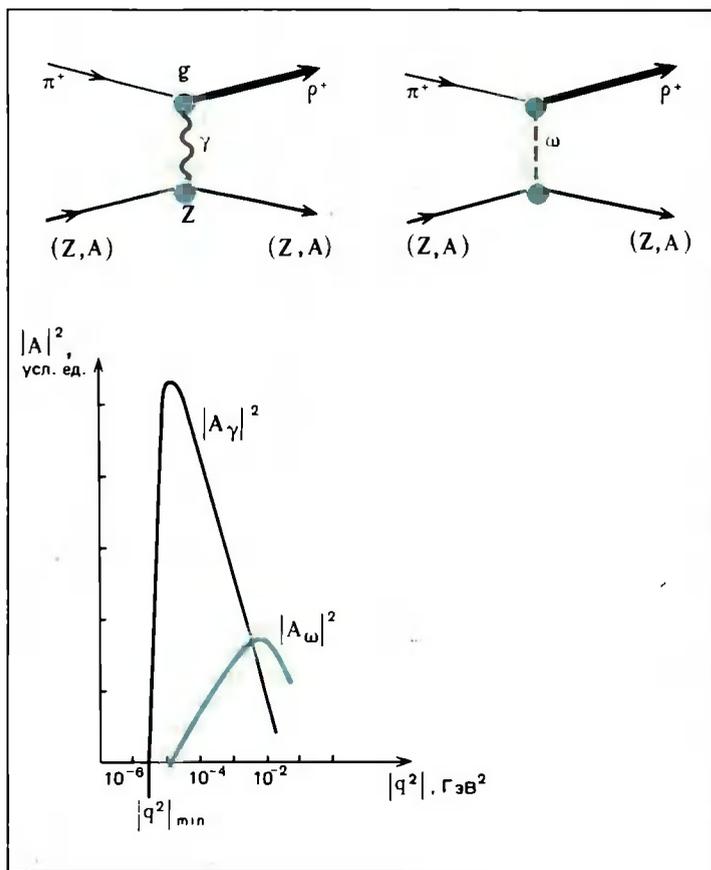
<sup>9</sup> Когерентность в данном случае означает, что происходит процесс взаимодействия с ядром как с целым. Состояние ядра при этом не меняется, т. е. оно не возбуждается и не разваливается.

(как целым) и «вершиной»  $\rho^0$ -перехода нейтральным виртуальным адроном (например,  $\omega$ -мезоном). Хотя фон, связанный с сильными взаимодействиями, как правило, очень опасен для выделения электромагнитных реакций, тем не менее при достаточно малых переданных импульсах вклад кулоновского механизма в образование  $\rho^0$ -частиц оказался определяющим.

Из всего сказанного видно, что для надежного выделения процессов образования частиц в кулоновском поле ядер очень

ми (Батавия, США)<sup>10</sup>. В этих опытах, поставленных в пучках  $\pi^-$  и  $K^-$ -мезонов с импульсами от 150 до 250 ГэВ/с, очень четко удалось выделить реакции кулоновского образования ряда мезонных резонансов, измерить соответствующие сечения и определить этим методом радиационные ширины мезонов. В частности, было получено долгожданное значение радиационной ширины  $\Gamma(\rho^\pm \rightarrow \pi^\pm \gamma) = 67 \pm 4$  кэВ.

В пределах экспериментальной точности данные по радиационным ширинам



важно проводить эксперименты при малых переданных импульсах и больших начальных энергиях. Поэтому первые опыты, выполненные при энергии 20 ГэВ, не дали чистых и надежных результатов. Однако в последние годы были получены очень интересные данные в большой серии экспериментов, проводящихся в Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Фер-

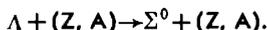
Фейнмановские диаграммы когерентных процессов образования  $\rho^+$ -мезонов при взаимодействии  $\pi^+$ -мезонов с ядром  $[Z, A]$  как целым: слева сверху — образование  $\rho^+$ -мезона в кулоновском поле ядра, обусловленное электромагнитным взаимодействием [через обмен фотоном]; справа сверху — соответствующий процесс, обусловленный сильным взаимодействием между пионом и ядром [через обмен  $\omega$ -мезоном]. Внизу — поведение квадратов амплитуд этих процессов  $[A_\gamma]$  и  $[A_\omega]$  для пионов с энергией 150 ГэВ [ $|A_\gamma|^2$  приводится в условных единицах в логарифмическом масштабе]. Анализ фейнмановских диаграмм образования  $\rho^+$ -мезонов в кулоновском поле ядра показывает, что  $A$  должна быть пропорциональна заряду пиона  $e$ , заряду ядра  $Z$ , фотонному пропагатору  $1/q^2$ , константе  $\rho\pi\gamma$ -взаимодействия  $g$  (ее квадрат определяет также радиационную ширину распада  $\rho \rightarrow \pi\gamma$ ). Как видно из рисунка,  $|A_\omega|^2$  имеет заметную величину только в области сравнительно больших переданных импульсов  $|q^2|$ . Поэтому при малых  $|q^2|$  образование частиц в кулоновском поле ядра хорошо выделяется на фоне процессов, обусловленных сильным взаимодействием.

$\omega$ - и  $\rho$ -мезонов неплохо согласуются с предсказаниями кварковой модели. Другие радиационные ширины, измеренные в опытах по кулоновскому образованию частиц, также представляют большой интерес для

<sup>10</sup> Berg D. et al. — Phys. Rev. Lett., 1980, v. 44, p. 706; Phys. Rev., 1983, v. D27, p. 26.

физики адронов. В настоящее время эксперименты в этом направлении успешно развиваются.

В опытах, поставленных в Европейском центре ядерных исследований (Женева) в пучке нейтральных  $\Sigma^0$ -гиперонов, была выделена реакция в кулоновском поле ядра  $(Z, A)$ :



Сечение этой реакции пропорционально радиационной ширине  $\Gamma(\Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma)$ , которая определяет время жизни  $\Sigma^0$ -гиперонов. Получено<sup>11</sup> значение  $\Gamma(\Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma) = (1,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-2}$  МэВ, что соответствует времени жизни  $\Sigma^0$ -гиперона  $\tau(\Sigma^0) = (5,8 \pm 1,3) \cdot 10^{-20}$  с. Очевидно, что такое малое время жизни непосредственно измерить было нельзя!

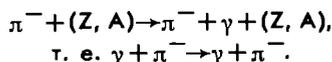
Проведены также эксперименты по образованию  $\pi^0$ - и  $\eta$ -мезонов пучками фотонов высоких энергий в кулоновском поле ядер, которые позволили определить радиационные ширины и, следовательно, время жизни этих частиц. Опыты по кулоновскому фоторождению  $\pi^0$ -мезонов были выполнены несколькими группами исследователей. В свое время один из самых лучших результатов удалось получить группе молодых сибирских физиков, работавших на синхротроне Томского государственного университета<sup>12</sup>. Данные по  $\Gamma(\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma)$  из кулоновского фоторождения согласуются с прямыми измерениями времени жизни нейтральных  $\pi^0$ -мезонов.

Значение ширины распада  $\eta$ -мезона на 2 фотона ( $324 \pm 47$  эВ) было получено только в одном эксперименте по кулоновскому фотообразованию этих частиц<sup>13</sup>, и ситуация здесь еще не вполне определилась.

### КОМПТОНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ НА $\pi$ -МЕЗОНАХ И ИХ ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬ

На Серпуховском ускорителе недавно был выполнен интересный эксперимент, в котором исследовался процесс упругого

рассеяния  $\pi$ -мезонов на фотонах<sup>14</sup>. При этом в качестве мишени также использовались виртуальные фотоны кулоновского поля ядра. Речь идет о реакции



Для изучения процесса образования  $\pi^- \gamma$ -системы в кулоновском поле ядер проводились опыты при большой первичной энергии  $\pi^-$ -мезонов ( $E_\pi = 43$  ГэВ) и при очень малых значениях квадрата переданного импульса. Это позволило четко выделить упругое рассеяние виртуальных  $\gamma$ -квантов на  $\pi^-$ -мезонах.

Упругое рассеяние фотонов на различных заряженных частицах называется комптоновским рассеянием. Впервые оно было обнаружено А. Комптоном в опытах по рассеянию рентгеновских лучей в парафине (рассеяние фотонов на электронах). Затем были исследованы соответствующие процессы на протонах и нейтронах, и, наконец, в экспериментах серпуховской группы на «фотонной мишени» удалось исследовать комптоновское рассеяние фотонов на  $\pi^-$ -мезонах.

Исследование комптоновского рассеяния на адронах позволяет определить такое свойство этих частиц, как поляризуемость. Подобно тому как молекулы диэлектрика под действием электрического поля приобретают наведенный электрический дипольный момент, так и адроны в электрическом поле электромагнитной волны приобретают дипольный момент, пропорциональный напряженности поля. Коэффициент пропорциональности в выражении для наведенного момента, по аналогии с электростатикой, и получил название поляризуемости адронов<sup>15</sup>. Поляризуемость обусловлена внутренней структурой этих частиц. Она приводит к изменению сечения комптоновского рассеяния по сравнению с рассеянием фотонов на точечных частицах. Рассеяние фотонов на точечных частицах очень точно может быть рассчитано теоретически, поэтому, сравнивая экспериментальные данные по адронному комптоновскому рассеянию с результатами таких расчетов, можно определить поля-

<sup>11</sup> Dydak F. et al.— Nucl. Phys., 1977, v. B118, p. 1.

<sup>12</sup> Крышкин В. И. и др.— ЖЭТФ, 1970, т. 30, с. 1037.

<sup>13</sup> Brownman A. et al.— Phys. Rev. Lett., 1974, v. 32, p. 1067. Так как относительная вероятность распада  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$  составляет 0,4 от полной вероятности  $\eta$ -распада, то полная вероятность характеризуется полной шириной  $\Gamma(\eta \rightarrow \text{все каналы}) = \Gamma(\eta \rightarrow \gamma\gamma)/0,4 = 0,8$  кэВ.

<sup>14</sup> Антипов Ю. М. и др.— Письма в ЖЭТФ, 1982, т. 35, с. 302.

<sup>15</sup> Помимо электрической поляризуемости  $\alpha$  есть и магнитная поляризуемость  $\beta$ , обуславливающая наведенный магнитный момент; у  $\pi$ -мезонов  $\alpha_\pi = -\beta_\pi$ .

ризуемость адронов различных типов. В экспериментах серпуховской группы было получено значение для поляризуемости  $\pi^-$ -мезона:  $\alpha_{\pi} = (6,8 \pm 1,4) \cdot 10^{-43} \text{ см}^3$ .

### ВСТРЕЧНЫЕ $e^+e^-$ -ПУЧКИ И ОПЫТЫ ПО $\gamma\gamma$ -СОУДАРЕНИЯМ

Был предложен еще один метод исследования  $\gamma\gamma$ -столкновений, основанный на выделении соударения двух виртуальных, но очень близких к массовой поверхности, т. е. «почти реальных», фотонов, образующихся во взаимодействиях электронов с позитронами в ускорителях на встречных  $e^+e^-$ -пучках.

Несмотря на то что теоретические предложения по изучению таких  $\gamma\gamma$ -соударений появились довольно давно, экспериментальные работы в этом направлении развернулись только в последние годы, после создания ускорителей с большой энергией столкновения пучков и хорошей светимостью<sup>16</sup>. Сейчас работы по  $\gamma\gamma$ -соударениям ведутся широким фронтом во многих лабораториях мира. Для того чтобы хоть бегло осветить многочисленные аспекты этих исследований, понадобилась бы специальная статья. Мы ограничимся только экспериментами по измерению радиационных ширин  $\Gamma(\eta \rightarrow \gamma\gamma)$  и  $\Gamma(\eta' \rightarrow \gamma\gamma)$ , тщательное определение которых, как уже отмечалось, важно для изучения внутренней структуры  $\eta$ - и  $\eta'$ -мезонов.

Многочисленные опыты по исследованию реакции  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \gamma\gamma \gamma \rightarrow e^+e^- \eta'$ , т. е.  $\gamma\gamma \rightarrow \eta'$  позволили измерить ее сечение и найти радиационную ширину  $\Gamma(\eta' \rightarrow \gamma\gamma) = 5,5 \pm 0,7$  кэВ. Этот результат согласуется с данными прямых измерений ширины  $\eta'$ -мезона, о которых говорилось выше ( $\Gamma(\eta' \rightarrow \gamma\gamma) = 5 \pm 2$  кэВ), и характеризуется большей точностью. Отметим, что полученное значение  $\Gamma(\eta' \rightarrow \gamma\gamma)$  хорошо согласуется с предсказаниями, основанными на модели адронов с дробно-заряженными кварками. В то же время оно в несколько раз расходится с ожидаемым значением радиационной ширины в некоторых моделях, где фундаментальными составляющими материи слу-

жат субчастицы с целыми электрическими зарядами.

Были выполнены два эксперимента по изучению образования  $\eta$ -мезонов в  $\gamma\gamma$ -соударениях на установках со встречными пучками. В результате получено значение для радиационной ширины  $\Gamma(\eta \rightarrow \gamma\gamma) = 560 \pm 80$  эВ. К сожалению, она не очень хорошо согласуется с двухфотонной шириной  $\eta$ -мезона, определенной в опытах по фоторождению в кулоновском поле ядер ( $324 \pm 47$  эВ). Ситуация, по-видимому, прояснится в ближайшее время, после новых экспериментов. Это позволит уточнить механизм смешивания кварковых конфигураций в псевдоскалярных мезонах<sup>17</sup>.

Опыты на «фотонных мишенях» прошли еще только начальную стадию своего развития, но с их помощью уже удалось существенно расширить наши представления о свойствах элементарных частиц. Исследования в этом направлении несомненно будут быстро развиваться. Возможно, в них удастся получить много новой информации о структуре адронов, о существовании новых форм адронной материи, таких как глюболы, многокварковые экзотические состояния, смешанные системы, состоящие из кварков и глюонов. Есть основания полагать, что дальнейшие эксперименты в этой области приведут к новым впечатляющим успехам в науке о микромире.

<sup>17</sup> Новые данные по  $\Gamma(\eta \rightarrow \gamma\gamma)$  с установок на встречных  $e^+e^-$ -пучках лучше согласуются с результатами совсем других исследований по структуре  $\eta$ - и  $\eta'$ -мезонов, выполненных в Институте физики высоких энергий (Протвино) при изучении образования этих частиц в сильных взаимодействиях (Аппель В. и др.— Ядерная физика, 1979, т. 30, с. 66).

<sup>16</sup> Светимость является характеристикой эффективности ускорителей на встречных пучках. Число событий, происходящих в единицу времени, равно произведению светимости на эффективное сечение данного процесса. Подробнее см.: Арутюнян И. Н. Ускорители нового поколения и их задачи.— Природа, 1981, № 12, с. 37.

## Соль-Илецкий феномен

**В. Г. Очев,**

доктор геолого-минералогических наук

Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

Есть места находок вымерших животных и растений, получившие широкую известность. С ними связаны уникальные остатки окаменелостей или же необычайные по богатству и сохранности остатки часто встречаемых представителей древних эпох. Однако многие из подобных мест известны только специалистам, хотя и заслуживают более широкого освещения. Здесь речь пойдет об открытых в Южном Приуралье местонахождениях представителей одного из интереснейших отрезков в истории жизни на Земле. Это древние земноводные и пресмыкающиеся, обитавшие на нашей планете в начале мезозойской эры, точнее в триасовом периоде (240—200 млн лет назад).

Триасовый период нередко называют уникальным. На протяжении этого периода начал распадаться на отдельные материи существовавший в конце палеозоя единый гигантский суперматерик Пангея, а населявший его палеозойский животный и растительный мир сменился мезозойским. Палеонтологами достаточно подробно исследована история морских беспозвоночных животных на рубеже палеозоя и мезозоя. Мы имеем представление о ходе их вымирания к концу пермского периода, о становлении мезозойских сообществ организмов в течение ранне-, средне- и поздне триасовых эпох. О мире же наземных позвоночных — тетрапод (или четвероногих), которым посвящена эта статья, сведения далеко не полны.

Как известно, эталонами при установлении этапов геоло-

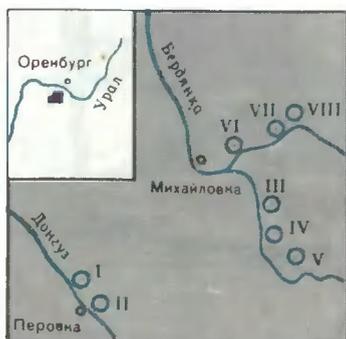


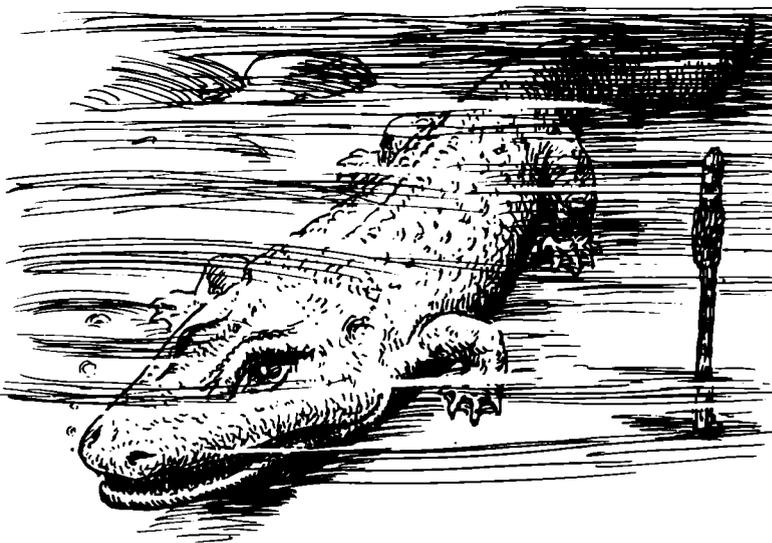
Схема расположения главных местонахождений и основных находки среднетриасовых позвоночных в Соль-Илецком районе: I — местонахождение Донгуз XII [донгузская свита: дицинодонты *Rhaidiosaurus*, *Rhaidiodromus*, лабиринтодонты, архозавры и др.]; II — местонахождение Бердянка I [донгузская свита: скопление двух десятков скелетов *Eryosuchus*, териодонт *Nothogomphodon*, архозавр *Vjushkovisaurus* и др.]; III — местонахождение Бердянка II [донгузская свита: скопление десятков скелетов *Eryosuchus*, териодонт *Nothogomphodon*, архозавр *Vjushkovisaurus* и др.]; IV — местонахождение Карагача [донгузская свита: дицинодонты *Uralokannemeyeria*, лабиринтодонты, архозавры и др.]; V — местонахождение Букобай I [донгузская свита: череп гигантского дицинодонта; букобайская свита: череп *Mastodonsaurus*, разрозненные кости лабиринтодонтов и пресмыкающихся]; VI — местонахождение Букобай II [букобайская свита: череп архозавра *Chalishevia* и др.]; VII — местонахождение Букобай III [букобайская свита: скопление костей лабиринтодонтов *Mastodonsaurus* и различных пресмыкающихся]; VIII — местонахождение Букобай IV [букобайская свита: скопление костей лабиринтодонтов *Mastodonsaurus* и различных пресмыкающихся].

гической жизни Земли, служат отложения древних морей, содержащие окаменелости. А значительного количества остатков широко распространенных амфибий и сухопутных рептилий, захороненных где-либо совместно со среднетриасовыми мор-

скими организмами, не было известно. Отсюда и пробел в наших знаниях о животном мире континентов в среднетриасовую эпоху. Но за последние десятилетия выяснилось, что этот пробел заполняется местонахождением позвоночных в континентальных триасовых отложениях Южного Приуралья. Здесь, в Кюргазинском районе Башкирской АССР и Соль-Илецком районе Оренбургской области, в континентальном триасе были встречены кости разнообразных пресмыкающихся, которые принадлежат к группам, известным и на других материках, т. е. появилась возможность сравнивать вмещающие их горные породы по возрасту. Совместно с ними были обнаружены не менее богатые скопления остатков земноводных, известных в морских (или переслаивающихся с морскими) среднетриасовых отложениях Центральной Европы.

Таким образом, Южное Приуралье оказалось бесценным «мостом», который помогает сопоставить по возрасту континентальные и морские триасовые отложения в различных районах мира и на этой основе выявить характерные черты развития среднетриасового животного мира на суше. В результате выяснилось, что в среднетриасовую эпоху, как и в раннем триасе, среди наземных позвоночных преобладали лабиринтодонты и зверообразные пресмыкающиеся, но представленные уже иными группами, а ранние архозавры — текодонты — стали гораздо многообразнее.

Теперь уже не вызывает сомнений, что самое значительное в нашей стране поле выходов среднетриасовых континентальных отложений на земную поверхность находится в Соль-Илецком районе. Оно относительно невелико и составляет около 170 км<sup>2</sup>. Вместе с тем эта небольшая территория столь богата находками костей и це-



Лабиринтодонт *Eryosuchus*. Длина черепа достигает 0,5 м, длина всего животного — 2 м. Рисунок В. Д. Колганова.

лых скелетов древних позвоночных, что вполне заслуживает названия «Соль-Илецкий феномен».

Район находок охватывает верховья Донгуза и Бердянки — двух соседних левых притоков р. Урала. Извиваясь среди желтоватых невысоких холмов, речки эти прорезывают своими долинами коренные породы. Особенно много обнажений в бассейне Бердянки по Букобаю, Карагачке и другим впадающим в нее оврагам. Здесь вас обступят обрывы пестрых глин и нависающих причудливыми карнизами зеленоватых песчаников среднетриасовой эпохи. Все эти породы слагают две свиты, именуемые донгузской и букобайской.

Обследовав окранный описываемого нами района, можно увидеть, что нижняя из этих свит — донгузская — залегает на песчано-глинистой петропавловской свите. В ней-то у д. Мещеряковки на р. Донгузе и в ряде других мест обнаружены остатки позвоночных раннетриасовой фауны. Мощность донгузской свиты местами достигает 120 м. Ее нижняя плохо обнаженная часть сложена красновато-коричневыми глинами, в верхней же части среди по-

добных глин появляются крупные линзы песчано-алевритовых пород. Лежащая выше еще более мощная букобайская свита сложена аналогичными глинами, чередующимися с пачками зеленовато-серых песчаников.

Первая находка скелета в триасовых отложениях этого района была сделана еще в 1937 г. московским геологом П. И. Климовым на р. Донгузе у с. Перовка — местонахождение Донгуз I. Находку (это оказался скелет пресмыкающегося — дицинодонта) изучил известный палеонтолог и писатель И. А. Ефремов. В дальнейшем большой вклад в изучение района внес его ученик Б. П. Вьюшков, а также сотрудники Саратовского университета В. А. Гаряинов, В. П. Твердохлебов, М. Г. Миних и другие. Им были найдены остатки многообразных древних позвоночных, среди которых особенно многочисленными оказались крупные лабиринтодонты. Это своеобразные плагиозавры (животные с коротким полукруглым черепом и покрытым костными пластинами телом) и похожие на крокодилов капитозавроиды. По наиболее типичным представителям капитозавроидов фауна позвоночных, обитавшая здесь во время образования донгузской свиты, была названа автором и М. А. Шишкиным эриозуховой, а более молодую фауну, связанную с буко-

байской свитой, И. А. Ефремов и Б. П. Вьюшков назвали мастодонзавровой.

Наиболее многочисленными пресмыкающимися в упомянутых фаунах были дицинодонты — необычные ящеры, обладавшие из зубов лишь двумя крупными верхними клыками и подобным черепашему роговым клювом. Со среднего триаса широкое распространение среди них получили каннемейронды — крупные, иногда величиной с быка, животные. Их остатки имеются в Азии, Африке, Северной и Южной Америке, но почти полностью отсутствуют в Западной Европе. Н. Н. Каландадзе, изучавший комплекс дицинодонтов Южного Приуралья, пришел к заключению, что по разнообразию систематического состава он является наиболее богатым в мире. Здесь присутствуют роды радиодром, рабидозавр, ринодицинодон, элфантозавр и другие.

Южное Приуралье дало также интересные находки среднетриасовых зверозубых пресмыкающихся — териодонтов (предков млекопитающих), остатки которых широко распространены в Южном полушарии, но более редки в Северном. Начиная со среднего триаса среди териодонтов появляются новые группы: баурии и циногнаты. Впервые остатки баурий в Южном Приуралье были отмечены В. П. Вьюшковым, описавшим по нижней челюсти род донгузавр. Л. П. Татарниковым по прекрасно сохранившемуся черепу с р. Бердянки описан другой их представитель — нотогомфодон, размером с небольшую собаку<sup>1</sup>. Им же по фрагментам челюстей и зубам выявлены известные ранее лишь в Африке и Южной Америке циногнаты — траверзодонтиды.

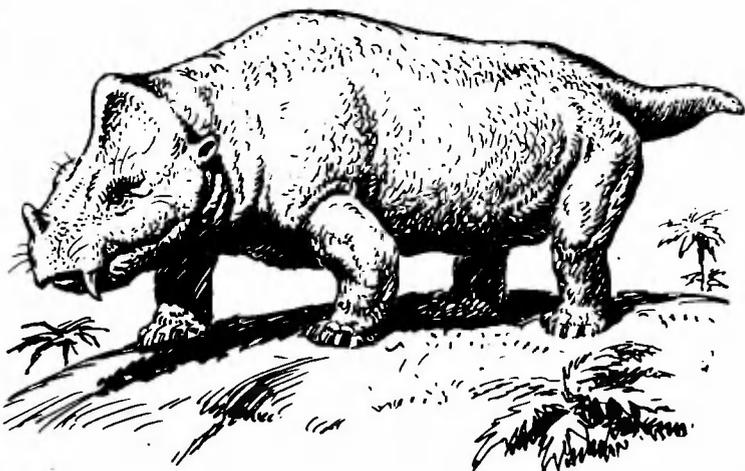
За последние годы в рассматриваемом районе был изучен своеобразный комплекс текодонтов, включающий поздних протерозухий и появляющихся в среднем триасе псевдозухий.

<sup>1</sup> Каландадзе Н. Н., Данилов А. И. Череп триасового териодонта на территории СССР. — Природа, 1970, № 5, с. 70.

Немало здесь фрагментарных остатков и других пресмыкающихся, природа которых пока не совсем ясна.

Значение обнажающегося в Соль-Илецком районе поля среднетриасовых отложений состоит не только в том, что они включают богатый комплекс остатков среднетриасовых позвоночных. Важна масштабность скоплений остатков и многообразие генетических типов таких скоплений. В настоящее время здесь известно более десятка местонахождений<sup>2</sup>, большинство из которых — крупные, давшие сотни костей захоронения, неоднократно раскапывавшиеся с помощью бульдозеров и до сих пор себя не исчерпавшие. Ряд из них заслуживает специального упоминания.

В донгузской свите, к которой приурочена эриозуховая фауна, прежде всего должно быть отмечено уже упоминавшееся местонахождение Донгуз I. Его изучение показало, что здесь, в дельте небольшого потока, впадавшего в озерный бассейн, были захоронены многочисленные разрозненные кости двоякодышащих рыб, земноводных, разнообразных рептилий, а также целые трупы дицинодонтов. Почти столь же богата костеносная линза по оврагу Карагачка (одноименное местонахождение). В правом берегу Донгуза, прямо против с. Петровка, находится одно из крупнейших захоронений среднетриасовых земноводных — Донгуз XII, многочисленные остатки которых были принесены залившим низину временным потоком. В донгузских отложениях по р. Бердянке (Бердянка I) встречено скопление двух десятков скелетов крупных лабиринтодонтов, погибших, очевидно, в большой луже посреди пересохшего русла<sup>3</sup>. Здесь же, в отложившихся в русле



дицинодонт *Rabidosaurus*. По размеру животное близко к быку. Рисунок В. Д. Колганова.

песках, найдены редкие формы пресмыкающихся. Проведенные в 1982 г. А. Г. Сенниковым исследования показали, что возможности новых находок здесь далеко не исчерпаны. Весьма перспективно еще одно замечательное местонахождение в долине р. Бердянки (Бердянка II), где встречены скелеты дицинодонтов, увязших на топком озерном побережье, а также прибитые к берегу отдельные кости других, крайне редких форм пресмыкающихся.

В песчанниках, залегающих в основании Букобайской свиты, которая содержит остатки мастодонзавровой фауны, можно встретить разрозненные кости, а иногда и значительные части черепов. Но самое крупное местонахождение в Букобайских отложениях (Букобай V) приурочено ко второй снизу пачке песчанников и находится в средней части оврага Букобай. Здесь, в промоинах на поверхности лежащих ниже глин, оказались сгружены неожиданно наступившими водными потоками сотни костей земноводных и разнообразных пресмыкающихся.

Описанная территория, столь богатая находками древних позвоночных, обладает и другим природным памятником — горой «Могила хана» у д. Михайловки, которая переполнена юрскими моллюсками. А несколько севернее из-

вестны остатки животных более древней позднепермской эпохи. Это, прежде всего, местонахождение Донгуз VI в правом берегу Донгуза<sup>1</sup>. Здесь на протяжении ста с лишним метров тянется прослой известняка в верхнепермских глинах, переполненный остатками мелких ящеров — батрахозавров. Вся эта местность, безусловно, нуждается в охране.

В идеале каждое вновь открытое «кладбище» типа скопления скелетов эриозухов в местонахождении Бердянка I следовало бы фиксировать на месте под защитными сооружениями. Однако на практике просто невозможно сохранить в естественной обстановке такие объекты, приуроченные к склонам оврагов.

За последние годы среди самых широких масс заметно выросли интерес и внимание к палеонтологическим находкам. И все же еще нередки случаи гибели ценных объектов из-за хозяйственных работ или несвоевременных раскопок. Поэтому в районах, подобных только что описанному, очень актуально создание палеонтологических заказников с планомерной налаженной полевой службой поисков и раскопок.

<sup>2</sup> Очев В. Г. О местонахождениях среднетриасовых тетрапод в Южном Приуралье. — В кн.: Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1980, в. 19, с. 38.

<sup>3</sup> Очев В. Г., Шишкин М. А. Кладбище древних земноводных в Оренбуржье. — Природа, 1967, № 1, с. 79.

<sup>1</sup> Твердохлебова Г. И. Об условиях захоронения батрахозавров в местонахождении Донгуз VI. — В кн.: Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. Саратов, 1969, в. 6, с. 70.


**Боярышник Поярковой**

**В. П. Исков,**  
кандидат сельскохозяйственных наук  
Никитский ботанический сад  
Ялта

Один из центров эндемизма высших растений в Крыму — Карадагский вулканический горно-лесной массив, входящий в состав Карадагского государственного заповедника АН УССР. Из 232 эндемиков Крыма здесь растет около 70 видов, причем 4 встречаются только на Карадаге. Карадагские эндемики — это преимущественно травянистые растения, только два вида из семейства розоцветных — кустарники. Один из них — боярышник Поярковой (*Crataegus pojarkovae*), впервые описанный В. М. Косых более 20 лет назад. Этот вид незаслуженно выпал из поля зрения многих исследователей Крыма, скорее всего потому, что он очень малочислен, а растения разбросаны по большой площади. Сейчас боярышник Поярковой находится на грани исчезновения. Именно поэтому он включен в списки «Красной книги СССР».

Внешне он сходен с другим видом боярышника — *C. orientalis*, или *C. laciniata* subsp. *laciniata*, но отличается от него большим размером (растение скорее напоминает дерево, чем кустарник); формой и окраской плодов; у него нет шипов, обычно прочных и твердых у других боярышников.

Этот вид изучен мало, не была известна и его численность в карадагских популяциях. А такие сведения необходимы, чтобы сохранить вид в природе, а также для культивирования в садах, использования в медицине и для приготовления пищевых продуктов.

Проведя инвентаризацию боярышника Поярковой в 1983—1984 гг., мы обнаружили всего 169 экземпляров этого растения, составили карту их распростра-



**Боярышник Поярковой.**

нения и на каждое дерево завели паспорт, в который теперь заносим сведения по биологии, экологии и санитарному состоянию. Весь ареал боярышника Поярковой на Карадаге, ограниченный площадью 10—12 км<sup>2</sup>, по сути, представляет собой 5 отдельных участков. Растет это теплолюбивое растение отдельными экземплярами или небольшими группами по 5—10 деревьев на юго-восточных и восточных склонах, где больше тепла и влаги для прорастания семян, хотя само растение устойчиво к засухе. Будучи светолюбивым, этот боярышник обычно встречается среди редких зарослей шиповника, держи-дерева, кизила,

груши лохостойной, дуба пушистого, боярышника восточного. Предпочитает сухие балки, растет по опушкам на широких, открытых и хорошо продуваемых участках. Нам ни разу не пришлось встречать его в лесу среди высоких деревьев и даже на небольших затененных полянках и опушках. На открытых солнцу местах чаще всего растет на ровных площадках, вершинах гребней, по краям небольших суходольных балок. Вероятно, из-за требования к высокой освещенности боярышник Поярковой и сам не образует зарослей, а его небольшие группы занимают площадь до 200 м<sup>2</sup>. Границы его распространения на Карадаге — 100—320 м над ур. м.

Боярышник Поярковой — это, как правило, дерево от 1 до 6 м высотой (деревья в 5—6 м редки), без прикорневой поросли, но иногда все же из одного корня вырастают несколь-

ко одинаковых по толщине стволов.

Все боярышники обычно долговечны (они живут до 200—400 лет). Средний возраст боярышника Поярковой на Карадаге 40—50 лет, по среди них есть

плодов, а старые до 20—30 (в урожайные годы). Плоды ярко-желтые, крупные, диаметром до 2,5 см, слегка ребристые с 4—5 косточками, слабо опушены. В осеннюю пору на слегка серебристом фоне дерева они

санитарном обследовании карадагских популяций ни на одном дереве не оказались паразитных грибов, более того, даже сапрофитных, живущих только на мертвых частях дерева, было очень мало; не нашлось также деревьев, пораженных вредителями, хотя растущий рядом боярышник восточный страдает от них.

Естественным способом боярышник Поярковой сейчас фактически не размножается. До создания заповедника в 1979 г. и установления строгого режима охраны там, где растет боярышник, паслись овцы, которые уничтожили почти всю растительность, в том числе и молодые деревца боярышника. Местное население тоже не способствовало его размножению, собирая весь урожай плодов. Однако надежда на естественное возобновление боярышника Поярковой все же есть. На горе Кок-Кая мы нашли десять 5—10-летних экземпляров, выросших из семян, несколько деревьев найдено среди лесных культур.

Боярышник Поярковой очень декоративен: его пирамидально-шаровидная крона образуется от переплетения коротких, в 5—8 см, обильно опушенных и довольно толстых побегов с многочисленными тоже густо опушенными листьями. Его можно рекомендовать для разведения в садах южных областей СССР, для использования в декоративных и лесомелиоративных посадках. Мы отобрали семена 22 деревьев с самыми крупными плодами и передали в 1984 г. Бахчисарайскому лесхозу. Там их выселили. Может быть, так удастся распространить этот редкий и ценный по многим качествам вид. Опыт интродукции боярышника Поярковой уже есть: он хорошо прижился в Никитском ботаническом саду.



Естественный биотоп боярышника Поярковой на Карадаге.

и 10- и 120-летние деревья с диаметром ствола около 25 см. Судя по состоянию деревьев, это не предельный возраст боярышника, его годовой прирост сильно зависит от климатических колебаний и от возраста. В первые пять лет жизни прирост составляет 0,5 см, к десяти годам он снижается вдвое, а с 15—20 лет диаметр увеличивается всего на 0,1—0,2 см. Светло-коричневая древесина очень прочна, не зря латинское название рода переводится как «крепкий, прочный».

Боярышник Поярковой обильно плодоносит начиная с 5—6-летнего возраста, плоды созревают в середине сентября. Молодые деревья дают 2—3 кг

выглядят очень красиво. Плотная кисло-сладкая с приятным яблочным ароматом мякоть плодов по содержанию сахаров органических кислот, каротиноидов и витамина С не уступает плодам яблони, абрикоса, груши. Местные жители готовят из плодов боярышника янтарного цвета варенье, компоты, джемы, заваривают вместо чая. Настойки из плодов снимают нервное напряжение, снижают кровяное давление, применяются при лечении атеросклероза, а чай способствует профилактике желудочно-кишечных заболеваний. Плодами лакомятся кабаны, зайцы, лисы, куницы.

Хотя боярышник устойчив к засухе, иногда все же деревья частично усыхают, в результате погибает до 5—8 % деревьев в год. Связано это, скорее всего, с суровой летней засухой в отдельные годы. Других причин гибели мы не обнаружили. При

## Что такое социобиология?

С. А. Никольский



Сергей Анатольевич Никольский, кандидат философских наук, младший научный сотрудник Института философии АН СССР. Область основных интересов — соотношение социальных и биологических факторов в развитии человека. Автор брошюры: Критический анализ социобиологии (совместно с Р. С. Карпинской). М., 1985.

Проблема приспособления организма к окружающей среде всегда вызывала споры в среде биологов и философов. Новые ракурсы в ее обсуждении наметились благодаря интенсивному развитию в 60—70-е годы этологии, эволюционной теории, популяционной генетики и экологии. Согласно современным взглядам, мера приспособленности организма пропорциональна величине его генетического вклада в следующие поколения. При этом выживание наиболее приспособленных все реже истолковывается как безжалостная внутривидовая борьба всех против всех за увеличение собственного генетического вклада. Все большее внимание уделяется фактам «самопожертвования» отдельных особей ради сохранения своих популяций, все фундаментальнее обосновывается ясная еще Ч. Дарвину идея, что естественный отбор действует в интересах не только индивида, а и целых сообществ. Но как возможна передача из поколения в поколение поведения, суть которого — «жертвование» собой — должна исключать эту передачу как таковую? Дискуссии вокруг так называемой проблемы альтруизма привели в 1975 г. к созданию социобиологии.

### ВОЗНИКНОВЕНИЕ СОЦИОБИОЛОГИИ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Согласно основателю социобиологии, известному энтомологу Э. О. Уилсону (Гарвардский университет, США), в этом направлении «систематически исследуются биологические основы социального поведения общественных живых существ, включая человека»<sup>1</sup>. Тема человека обусловила интерес к социобиологии со стороны этнографов, психологов, социологов, что позволило Уилсону и его сторонникам заявить о междисциплинарном статусе направления.

Отношение научного сообщества к появлению социобиологии не было однозначным: на страницах научных изданий и в конференцзалах вспыхнула острая полемика, не прекращающаяся до сих пор. Ее причины в основном состояли в том, что, претендуя на объяснение биологических основ ряда человеческих качеств и

<sup>1</sup> Wilson E. O. Sociobiology: The new synthesis. Cambridge (Mass.) 1975, p. 4.

форм поведения, социобиологи охотно брались за решение многих животрепещущих социально-философских проблем — свободы воли и биологической детерминации человека, соотношения биологического и этического знания и других.

Элементы настороженно-враждебного отношения к социобиологии присутствовали в общественном мнении. Многое здесь объясняется спекуляциями на проблеме человека в разном роде биологизаторских доктринах. Кроме того, проблематике социобиологии в высокой мере присуща идеологическая острота. Прежде всего по вопросу о социальной ответственности ученого<sup>2</sup>. Впервые в острой форме он был поставлен возглавляемой Р. Левонтином (Гарвардский университет) группой «Наука для народа». В ответ на утверждение Уилсона о том, что биология обогатит социальное знание, представления о поведении человека, эта группа заявила: все попытки выяснения биологических оснований поведения человека неизбежно ведут к социал-дарвинизму, ризму, закрепляют неравноправие женщин и т. д.<sup>3</sup> Как пишет Уилсон, любое намерение или попытка биологов прояснить роль наследственных факторов в становлении темперамента или интеллекта человека немедленно истолковывались «Наукой для народа» как антигуманные, политически реакционные действия.

Нельзя сказать, что резко выраженные группой «Наука для народа» опасения вовсе безосновательны. Сегодня делается множество попыток использовать биологическое знание, в том числе социобиологию, в действительно человеконенавистнических целях. Все это создает трудности для непредвзятого, объективного рассмотрения направления.

Вместе с тем со всей определенностью нужно сказать следующее. Отвергая националистические и расистские спекуляции, ученые не должны чураться исканий на границе биологического и социогуманитарного знания, оставлять без внимания насущные задачи этой области изучения действительности.

Проблематика социобиологии может быть разделена на две группы: «общей социобиологии» и «социобиологии челове-

ка». В первую входят вопросы, связанные с эволюционными, популяционно-генетическими и экологическими аспектами поведения общественных животных. Вторая представляет собой совокупность взглядов и концепций (большой частью — гипотетических) относительно предполагаемых биологических основ некоторых форм общественного поведения человека. В первой группе исследование осуществляется в основном посредством наблюдения, описания, классификации и эксперимента. Во второй широко применяются методы аналогии и редукции<sup>4</sup>.

В чем новизна социобиологического исследования биологических основ поведения живого? Разве не ставилась эта задача в науках о жизни раньше? Безусловно, ставилась. Из числа наиболее удачных проектов систематического рассмотрения эволюции общественных форм поведения живого от простейших до человека прежде всего нужно назвать план и первоначальные исследования русского советского биолога и психолога, основоположника сравнительной психологии В. А. Вагнера<sup>5</sup>. Судить же о степени новизны социобиологии — прежде всего дело самих биологов. С нашей стороны, отметим специфику, которая свойственна этому направлению. Она заключается в стремлении социобиологов руководствоваться следующими исследовательскими

<sup>4</sup> Интерес к этим группам вопросов на примере работ Э. Уилсона распределяется следующим образом. Если первый труд по социобиологии «Sociobiology: The new synthesis» («Социобиология: новый синтез»). Cambridge (Mass.), 1975 имел в основном отношение к исследованию поведения животных, то в следующих книгах главное внимание уделялось «социобиологии человека». В книге «On human nature» («О природе человека»). Cambridge (Mass.), 1978 — эволюционному становлению и механизму детерминации генами отдельных свойств индивида и общества людей; в написанных совместно с физиком Ч. Ламзедом книгах «Genes, mind and culture. The coevolutionary process» («Гены, разум и культура. Процесс коэволюции»). Cambridge (Mass.), London, 1981 и «Promethean fire. Reflections on the Origin of Mind» («Прометеев огонь. Размышления о происхождении разума»). Cambridge (Mass.), London, 1983 — связи генетической и культурной эволюции и антропосоциогенезу. В этом смысле не составляет исключения и «Biophilia» («Биофилия»). Cambridge (Mass.), London, 1984, посвященная размышлениям о становлении биосферы и месте человека в ней.

<sup>5</sup> В сжатом виде сущность идей В. А. Вагнера была сформулирована, напр., в его статье: Общественность у животных и человека (Биосоциологический очерк). — Природа, 1912, № 1, с. 59; № 2, с. 175.

<sup>2</sup> Lumsden C. L., Wilson E. O. Promethean Fire. Reflections on the Origin of Man. Cambridge (Mass.), London, 1983, p. 23—52.

<sup>3</sup> Allen E. et al. — The New York Review of books, 1975, Nov. 13; Idem. — Bioscience, 1976, v. 26, № 3, p. 182.

установками: 1) комплексностью — ориентацией на получение и учет всей доступной информации о генетических, экологических и эволюционных аспектах поведения общественных живых существ; 2) исследованием эволюционно значимых и характерных для всей популяции форм поведения; 3) сравнением с поведением человека данных, полученных при изучении животных сообществ.

Относительно принципиальной возможности сопоставления поведения человека и животного отметим, что классики диалектического материализма всегда признавали необходимость и важность такого изучения. «Наши обезьяноподобные предки...— писал Ф. Энгельс в работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека»,— были общественными животными; вполне очевидно, что нельзя выводить происхождение человека, этого наиболее общественного из всех животных, от необщественных ближайших предков»<sup>6</sup>. Еще более определенно эта мысль формулируется в письме Ф. Энгельса П. Л. Лаврову: «По моему мнению, общественный инстинкт был одним из важнейших рычагов развития человека из обезьяны»<sup>7</sup>.

## ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЕ И ФИЛОСОФСКИЕ ОСНОВАНИЯ СОЦИОБИОЛОГИИ

Каковы научно-теоретические предпосылки социобиологии? Каковы фактические результаты проводимых изысканий, в чем их научный смысл? Каков характер и особенности мировоззренческо-методологической базы социобиологических исследований?<sup>8</sup>

Отправным пунктом развития социобиологии стала этология, в рамках которой в первую очередь необходимо указать на исследования К. Лоренцом и Н. Тинбергенем инстинктивного и условно-рефлекторного поведения животных, на боль-

шой эмпирический материал по поведению ряда стайных млекопитающих, в особенности приматов, а также птиц, рыб и насекомых<sup>9</sup>.

Из числа известных генетиков, заложивших основы направления, социобиологи называют У. Д. Гамильтона. В концепции «совокупной приспособленности» (1964) в качестве вклада в будущие поколения он предложил учитывать не только собственный, передаваемый отдельной особью генетический материал, но и вклад имеющих с ней общие гены ближайших родственников. Так, например, если бы перед пчелой имелась возможность выбора между тем, чтобы посвятить себя «воспитанию» собственного потомства или, отказавшись от этого, сосредоточиться на помощи матке в выращивании молодняка, то она могла бы, «проявив альтруизм», заняться именно последним. При этом, хотя ее индивидуальная приспособленность снизится, совокупная приспособленность популяции возрастет. Таким образом, перед исследователями открылась возможность анализа эволюционной роли альтруистического поведения.

Согласно концепции «эволюционно стабильной стратегии» Дж. Мэйнарда Смита (1973), между членами одновидового сообщества складывается такое поведение, которое максимально отвечает интересам всех. Если же в популяции появится мутант, чье поведение отличается от общепринятого и не несет с собой ценных для сообщества качеств, то оно будет устранено. А, например, наличие в популяции особей с поведенческими «стратегиями» «рискующего погибнуть, но сражающегося до конца» и «бегства» и «блефа» обычно обеспечивает сообществу необходимую эволюционную устойчивость. По оценкам социобиологов, работы Мэйнарда Смита способствовали развитию эволюционного подхода к изучению поведения.

В философском плане Уилсон и его сторонники связывают свои воззрения с Г. Спенсером, социологические и этические взгляды которого близки естественнонаучному мировоззрению социобиологов. Как известно, созданная Спенсером «органическая теория общества», и в частности этическое учение, покоилась на его

<sup>6</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 488—489.

<sup>7</sup> Там же, т. 34, с. 138.

<sup>8</sup> Ответить на эти вопросы в небольшой статье можно лишь в общей форме. Значительно полнее они освещаются в ряде советских исследований по социобиологии. См., напр.,: Фролов И. Т. Перспективы человека. М., 1983; Федосеев П. Н. Философия и научное познание. М., 1983; Пути интеграции биологического и социогуманитарного знания. М., 1984; Карпинская Р. С., Никольский С. А. Критический анализ социобиологии. М., 1985 и др.

<sup>9</sup> Один из наиболее существенных вкладов в развитие энтомологии внес сам Э. Уилсон, известный, кроме упомянутых работ, фундаментальным трудом «The insect societies» («Сообщества насекомых»). Cambridge (Mass.), 1971 и другими специальными исследованиями.

представлениях об эволюции живого. «Основания биологии» Спенсера составили фундамент его «Оснований этики». Этические явления объяснялись биологическими закономерностями, непосредственно связывались с наследственными факторами и действием отбора. Нравственность (являющаяся одним из важнейших аспектов жизнедеятельности человека) оказывалась лишенной качественных характеристик, отличающих ее от поведения животного.

Более глубокое мировоззренческо-методологическое родство «нового натурализма» социобиологов обнаруживается с идеями философии американского натурализма (Р. В. Селларс, Ч. Херрик, П. Куртц и др.), в особенности с концепцией «натурализованного понимания общества» Селларса. Главный акцент этой концепции делался на факте принадлежности человека миру органической природы. Социальные законы оказывались жестко детерминированными биологическими, а общественное состояние человека выступало как «функция природы индивидов», изменяющаяся в процессе его приспособления к природной среде.

Присущая исканиям социобиологов идейно-философская направленность, «сверхзадача» направления может быть сформулирована приблизительно так. Человек как часть природы в своих характеристиках, и в частности в поведении, являет высшее звено в развитии органического мира. Поэтому на базе новых знаний биолог может описывать и объяснять генезис человека и его современное существование.

Здесь возникает важный вопрос о том, насколько следуют социобиологи историческому методу в анализе поведения живого. Идеалом корректного рассмотрения в биологии считается сопоставление между собой тех видов, которые имеют общего предка (метод комологии) или недалеко отошли друг от друга в ходе эволюции. Сделать это в отношении поведения общественных животных можно, однако, далеко не всегда, поскольку в эволюции трудно проследить строго однозначную и нигде не прерываемую связь. С позиций исторического (эволюционного) подхода обнаруживается, что общественный «образ жизни» соседствует с необщественным. Так, это видно на примере отряда приматов. Такие высоко социализированные животные, как человекообразные обезьяны, наряду с толстым лори и некоторыми другими видами, живущими поодиночке или парами, имеют об-

щего предка с человеком. Вот почему в аспекте социальности как «важнейшего рычага развития человека» (Ф. Энгельс) это родство нуждается в более тщательном изучении: ведь не все «родственники» социальны. Более того, связь по «линии социальности» человека и животных — в соответствии с историческим подходом — должна быть прослежена не только с приматами. А здесь исследователь сталкивается с тем, что общественное существование перемежается с необщественным в самых разных группах животных и, стало быть, проведение исторического подхода существенно затруднено.

По нашему мнению, именно эта причина заставила социобиологов отказаться от идеала историзма в рассмотрении форм общественного поведения и сосредоточиться на выработке другого. Условно он может быть назван «инвариантным». В поведении общественных организмов, подчас далеко отстоящих друг от друга, сторонники направления стараются прежде всего найти то повторяющееся, инвариантное, что позволит рассматривать эти организмы в какой-то связи, поможет лучше понять их поведение. Этот подход стал важной особенностью социобиологической методологии.

#### СОЦИОБИОЛОГИ О ФОРМАХ СОЦИАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЖИВОГО: МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКО - МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ.

Из многообразия форм общественно-го поведения живых существ социобиологи выделяют три группы: агрессивное, сексуальное и так называемое альтруистически-эгоистическое.

**Агрессивное поведение.** Богатый материал об агрессивном поведении, как известно, был накоплен этологией и частично применен к человеку. Согласно Н. Тинбергену, причины агрессивного поведения людей качественно не отличаются от причин агрессивного поведения животных<sup>10</sup>. В некоторых отношениях культура даже усиливает биологически обусловленную агрессивность человека<sup>11</sup>. По К. Лоренцу, агрессивность человека — форма выражения «воинствующего энтузиазма», «жизненной силы», которая питает как социально-

<sup>10</sup> Tinbergen N. The study of instinct. Oxford, 1951, p. 205.

<sup>11</sup> Idem. On war and peace in animals and man. — In: Sociobiological Debate. N. Y., 1978, p. 86.

ценные (научные, художественные), так и социально-опасные (например, война) феномены<sup>12</sup>. Социобиологи согласны с Лоренцом и Тинбергеном в том, что агрессивность выполняет в эволюции наследственно закрепленную адаптивную функцию. Благодаря агрессивности популяции и виды успешнее конкурируют друг с другом, точно отличая при этом «своих» от «чужих». Почему проявляется агрессивность у человека? Взять, например, пишет Уилсон, «межпопуляционную агрессию человека» — войны. Люди их ведут потому, что члены одной популяции ощущают необходимость и возможность увеличения своей приспособленности к среде и генетического вклада в следующие поколения за счет другой группы людей<sup>13</sup>. Таков смысл социобиологического «объяснения» войн.

Может ли ученый, не погрешив против истины, принять такое толкование как достаточное? Некоторые интерпретаторы социобиологии отвечают на этот вопрос утвердительно. Так, канадский философ М. Рьюз склонен толковать причины военных конфликтов в обществе в этом биологическом ракурсе. По его мнению, именно «ксенофобия» (страх перед чужими) явилась причиной двух войн в Европе, борьбы между католиками и протестантами в Северной Ирландии и несет в себе угрозу новой войны<sup>14</sup>.

Перед нами пример широко распространенного в социобиологии «объяснения» по аналогии, когда сравниваются в чем-то похожие явления, принадлежащие к разным сферам объективной реальности. Принципиальная возможность сопоставления основывается на сходстве структурных законов разных уровней материального мира. «Единство природы», — писал В. И. Ленин, — обнаруживается в «поразительной аналогичности» дифференциальных уравнений, относящихся к разным областям явлений». «Теми же самыми уравнениями», — цитирует Ленин Л. Больцмана, — можно решать вопросы гидродинамики и выражать теорию потенциалов. Теория вихрей в жидкостях и теория трения газов (Gasreibung) обнаруживают поразительную аналогию с теорией электромагнетизма и т. д.»<sup>15</sup>.

Применение метода аналогии может привести к необычному взгляду на объект, стимулировать поиск в новом направлении. С помощью этого метода создается возможность, минуя огромное количество промежуточных звеньев, сразу установить гипотетическую связь между сравниваемыми объектами, обращая внимание на то, чего не удается представить посредством других методов познания. Аналогия может помочь найти объяснение. Но объяснить аналогией нельзя.

Кроме того — и это главное, — когда сопоставляются явления разных областей действительности, основные законы существования которых различаются коренным образом, простой «перенос» по аналогии создаст путаницу, а в случае социобиологии может привести к биологизаторству. Применительно к человеку нужно — в который раз — напоминать исходную формулу, открытую К. Марксом: рассматривать людей так, будто они связаны только природными узами, — ошибка. Человеческую сущность составляет совокупность общественных отношений людей, живущих в определенную эпоху при определенном социальном строе<sup>16</sup>.

Что же касается вопроса об отличии людьми «своих» от «чужих», то это явление, часто фиксируемое даже на уровне обыденного сознания, нуждается в научном прояснении, в том числе и как факт этнического самосознания. Каждая этническая группа, отмечает Ю. В. Бромлей, имеет свое самосознание, «причем представители каждой из таких одноименных совокупностей людей обычно отличают себя от членов всех иных подобных общностей. При этом особую роль играет антитеза „мы“ — „они“»<sup>17</sup>.

**Сексуальное поведение.** Активно разрабатывается в социобиологии тема отношения полов, например вопрос о том, как самкам (тех видов, где брачная активность принадлежит им) в поведении «женихов» удастся распознать характеристики будущего «супруга». Этолог Д. Бэрш, проводивший исследования на птицах и рыбах, пришел к выводу, что существует позитивная корреляция между «аттрактивными» качествами потенциального супруга («добрый» характер, способность обеспечить жизненные ресурсы, отсутствие уродств и т. п.) и его возможном вкла-

<sup>12</sup> Lorenz K. On aggression. N. Y., 1966, p. 268.

<sup>13</sup> Wilson E. O. Sociobiology... p. 248—249, 254—255.

<sup>14</sup> Ruse M. Sociobiology: Sense or nonsense. Dordrecht, etc., 1979, p. 77.

<sup>15</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 306.

<sup>16</sup> Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 3, с. 3.

<sup>17</sup> Бромлей Ю. В. Современные проблемы этнографии. М., 1981, с. 15.

дом в воспитание потомства<sup>18</sup>. «При таком подходе, — обобщает Бэрэш, — любовь оказывается механизмом поведения, обеспечивающим максимальную приспособленность особи к среде обитания путем оптимальной связи между удовлетворяющими друг друга партнерами»<sup>19</sup>.

На основе изучения «стратегий» животных в сексуальном поведении генетик Р. Докинс делает выводы, имеющие, на его взгляд, значимость для человека. По его мнению, различным полам свойственно ограниченное число «стратегий» сексуального поведения, сущность которых состоит в том, что каждый из партнеров стремится к получению максимального «репродуктивного успеха». С позиций «слабого» пола это «стратегии» двух типов, ориентированные на «сильного самца» или на «счастликую семью» (независимо от степени мужественности особи противоположного пола). В первом случае самки предпочитают самцов с теми чертами, которые бы они «хотели видеть» у своего потомства вне зависимости от того, будут ли самцы разделять с ними тяготы по воспитанию молодняка; во втором случае предполагается «согласие» самки на низкие показатели «мужественности» в целях получения партнера, который бы заботился о воспитании потомства<sup>20</sup>.

Смысл сексуальных отношений в животном мире, их вписанность в конкретные экологические условия — важный предмет биологического анализа. В какой мере эти элементы биологического значимы в поведении человека? Вопрос этот сложен и пока совсем не разработан. Хотя априори представляется, что роль их невелика в сравнении с той огромной сферой собственно человеческого, духовного, без чего секс никогда не стал бы любовью. Но об этой сфере ни Бэрэш, ни Докинс не говорят ничего. Вот почему их подходы к анализу сексуального поведения человека оказываются грубым биологическим редукционизмом.

Методологические просчеты социобиологов не должны, тем не менее, мешать объективному рассмотрению предлагаемых ими для обсуждения новых значимых фактов и проблем. Так, при рассмотрении эволюции полового поведения и возникновения в примитивных обществах табу инцеста (кровосмесительной сексуальной связи) социобиологи обращают внимание на аналогичное «табу» в сообществах насекомых. В опытах самки плодовой мушки дрозофилы при наличии возможности выбора между самцами — близкими родственниками и прочими особями противоположного пола — предпочитали последних: в первом случае жизнеспособным оказывалось лишь 25 % потомства, а остальное погибало вследствие близкородственного скрещивания<sup>21</sup>. Не способствует ли этот факт прояснению проблемы происхождения запрета кровнородственных связей у человека? Не следует ли рассматривать табу инцеста у человека в эволюционном аспекте? Очевидно, такого рода факты стимулируют исследовательскую работу.

**Альтруистически-эгоистическое поведение.** Альтруистически-эгоистическая — наиболее сложная из рассматриваемых в социобиологии форм поведения. Эгоизм и альтруизм — понятия гуманитарного знания, и потому в применении к органической природе их употребление метафорично. Для социобиологов же эгоизм и альтруизм — феномены эволюционного процесса.

По Уилсону, альтруизм — саморазрушительное поведение, осуществляемое ради пользы других<sup>22</sup>. Его смысл может быть показан следующим примером. Представим, что на земле расположилась популяция мелких птиц, а в небе появился хищник. То, что птицы на земле — плохо для них, но то, что они объединены в стаю — хорошо. Хищника могут заметить несколько птиц, но кто подаст сигнал тревоги первый? Сделать это — привлечь внимание к себе. Но вот одна из птиц кричит, и стая поднимается в воздух, — преимущества несомненны. Что же касается особи-«альтруиста», то хотя для нее шансы погибнуть значительно возросли, «гены альтруизма» (метафорическое выражение. — С. Н.), которые в определенной

<sup>18</sup> Подробнее об этих опытах см.: Никольский С. А. Социобиология: цели, содержание, методология. — В сб.: Философские проблемы биологии. М., ИНИОН, 1984, с. 64.

<sup>19</sup> Barash D. P. Human reproductive strategies: a sociobiological overview. — In: The evolution of human social behavior. N. Y., 1980, p. 146.

<sup>20</sup> Dawkins R. The selfish gene. Oxford, 1976, p. 163—169. Подробнее об этой работе Р. Докинса см.: Гаузе Г. Ф., Карпинская Р. С. — Вopr. философии, 1978, № 8, с. 145.

<sup>21</sup> Trivers R. L. Parental investment and sexual selection. — In: Sexual selection and the descent of man. 1871—1971. Chicago, 1972, p. 168.

<sup>22</sup> Wilson E. O. On human nature, p. 149—150.

мере имеются у ее родственников, не исчезнут бесследно. Стая, предполагают социобиологи, позаботится о том, чтобы эти птицы оставили как можно больше потомства, ибо «альтруисты» для сообщества нужны всегда<sup>23</sup>.

Поставим вопрос: почему утверждается, что подает сигнал именно особь «альтруист», а не та, которая, например, первой заметила опасность, или та, у которой более слабая нервная система? Каковы данные о том, что стая проявит заботу о родственниках «альтруистов» и именно в награду за это поведение и т. д.? Непроясненность этих моментов дает основание для упрека социобиологов в излишней торопливости в попытках объяснить поведение «жертвования».

Но дело не только в торопливости. Более глубокие причины кроются в ограниченности естественнонаучного мировоззрения социобиологов. Особенно отчетливо это видно при чтении «Биофилии» Уилсона. Вынесенный в заголовок термин трактуется как присущая человеку изначальная способность «сосредоточиваться на жизни», быть «приверженным миру живого», что наследуется от животных предков. Биофилия, утверждает Уилсон, существует в каждом в качестве «программ мозга», «биофильных эмоций» и проявляется как в предсказуемых фантазиях и реакциях индивида, так и в повторяющихся в разных обществах элементах культуры. Так, например, современные люди, не испытывающие часто страх перед машинами и механизмами, продолжают в большинстве своем бояться пауков, бегущей воды, змей. Этот страх отчетливо виден у многих видов животных. Но люди придали ему социальный смысл: змея, скажем, стала символом мудрости и могущества во многих обществах.

Не имея возможности далее рассматривать этот опыт философских размышлений о поведении живого, отметим главное. И внутренняя «приверженность миру живого», и стимулирующие развитие разума «биофильные эмоции», и сопутствующие становлению человека страхи и предпочтения — все это новые образцы социобиологических гипотез относительно биологических основ поведения человека. Вся работа естествоиспытателя, резюмирует Уилсон, создает его собственную фило-

софию, которой он руководствуется в своих последующих исканиях<sup>24</sup>.

Проблема «альтруизма», как и тема эволюционного значения агрессивного или сексуального поведения в понимании биологических основ некоторых форм поведения человека, — в высшей степени сложные вопросы. В этой связи выдающийся советский генетик Б. Л. Астауров писал о том, что некоторые существенные интегральные свойства психофизической организации человека представляются собой продукт многих миллионов лет эволюционного процесса, итог отбора и взаимной пригонки бесчисленных наследственных изменений, передающихся генетическим путем<sup>25</sup>. Имеющийся сегодня в биологических науках материал недостаточен, чтобы прояснить эти вопросы однозначно и исчерпывающим образом. Поэтому его накопление — в том числе в рамках социобиологии — весьма полезно.

Но выступая за развитие исследований в этом направлении, нужно вместе с тем критически оценивать методологию социобиологии, ограниченный характер стихийного материализма ее сторонников. Главный недостаток социобиологических исследований на стыке биологического и социального — сугубо естественнонаучное понимание предмета, исключающее осознание специфики общества, социальной сущности человека.

Возьмут ли в направлении верх ошибочные тенденции, или возобладает корректное исследование биологических основ некоторых форм общественного поведения живых существ, включая человека, — покажет время. Ясно одно: реализация намеченных в социобиологии целей возможна лишь посредством последовательного применения диалектического способа мышления, в том числе — обращения к философско-научной концепции человека и общественного развития в целом.

<sup>24</sup> Wilson E. O. Biophilia, p. 105—106.

<sup>25</sup> Астауров Б. Л. Проблемы общей биологии и генетики. М., 1979, с. 215.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ДИАЛЕКТИКА В НАУКАХ О ПРИРОДЕ И ЧЕЛОВЕКЕ. Человек, общество и природа в век НТР. М.: Наука, 1983.

Яблоков А. В., Юсупов А. Г. ЭВОЛЮЦИОННОЕ УЧЕНИЕ. М.: Высшая школа, 1976.

<sup>23</sup> Dawkins R. Good strategy or evolutionary stable strategy.— In: Sociobiology: Beyond nature/nurture? Boulder, 1980, p. 331—370.



## К чему приводит длительное лишение сна?

Читатель А. Р. Мустафин из Москвы пишет:

В статье «Поиски "гормона сна"» (Природа, 1983, № 4) говорится об опытах, в которых животных лишали сна, чтобы найти в их организме вещества, вызывающие сон. Можно ли таким способом узнать, зачем вообще нужен сон? Что происходит в организме при лишении сна?

Об одном из важнейших методов изучения сна рассказывает кандидат биологических наук В. М. Ковальзон.

В физиологии существует классический метод определения значения какого-либо органа (функции) — это метод разрушения. По последствиям разрушения органа или лишения функции иногда удается понять, для чего они служат. Этот метод использовался целым рядом исследователей в опытах с длительным лишением животных сна. Необходимо, однако, иметь в виду, что для того, чтобы не давать спать подопытным в течение многих суток, нужно применять какие-то сильные и неприятные для них пробуждающие воздействия: шуметь, терзать животное или, например, заставлять его все время двигаться. А когда в конце концов происходит серьезное нарушение в организме животных и даже их гибель, то непонятно, чем это вызвано — лишением сна как таковым или же побочными воздействиями, такими как стресс и утомление. Таким образом, выбор методики «деликатного» лишения сна и контроль побочных последствий — ключевой фактор в подобных экспериментах.

Недавно группа исследователей под руководством заведующего лабораторией по

изучению сна Чикагского университета Э. Рехтшаффена провела серию опытов по длительному лишению сна, удовлетворяющую современным научным требованиям<sup>1</sup>. Одни и те же неслышные физические воздействия применялись к экспериментальной и контрольной группам крыс; разница заключалась только в том, что у первой группы эти воздействия были жестко привязаны к моментам наступления сна, а у второй оказывались случайно распределенными во времени. Результатом явились серьезнейшие, приводящие к смерти, нарушения в организме и поведении у экспериментальной, но не у контрольной группы.

Авторы разработали следующую остроумную методику: две крысы, экспериментальная и контрольная, помещались по обе стороны вертикальной перегородки, которая разделяла большой горизонтальный диск, насаженный на вертикальную ось и способный вращаться. Под диском располагались ванны с водой. Если крыса соскальзывала в воду, она легко могла снова забраться на диск, служивший ей островом. Каждая крыса на своем острове имела вдоволь пищи и питья. У обеих крыс круглосуточно регистрировали электрическую активность головного мозга и мышц шеи и с помощью микро-ЭВМ определяли состояние бодрствования, медленного и парадоксального сна. Как только ЭВМ определяла наступление сна у экспериментальной крысы, автоматически включался моторчик, медленно вращавший диск в ту или другую сторону, по случайному выбору. При этом обе крысы были вынуждены двигаться против вращения, чтобы не упасть

в воду. После пробуждения экспериментальной крысы мотор выключался. В результате пребывания на диске от 5 до 33 суток 8 экспериментальных и 8 контрольных животных был выявлен разительный контраст.

У контрольных животных общее время сна уменьшилось примерно на 30%. Никаких нарушений поведения, внешнего вида и внутренних органов не отмечалось. Что же касается крыс экспериментальной группы, то у них количество сна снизилось в 8 раз. Авторы наблюдали резкое ухудшение внешнего вида, нарушение координации движений и позы, а также снижение амплитуды биопотенциалов мозга. Последнее служило предвестником гибели животного: падение амплитуды биопотенциалов отмечалось каждый раз за сутки до гибели. При этом даже если моторчик выключали, животное все равно погибало: оно уже не могло заснуть и восстановить амплитуду потенциалов мозга. Следовательно, это падение амплитуды указывало на необратимые «поломки» механизмов мозга.

При вскрытии у всех крыс экспериментальной группы были обнаружены различные признаки грубой патологии: наличие плевральной жидкости в легких и трахее, язва желудка, внутренние кровоизлияния и др. Однако единая непосредственная причина гибели животных не установлена. Крысы имели уменьшенные размеры печени и селезенки и увеличенные надпочечники; вес тела был снижен при большем потреблении пищи. К сожалению, авторы не провели биохимического анализа спинномозговой жидкости и ткани мозга подопытных животных. Совокупность представленных данных создает впечатление, что у крыс экспериментальной группы был грубо нарушен оборот моноаминов (основных веществ — передатчиков нервных импульсов в мозге).

Обращает на себя внима-

<sup>1</sup> Rechtschaffen A. et al.— Science, 1983, v. 221, № 4606, p. 182; Sleep Research, 1984, v. 13, p. 185, 190, 191.

ние тот факт, что сроки выживания у крыс экспериментальной группы резко различались — от 5 до 33 дней. Чем же определялась столь различная устойчивость крыс к лишению сна? Авторы обнаружили поразительную связь между парадоксальным сном и выживанием. Дело в том, что лишение сна сказывалось в большей мере на парадоксальном сне, чем на медленном: длительность парадоксального сна снижалась в 25 раз, а медленного — в 7 раз. Однако ничтожные остатки парадоксального сна оказались принципиально важны: чем большую «кроху» парадоксального сна удавалось сохранить животному в ходе опыта, тем дольше его организм мог сопротивляться примененному воздействию! Авторы считают, что эти данные настолько отличаются от общепринятых в среде специалистов представлений о возможной роли парадоксального сна (имеется в виду выдвинутая в 1975 г. гипотеза американского исследователя Дж. Воджела о ключевой роли парадоксального сна в поддержании эмоционального равновесия), что нуждаются в дальнейшей проверке.

В следующей серии опытов тем же методом животных лишали не всего сна, а лишь парадоксальной его фазы. Удалось добиться того, что у подопытных крыс (экспериментальная группа) сохранялась лишь немногим более 1 % исходной длительности парадоксального сна, в то время как медленный сон почти не затрагивался. У контрольной группы животных обе фазы сна были полностью сохранены. Срок выживаемости у лишенных только парадоксального сна животных был в среднем в 2 раза дольше, чем у лишенных всего сна животных в предыдущей серии, однако и эти животные неизбежно погибали при тех же обстоятельствах и по столь же неясной причине. Вдобавок, в ходе лишения парадоксального сна отмечалось значительное падение температуры тела и нарушение терморегуляции.

Сопоставляя обе серии своих опытов (с лишением всего сна и избирательным лишением парадоксальной фазы) авторы вновь приходят к выводу

о ключевой роли именно парадоксального сна в выживаемости организма. Для понимания результатов этого исследования необходимо иметь в виду следующее. Около 20 лет назад один из пионеров современного изучения сна американский исследователь В. Демент подразделил все многообразие явлений, происходящих в организме во время парадоксального сна, на две категории: тонические и фазические феномены. Тонические явления возникают с началом каждого периода парадоксального сна, сохраняясь до его завершения; фазические же появляются на фоне тонических в виде отдельных «квантов», всплеск активности. Нет смысла перечислять здесь все виды этих явлений; достаточно сказать, что тонические и фазические феномены во время парадоксального сна можно обнаружить в деятельности почти всех систем и органов тела. Демент высказал предположение, что наиболее важны для организма именно фазические явления в парадоксальном сне, а тонические лишь создают благоприятные условия для их протекания. Эти наблюдения, по-видимому, совершенно правильны, хотя сущность тех и других явлений остается загадочной и по сию пору.

Фазические явления обладают свойством «ускользать» от лишения парадоксального сна, перемещаясь отчасти в смежные периоды медленного сна. Таким образом, подавление парадоксального сна в опытах Рехтшаффена и сотрудников с избирательным его лишением было, как можно предположить, менее эффективным. Это и обеспечило более длительную выживаемость крыс по сравнению с опытами по лишению всего сна. С другой стороны, в серии с лишением всего сна подавление фазических компонентов было, очевидно, очень значительным, так как эти компоненты не могли «проскакивать» во время медленного сна, который также был подавлен. В этой ситуации крысы погибали в среднем уже через 2 недели.

Таким образом, в целом результаты исследований Рехтшаффена с сотрудниками, в которых проводилось эффектив-

ное и длительное, но относительно «мягкое» лишение всего сна и парадоксальной фазы в отдельности, дают серьезные, хотя и косвенные аргументы в пользу предположения о том, что фазические явления в парадоксальном сне являются отражением каких-то еще неизвестных биохимических процессов принципиальной важности, происходящих в мозге. Открытие этих процессов является крупнейшим достижением в комплексе наук о нервной системе. Ведь речь будет идти о необычных реакциях, для осуществления которых необходимы особые условия, создаваемые тоническими компонентами парадоксального сна. Именно в этом состоянии мозг достигает особо высокого уровня активации, субъективно переживаемой человеком как сновидения. Это позволяет говорить о парадоксальном сне как самостоятельном третьем состоянии организма (наряду с бодрствованием и медленным сном), как об особом виде бодрствования, «направленного внутрь». Быть может, эти процессы связаны с образованием и распадом белков, являющихся исходными молекулами для ряда нейропептидов-передатчиков?

Во всяком случае, работа Рехтшаффена с сотрудниками содержит самые, быть может, важные и интересные данные со времени открытия Ю. Азеринским и Н. Клейтманом парадоксального сна в 1953 г. Эти данные в целом хорошо согласуются с предположением о ключевой роли парадоксального сна в формировании устойчивости организма к сильным внешним воздействиям.

<sup>2</sup> Ашмарин И. П.— Ж. звол. биохим. физиол., 1982, т. 18, № 1, с. 3; Иванов В. Т., Каменский А. А. Нейропептиды — регуляторы поведения.— Природа, 1983, № 4, с. 7.

Космические исследования

Таблица 1

**Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь—декабрь 1985 г.)**

В ноябре — декабре 1985 г. в Советском Союзе было запущено 17 спутников, в том числе 14 спутников серии «Космос» (см. табл. 1). На десяти спутниках этой серии установлена научная аппаратура для продолжения исследований для космического пространства. «Космос-1708» продолжает изучение природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с него поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа».

На «Космосе-1710, -1711 и -1712» отрабатываются элементы и аппаратура космической навигационной системы, с помощью которой будет определяться местонахождение самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флота Советского Союза.

Очередной спутник связи «Радуга» оборудован ретрансляционной аппаратурой, обеспечивающей телефонно-телеграфную радиосвязь и передачу телевизионных программ. Эксплуатация системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передача программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества ведется с помощью очередного спутника связи «Молния-3».

На метеорологическом спутнике «Метеор-2» установлены комплексы аппаратуры для получения глобальных изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра; с помощью установленной на нем радиометрической аппаратуры ведется непрерывная

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град.	период обращения, мин
«Космос-1701»	9.XI	613	39 342	62,8	709
«Космос-1702»	13.XI	207	399	72,8	90,2
«Радуга»	15.XI	36 655	36 655	1,3	1481
«Космос-1703»	23.XI	647	678	82,5	97,8
«Космос-1704»	28.XI	986	1023	82,9	105
«Космос-1705»	3.XII	208	387	72,8	90,1
«Космос-1706»	11.XII	178	360	67,2	89,5
«Космос-1707»	12.XII	650	678	82,5	97,8
«Космос-1708»	13.XII	197	313	82,3	89,2
«Космос-1709»	19.XII	982	1 026	82,9	104,9
«Молния-3»	24.XII	477	40 793	62,8	736
«Космос-1710»	25.XII	19 160	19 160	65	677
«Космос-1711»					
«Космос-1712»*					
«Метеор-2»	26.XII	952	975	82,5	104
«Космос-1713»	27.XII	224	419	62,8	90,7
«Космос-1714»	28.XII	190	863	71	94,8

\* Спутники «Космос-1710, -1711 и -1712» запущены одной ракетой-носителем.

Таблица 2

Космический аппарат	1981	1982	1983	1984	1985	Итого
«Союз»	3	3	2	3	2	13
«Салют»	—	1	—	—	—	1
«Прогресс»	1	4	2	5	1	13
«Космос»	94	97	94	94	99	478
«Метеор»	2	2	1	1	3	9
«Молния»	8	5	7	4	8	32
«Радуга»	3	1	2	2	2	10
«Экран»	1	2	2	2	1	8
«Горизонт»	—	2	2	2	1	7
«Интеркосмос»	2	—	—	—	1	3
«Радио»	6	—	—	—	—	6
«Ореол»	1	—	—	—	—	1
«Искра»	1	2	—	—	—	3
«Венера», «Вега»	2	—	2	2	—	6
«Астрон»	—	—	1	—	—	1
«Прогноз»	—	—	1	—	—	1
	124	119	116	115	118	592

регистрация потоков проникающих излучений в околоземном космическом пространстве.

Таким образом, в 1985 г. в СССР запущено 118 космических аппаратов, в том числе

космические корабли «Союз Т-13» и «Союз Т-14», автоматический грузовой корабль «Прогресс-24», 99 спутников серии «Космос», 12 спутников связи «Молния», «Экран», «Радуга»,

«Горизонт», три метеорологических спутника «Метеор» и автоматическая станция «Прогноз-10—Интеркосмос».

В общей сложности за 11-ю пятилетку (1981—1985 гг.) в Советском Союзе было запущено 592 космических аппарата различных типов; их распределение по годам и типам приведено в табл. 2.

Кроме того, в 1981 г. с территории Советского Союза с помощью советской ракеты-носителя был запущен индийский спутник «Бхаскара-2».

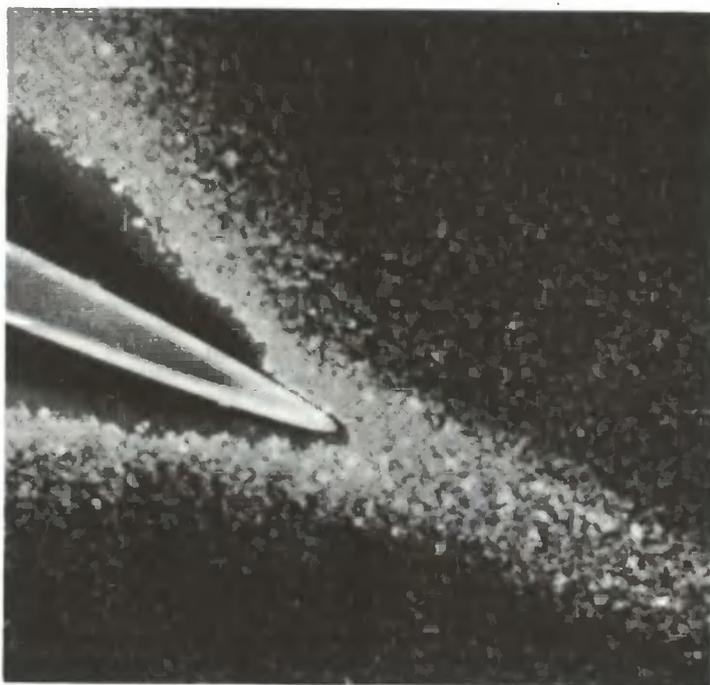
#### Космические исследования

### Второе кольцо Юпитера

Как известно, приборы межпланетных станций «Вояджер» обнаружили вокруг Юпитера такое же кольцо вещества, как и наблюдаемое с Земли кольцо Сатурна. Однако кольцо Юпитера значительно слабее. Кроме того, оно проще по строению, чем у Сатурна.

Просмотр фотографий, сделанных «Вояджером-2», позволил М. Шоуолтеру, Дж. Бернсу (M. R. Showalter, J. A. Burns; Корнеллский университет) и Дж. Кази, Дж. Поллаку (J. Cuzzi, J. Pollack; НАСА) открыть новое кольцо у Юпитера. Оно значительно слабее, чем первое кольцо (его яркость составляет около 5% от яркости основного кольца), расположено с внешней стороны и простирается на большие расстояния вплоть до орбиты Тибей — спутника Юпитера. На фотографии кольцо выглядит не сплошным образованием, а как бы состоит из отдельных гранул, что позволило авторам открытия назвать его «кольцом паутины». Максимум плотности «паутины» находится на расстоянии, равном радиусу синхронной орбиты<sup>1</sup>. Объясняется это тем, что магнитосферная плазма увлекается вращающимся магнитным полем

<sup>1</sup> Синхронной называется орбита, на которой период обращения спутника равен периоду вращения планеты вокруг своей оси.



Фрагмент внешнего «кольца паутины» вокруг Юпитера. Фотография получена приборами «Вояджера-2».

Астрофизика

### Существуют ли закономерности в распределении квазаров!

Как известно, красное смещение ( $Z$ ) линий в спектрах квазаров характеризует их расстояние от нас не только в пространстве, но и во времени (ведь чем дальше квазар, тем дольше путешествует до нас его свет). Поэтому астрономов очень интересуют закономерности в распределении квазаров по  $Z$ , ибо по ним можно судить как о крупномасштабном распределении материи во Вселенной, так и об эволюции самих квазаров.

В ряде работ была обнаружена периодичность в распределении квазаров либо по  $Z$ , либо по более сложному аргументу:  $\ln(1+Z)$ ,  $1-(1+Z)^{-1/2}$  и т. п. Правда, возникали сомнения, реально ли наблюдаемое явление, или оно связано с условиями обнаружения квазаров.

Юпитера в совместное с планетой вращение. Взаимодействие плазмы с веществом кольца (пылинками размером в несколько микрон) приводит к его рассеянию; это взаимодействие минимально на синхронной орбите, где скорости нейтрального вещества и плазмы равны.

Но даже слабое взаимодействие привело бы к исчезновению кольца примерно за  $10^2$ — $10^4$  лет. По-видимому, вблизи области синхронной орбиты существует источник вещества — невидимый пока нами спутник Юпитера. Так или иначе, существование второго кольца Юпитера остается пока загадкой. Сейчас станция «Вояджер-2» приближается к планете Уран — обнаружит ли она и там кольцо, как у других планет-гигантов, мы вскоре узнаем.

Nature, 1985, v. 316, № 6028, p. 526—528 (Великобритания).

С увеличением числа квазаров, открытых астрономами, уверенность в их периодическом распределении по  $Z$  начала падать. Последний наиболее полный список квазаров (около 1500 объектов) был опубликован в 1980 г. американскими астрономами А. Хьюит и Дж. Бербиджа.

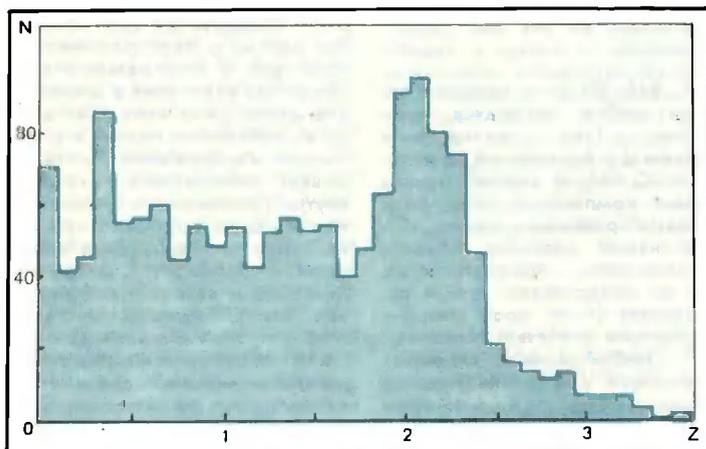
Используя эти данные и применив статистический метод спектрального анализа, В. С. Лебедев и И. А. Лебедева (Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР) показали, что периодического распределения квазаров ни по одному из использованных ранее аргументов не наблюдается. Была сделана попытка обнаружить так называемые квазары-«антиподы». Они могли бы существовать в том случае, если бы наша Вселенная имела сложную топологическую структуру, когда от одного и того же объекта свет приходит к наблюдателю с нескольких различных направлений. Простой двумерный аналог такой Вселенной — поверхность сферы: на ней свет между двумя точками распространяется по дуге большого круга и приходит к наблюдателю с двух противоположных направлений

(при этом время распространения сигнала по двум различным путям будет различаться). Трудно сказать, какое из изображений нужно считать реальным, а какое — «духом»; в определенном смысле они равноценны.

Аналогичное явление может возникать и в некоторых моделях Вселенной. Но надежда заметить его есть лишь в том случае, когда наблюдаются долгоживущие и чрезвычайно удаленные объекты, расстояния до которых сравнимо с радиусом кривизны Вселенной. Такими объектами и являются квазары. Используя каталог Хьюита и Бербиджа, В. С. Лебедев и И. А. Лебедева проанализировали распределение квазаров на небесной сфере, чтобы выявить избыточное количество объектов в диаметрально противоположных направлениях, которые можно было бы считать изображениями — «антиподами» одного физического объекта. Статистический анализ показал, что избытка квазаров-«антиподов» по сравнению со случайным распределением не наблюдается. Это означает, что топология нашей Вселенной либо очень проста и каждый объект мы видим только в одном направлении, либо настолько сложна, что изображения-«духи» находятся не в диаметрально противоположных точках неба, а разбросаны по нему в более сложном порядке.

Астрофизические исследования (Известия САО АН СССР), 1985, т. 19, с. 14—15, 16—21.

Гистограмма распределения числа квазаров  $N$  в зависимости от их красного смещения  $Z$ . Как видно из рисунка, никакой периодичности в распределении по  $Z$  не наблюдается.



### Гамма-источник — радиопульсар?

В ходе наблюдений с европейского спутника «COS-B» был открыт новый класс галактических источников, излучающих преимущественно в  $\gamma$ -диапазоне: при энергии  $\gamma$ -квантов, превышающих 100 МэВ, их поток равен  $10^{35}$ — $10^{36}$  эрг. (Для сравнения: поток  $\gamma$ -излучения от всей Галактики в этом диапазоне энергии всего лишь в тысячу раз больше.)

Для объяснения природы этих источников, которых к настоящему времени насчитывается 21, предлагались различные модели. Сложность выбора между ними объясняется тем, что координаты  $\gamma$ -источников на небесной сфере определены с точностью в несколько градусов (такова разрешающая способность современных  $\gamma$ -телескопов). В такой обширной области можно обнаружить несколько объектов, излучающих в радио- и рентгеновском диапазоне, где достигнуто более высокое угловое разрешение — от нескольких угловых минут до нескольких угловых секунд. Поэтому установить, какой из радио- или рентгеновских источников связан с  $\gamma$ -источником, очень сложно.

Одна из возможностей отождествления — обнаружение переменности излучения  $\gamma$ -источника. Дело в том, что одна из моделей связывает  $\gamma$ -источники с пульсарами, для которых характерна такая переменность излучения. Однако поиски переменности  $\gamma$ -излучения с периодом около секунды не дали положительного результата; поэтому было высказано предположение, что период пульсаров, определяющих излучение неотжествленных  $\gamma$ -источников, должен быть много меньше секунды.

И действительно, при наблюдении в радиодиапазоне в окрестности неотжествленного  $\gamma$ -источника 2CG 065 обнаружен радиопульсар PSR 1953+29, период вращения которого равен 6,1 мс. Однако полной уверенности, что пульсар связан с

источником 2CG 065 не было, поскольку из данных «COS-B» оказалось невозможным выделить переменность  $\gamma$ -излучения с таким малым периодом.

Группа ученых из Даремского университета (Англия) исследовала излучение из окрестностей источника 2CG 065 в области более высоких энергий  $\gamma$ -квантов ( $10^{12}$  эВ). В результате обнаружена переменность  $\gamma$ -излучения с периодом 6,1 мс. По-видимому,  $\gamma$ -излучение источника 2CG 065 действительно определяется пульсаром PSR 1953+29.

Пульсар входит в состав двойной системы, имеющей орбитальный период  $120 \pm 4$  дня. Расстояние до пульсара оценивается величиной 3,5 кпк, а поток  $\gamma$ -излучения в области энергий  $2 \cdot 10^{12}$  эВ составляет  $(3 \pm 0,8) \times 10^{35}$  эрг/с.

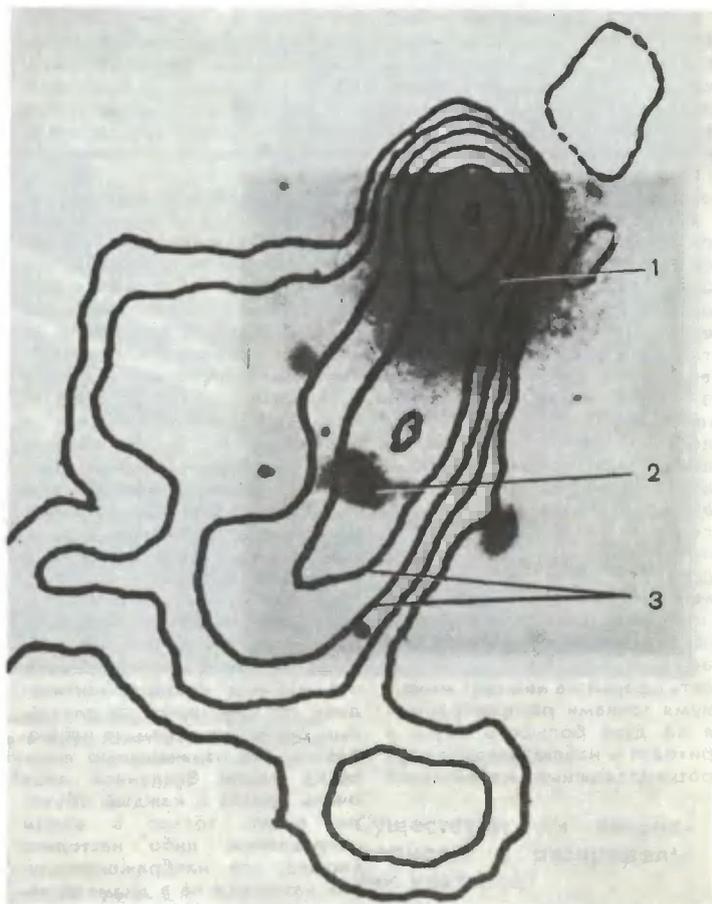
Nature, 1985, v. 317, № 6034, p. 236—238 (Великобритания).

#### Астрофизика

### Галактика, рождающаяся «на глазах»

Астрофизические исследования последних десятилетий со всей очевидностью показали, что все объекты во Вселенной и Вселенная в целом эволюционируют. Но если применительно к звездам это утверждение находит все более полное экспериментальное и теоретическое обоснование<sup>1</sup>, то для галактик прямое получение соответствующих данных — гораздо более сложная задача.

Дж. Броди, С. Бауэр, П. Маккарти (J. Brodie, S. Bowyer, P. McCarthy; Калифорнийский университет, Беркли, США) провели радио- и оптические наблюдения скопления галактик Эйбл 194. Вблизи центра скопления содержится радиисточник 3С 40, который ассоциируется с галактиками NGC 545 и



Радио- (сплошные линии) и оптическое изображения участка неба вблизи галактики NGC 541: 1 — галактика NGC 541, 2 — объект Минковского, 3 — струя.

NGC 547. От этих галактик тянется слабая светящаяся перемычка (так называемый «бридж») к ближайшей галактике NGC 541. В состав бриджа входит компактный источник с угловым размером около  $10''$ , получивший название объекта Минковского; предполагается, что он представляет собой пекулярную (т. е. проявляющую необычные свойства) галактику.

Наблюдения проводились с помощью VLA (очень большой решетки радиоастрономических антенн, Нью-Мехико, США) на длине волн 20 см, а также на

двух оптических телескопах — Межамериканской обсерватории Сьерро-Тололо (Чили) и Ликской обсерватории (США). Столь обширный «инструментарий» понадобился для получения данных о пространственной структуре и спектральных особенностях излучения в широком диапазоне длин волн. Как видно из наложения радио- и оптического изображений (см. рис.), объект Минковского находится внутри протяженной радиодетали, которая интерпретируется как струя, выбрасываемая ядром галактики NGC 541. Спектроскопические данные подтверждают, что струя, идущая от ядра NGC 541, взаимодействует в области объекта Минковского с межгалактическим газом. И хотя полученные спектры допускают различную интерпретацию, наиболее обоснованно

<sup>1</sup> Подробнее об этом см., напр.: Шкловский И. С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. М., 1984.

выглядит предположение о том, что оптическое излучение объекта Минковского обусловлено молодыми звездами.

Этот вывод означает, что объект Минковского — молодая галактика, которая образуется «на наших глазах» в результате воздействия струи на межгалактический газ. Такого рода механизмы фрагментации межзвездной среды исследуются в связи с рождением отдельных звезд. В данном случае, по-видимому, впервые удалось наблюдать процесс индуцированного рождения целой звездной системы — галактики.

*Astrophysical Journal Letters*, 1985, v. 293, № 2, p. 2, L59 (США).

#### Астрономия

### R 136 — сверхмассивная звезда!

Что представляет собой объект R 136 — содержит ли он сверхмассивную звезду или сверхплотное звездное скопление? Этот вопрос волнует сейчас многих астрофизиков.

R 136 находится в Большом Магеллановом Облаке (БМО), богатом межзвездным газом; в нем интенсивно идет процесс образования звезд и наблюдается много молодых звезд, в том числе очень ярких, массивных. Особенно велико их число в горячей газовой туманности 30 Золотой Рыбы, получившей за свою форму название Тарантул. Диаметр яркой части туманности почти 200 пк, в ней содержится около  $10^6 M_{\odot}$  ионизованного газа, интенсивно светящегося в оптическом диапазоне. Область окружена вдвое более протяженной и раз в 20 более массивной оболочкой из холодного нейтрального водорода, излучающего в радиодиапазоне. Сама туманность Тарантул поддерживается в ионизованном состоянии ультрафиолетовым излучением горячих звезд. Хотя полная масса звезд внутри оболочки сравнительно невелика, около  $10^6 M_{\odot}$ , среди них более сотни горячих и несколько экстремально горячих звезд с температурой по-

верхности 30—50 тыс. К и светимостью в миллионы раз выше солнечной.

В центре этой компании ярких звезд и расположен объект R 136. При хорошем качестве изображений его можно разделить на три источника, отстоящих друг от друга на 2—3". Наиболее яркий, R 136a, в последние годы был на подзрении у астрономов как возможная сверхмассивная звезда. Было, однако, неясно, связан ли источник с единым телом — сверхзвездой, или это компактное скопление массивных звезд.

Недавно астрономы Южной европейской обсерватории, используя специальные методы оптической интерферометрии, доказали, что изображение источника R 136a состоит по крайней мере из 8 компонент<sup>1</sup>. Ярчайшие три из них удалены друг от друга на 0",10 и 0",48. Именно они и ответственны за ионизацию газа в Тарантуле. Но кроме мощного ультрафиолетового излучения, они и окружающие их O-звезды постоянно выбрасывают в пространство потоки горячего газа — звездный ветер. Двигаясь со скоростью в тысячи километров в секунду, звездный ветер нагревает и приводит в движение межзвездный газ. Вокруг O-звезд образуются каверны, заполненные разреженным горячим газом.

Получив с помощью приборов международного ультрафиолетового спутника IUE спектр ядра Тарантула, группа западногерманских астрофизиков установила, что главным источником звездного ветра также является объект R 136a (хотя мы знаем, что это не одиночный объект, а группа из нескольких источников; аппаратура спутника не позволила исследовать их по отдельности)<sup>2</sup>. R 136a теряет в виде звездного ветра  $3 \times 10^{-4} M_{\odot}$  в год, причем вещество движется со скоростью почти 4000 км/с, унося в виде кинетической энергии  $3 \cdot 10^{39}$  эрг/с.

Этот поток уже раздул в окружающем межзвездном газе полость радиусом 10 пк. На ее границе звездный ветер сталкивается с межзвездной средой и, как поршень, приводит ее в движение. Поэтому полость постоянно расширяется со скоростью около 25 км/с. По радиусу полости и скорости ее расширения приближенно определено время, в течение которого «дует» звездный ветер, — 400 тыс. лет. Это и есть минимальная оценка возраста массивного объекта в источнике R 136.

Полная светимость ярчайшего компонента R 136a1 близка к  $5 \cdot 10^7$  солнечных. Чтобы объект с такой светимостью не был разрушен давлением собственного излучения, его масса должна быть не менее  $1500 M_{\odot}$ . Либо это действительно одиночный объект — сверхзвезда, либо скопление двух-трех десятков обычных массивных O-звезд. Как сделать выбор? Очевидно, нужно определить размер источника. Если это сверхзвезда, ее радиус должен быть раз в 100 больше солнечного (около  $2 \cdot 10^{-6}$  пк). Если же это скопление, его размер не может быть меньше 0,2 пк, иначе звезды настолько часто сближались бы и возмущали движение друг друга, что скопление распалось бы за 400 тыс. лет, а это не согласуется с оценкой возраста источника.

На расстоянии БМО линейному размеру 0,2 пк соответствует угол 0",8; напомним, что угловой размер R 136a1 во всяком случае меньше, чем 0",1. Эта оценка убедительно поддерживает гипотезу о сверхмассивной звезде в «сердце» Тарантула.

Самая «тяжелая» на сегодня — звезда Пласкетта (около  $90 M_{\odot}$ ). Еще две звезды — Р Лебеда и  $\eta$  Киля — по косвенным признакам могут иметь массу соответственно 100 и  $200 M_{\odot}$ . Звезды с большей массой, согласно теории, должны быть неустойчивы. Судя по всему, «сердце» Тарантула подготовило большой сюрприз как наблюдателям, так и теоретикам.

**В. Г. Сурдин,**  
кандидат физико-математических наук  
Москва

<sup>1</sup> Weigelt G., Baier G., Ladebeck R.— *ESO Messenger*, 1985, № 40, p. 4.

<sup>2</sup> Feitzinger J. V. et al.— *Monthly Not. of Roy. Astron. Soc.*, 1984, v. 211, p. 867.

## Астрономия

**В голове кометы — лед**

Предположение о том, что ядра комет состоят из льда  $H_2O$ , делалось и ранее. Теперь его удалось подтвердить в ходе наблюдения кометы Галлея при ее сближении с Землей.

Первый успех выпал на долю французских радиоастрономов из обсерватории Навсей, которые вели наблюдения на длине волны 18 см. Они обнаружили излучение, характерное для гидроксидов  $OH$ , с частотами 1665 и 1667 МГц. Гидроксил, как известно, является продуктом распада  $H_2O$  под влиянием ультрафиолетового излучения Солнца. В течение следующей недели интенсивность сигнала гидроксидов увеличивалась по мере приближения кометы к Солнцу. Оценки показали, что комета ежесуточно теряет таким образом на испарение около 25 тыс. т льда.

Затем с борта международного ультрафиолетового спутника «IUE» были получены данные, подтвердившие этот факт. Через девять суток гидроксил был обнаружен в его излучении на других полосах частот, причем образование гидроксидов шло вдвое интенсивнее, чем при наблюдениях французских радиоастрономов. К этому моменту расход льда достиг 100 тыс. т в сутки.

С борта спутника «IUE» были впервые получены и данные об эмиссии атомов водорода — другого продукта разложения воды и образования гидроксидов. Водородное гало становится максимальным, когда комета находится в перигелии.

На британской обсерватории Ла-Пальма (Канарские о-ва, Испания) были проведены спектроскопические наблюдения кометы Галлея, когда она находилась еще вне орбиты Марса. Было зарегистрировано присутствие в голове кометы групп  $CH$ ,  $C_2$  и  $C_3$ . По мнению астрономов, эти молекулы представляют лишь малую часть общего состава «грязного снежка», которому можно уподобить центральную область кометы. Главную же ее часть, очевидно, должен составлять лед  $H_2O$ , ко-

торый в оптической области спектра оставляет сравнительно мало следов.

New Scientist, 1985, v. 108, № 1478, p. 31 (Великобритания).

## Физика

**Сверхрешетка Фибоначчи**

Группой американских физиков из Мичиганского университета создана первая искусственная квазипериодическая полупроводниковая структура из слоев  $GaAs$  и  $AlAs$ , чередующихся в соответствии с алгоритмом построения чисел Фибоначчи<sup>1</sup>. Эксперименты по дифракции рентгеновских лучей и комбинационному рассеянию света на этой структуре подтвердили, что она действительно квазипериодическая, т. е. характеризуется двумя несоизмеримыми периодами, отношение которых равно иррациональному числу  $\tau = (1 + \sqrt{5})/2$ , связанному с так называемым «золотым сечением»<sup>2</sup>.

Подобные квазипериодические структуры существуют в самых различных физических системах. Так, в некоторых сегнетоэлектриках переход в полярную фазу при понижении температуры превращается структурным превращением, при котором период решетки, образованной смещенными атомами, несоизмерим с исходным периодом кристалла. В результате все характеристики кристалла (положения атомов, электронная плотность и т. д.) определяются двумя периодическими функциями координат. Если

отношение периодов равно иррациональному числу, их сумма — уже неперриодическая функция, поэтому кристалл утрачивает трансляционную симметрию. Как правило, несоизмеримость проявляется в каком-либо одном кристаллографическом направлении, поэтому квазипериодичность, по существу, одномерна<sup>3</sup>.

В одномерной строго периодической системе электроны могут свободно перемещаться, в то время как в разупорядоченной одномерной системе все электронные состояния локализованы. Квазипериодическая структура представляет собой промежуточный случай, в ней существует порог подвижности — граничная энергия электронов, разделяющая проводящие и локализованные состояния. Следовательно, в такой системе возможны фазовые переходы металл — изолятор. Поэтому и была предпринята попытка создать искусственную квазипериодическую структуру с контролируруемыми параметрами.

На первый взгляд, стандартная техника изготовления сверхрешеток позволяет это сделать с помощью соответствующей модуляции состава полупроводника, например  $Ga_{1-x}Al_xAs$ . При этом, однако, не удается абсолютно точно выдержать соотношение периодов. Американские физики пошли другим путем, собирая структуру из двух дискретных элементов:  $A$  и  $B$ . Элемент  $A$  состоял из слоев  $AlAs$  (толщиной 17 Å) и  $GaAs$  (толщиной 42 Å), а элемент  $B$  отличался от него лишь тем, что толщина слоя  $GaAs$  равнялась 20 Å. Структура  $S$  строилась следующим образом:  $A \rightarrow AB \rightarrow ABA \rightarrow ABAAB \rightarrow \dots$ , или  $S_n = S_{n-1}S_{n-2}$ . В результате

<sup>1</sup> Последовательность чисел 1, 1, 2, 3, 5, 8 ..., названная так в честь впервые рассмотревшего ее итальянского математика конца XII — начала XIII в. Леонардо Пизанского (известного как Фибоначчи); в ней каждый последующий член равен сумме двух предыдущих.

<sup>2</sup>  $\tau = 1/\lambda$ , где  $\lambda = (\sqrt{5}-1)/2$  — известное из школьного курса математики «золотое сечение».

<sup>3</sup> Тем не менее возможны двух- и трехмерные квазипериодические кристаллы, обладающие определенной симметрией относительно вращений и отражений. В частности, в них оказываются разрешенными оси симметрии 5-го порядка, запрещенные в «настоящих» кристаллах. См., напр.: Квазикристаллы — структуры с симметрией 5-го порядка. — Природа, 1985, № 8, с. 108.

длины  $d_n$  структур  $S_n$ , как и числа Фибоначчи, удовлетворяли соотношению:  $d_n = d_{n-2} + d_{n-1}$ . Было доказано, что построенная по такому алгоритму структура — квазипериодическая с отношением периодов, равным числу  $\tau$ .

Была изготовлена структура  $S_{13}$ , полная толщина которой составила примерно 1,85 мкм. Картина дифракции рентгеновских лучей представляла собой несколько серий пиков (для разных  $n$ ), причем в каждой серии максимумы соответствовали волновым векторам, пропорциональным  $\tau^p$  и образующим геометрическую прогрессию ( $p$  и  $r$  — целые числа). Определенное отсюда экспериментальное значение  $\tau$  равно  $1,630 \pm 0,015$ . Таким образом, с точностью до третьего знака  $\tau = 1,618$ .

Итак, создан новый тип полупроводниковых сверхрешеток — квазипериодические структуры. Впереди исследования их электронных свойств, в первую очередь — явления электронного переноса.

Physical Review Letters, 1985, v. 55, p. 1768—1770 (США).

Физика

1

## Физические эксперименты с одним электроном

Использование электростатической ловушки заряженных частиц (так называемой ловушки Пеннинга) размером меньше одного кубического миллиметра при температурах жидкого гелия позволяет удерживать в ней отдельные частицы. Недавно исследователи Вашингтонского университета (США) сообщили о том, что им удалось удерживать в такой ловушке один электрон в течение десяти месяцев.

Такая экспериментальная техника позволяет проводить уникальные физические эксперименты. Так, подтверждена зависимость циклотронной частоты  $\omega_c$  заряженной частицы (в данном случае электрона) от ее энергии. Известно, что заряженная частица, помещенная в магнитное поле, совершает круго-

вое движение с частотой, равной  $\omega_c = eH/mc$ , где  $e$  — заряд частицы,  $H$  — напряженность магнитного поля,  $c$  — скорость света,  $m$  — масса частицы. Масса частицы зависит от ее энергии следующим образом:  $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , где  $v$  — скорость частицы,  $m_0$  — масса покоя. Если воздействовать на электрон высокочастотным электромагнитным полем с частотой  $\omega$ , близкой к  $\omega_c$ , то электрон будет набирать энергию — это так называемый циклотронный резонанс. Поскольку положение резонанса зависит от циклотронной частоты, циклотронная частота — от массы, а масса, в свою очередь — от энергии, то форма резонансной кривой будет зависеть от «предыстории» частицы, т. е. иметь типично гистерезисный вид.

При уменьшении частоты воздействующего поля резонанс наступит раньше из-за увеличения энергии электрона; при увеличении частоты циклотронный резонанс наступит позднее, поскольку электрон вначале имел малую энергию. Следует указать на исключительную точность измерений: при частоте  $\omega_c = 10^{12}$  Гц эта точность не ниже 1 Гц; при энергии покоя электрона, примерно равной  $5 \cdot 10^5$  эВ, эта величина определяется с точностью до  $10^{-5}$  эВ.

Использование новой сверхтонкой экспериментальной техники позволит в будущем исследовать движение отдельного электрона при взаимодействии его с излучением, его нелинейные колебания и переход от динамического движения к хаотическому.

Physical Review Letters, 1985, v. 54, p. 537—539 (США).

Физика

## Химическая модель шаровой молнии

До сих пор не выяснена природа шаровых молний, несмотря на большой интерес к явлению. Наряду с представлением о том, что шаровая молния — это особая часть канала

обычной линейной молнии, в течение ряда лет исследуется гипотеза о шаровой молнии как о самостоятельной, локальной химически активной системе, содержащей газ.

Делаются попытки представить шаровую молнию в виде химически активного газодымового или газопылевого сгустка.

Это может быть, например, вихревая локальная область, содержащая пыль древесного угля (после пожара), насыщенная озоном, который возник после разряда линейной молнии. Внутри локальной области идет процесс горения угольной пыли в озоне, вызывающий свечение сгустка. Как показали эксперименты, проведенные под руководством Б. М. Смирнова (Институт теплофизики СО АН СССР, Новосибирск), выделение тепла в этом процессе составляет  $39 \pm 9$  кДж на грамм сгоревшей пыли, а сгорает пыль в озоне на 82—90 %. Существенно, что при большом выделении энергии процесс горения пыли и связывания углерода с озоном (с образованием  $CO_2$ ) — многостадийный процесс, протекает он медленно, в течение нескольких минут.

Согласно оценкам, при средней плотности пыли  $0,6$  г/см<sup>3</sup>, радиусе пылинки 3 мкм, температуре их разогрева до 400—700 К длина пробега испускаемых при свечении фотонов составит 0,34—0,60 см. Локальный газопылевой сгусток с размерами, значительно превышающими величину пробега фотонов, будет испускать только небольшую часть фотонов, излучая как черное тело.

Поскольку одновременно протекают два процесса: выделение тепла при горении пылинок и отвод тепла в результате излучения, возникает небольшой градиент температур между внутренними и внешними частями этой области и как следствие — турбулентность в газопылевом сгустке. Турбулентное перемешивание выравнивает температуру. Кроме того, разогретый газопылевой сгусток захватывает окружающий воздух, «турбулентный шар» разбухает, его температура падает, уменьшается излучение, теряется турбулентность. В результа-

те шар остывает и исчезает. Не исключается, что он снова «вспыхнет» через некоторое время за счет продолжающегося внутреннего процесса горения в отсутствие турбулентности, которая снова возникает только при достаточном разогреве. В подобных химически активных системах возможно и взрывообразное протекание процессов.

Полученная оценка параметров газопылевого вихря соответствует параметрам наблюдаемым в природе шаровых молний. Они обычно имеют шаровидную или грушевидную форму, красноватое свечение, появляются часто после разряда линейных молний и исчезают спустя некоторое время либо тихо, либо со взрывом.

Доклады АН СССР, 1985, т. 283, № 2, с. 361—365.



Химическая физика

## Радиационно-химическая очистка сточных вод

Удельный расход воды на целлюлозно-бумажных предприятиях составляет от 1200 до 5000 м<sup>3</sup> на тонну продукции. В их стоках велика концентрация сильнотоксичных веществ, в том числе серусодержащих. Поэтому сейчас остро стоит задача перехода на замкнутые циклы водопользования. Трудности такого перехода связаны с тем, что нужна слабоминерализованная, высококачественная вода, а сложность состава, многочисленность и разнообразие токсичных веществ в сточных водах затрудняет создание достаточно эффективного способа их очистки.

Химические методы недостаточно эффективны и повышают уровень минерализации воды. Биологическая очистка требует длительной обработки и создания громоздких сооружений. Поэтому сейчас возрос интерес к радиационно-химическим методам очистки. Способ основан на обработке сточных

вод ионизирующим излучением, например, при их пропускании через баки, в которых находятся контейнеры с радиоактивными изотопами <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs и т. п. Достаточные меры предосторожности — помещение изотопов в двойные ампулы, герметизация и применение надежных коррозионноустойчивых материалов — полностью предотвращают попадание радиоактивных изотопов в сточные воды и облучение персонала. Малые энергии  $\gamma$ -излучения источников (ниже пороговых энергий ядерных реакций) исключают возможность наведенной радиоактивности и в то же время позволяют обрабатывать слои воды толщиной около 1 м. Под воздействием ионизирующего излучения в сточных водах начинаются процессы окисления и полимеризации, в том числе процессы с цепным механизмом, что приводит к большим радиационно-химическим выходам продуктов деструкции токсичных веществ на единицу затраченной энергии. В результате вредные вещества не только разрушаются, но и захваченные за счет процессов адсорбции и сокристаллизации образующимся твердым осадком выводятся из сточных вод.

На Светлогорском целлюлозно-бумажном комбинате в результате обработки ионизирующим излучением от источника <sup>137</sup>Cs удалось очистить конденсаты выпарных цехов от токсичных, коррозионно-активных серусодержащих соединений с крайне неприятным запахом; они превращены в нетоксичные или малотоксичные углеводороды и полисульфиды; около 95 % всех продуктов радиолитического превращения составили дисульфиды. Особенно эффективно сочетание ионизирующего излучения с аэрацией очищаемой воды. При такой комплексной очистке доза ионизирующего излучения, вызывающая радиационно-химические превращения, снижена до 1—2 кГр, кроме того, удалось получить очищенную воду, пригодную для повторного водоснабжения любого участка комбината.

Вестник Белорусского государственного университета им. В. И. Ленина, сер. 11, 1985, № 1, с. 18—21.

Гидромеханика. Физиология

## Повышение устойчивости животных к гипобарической гипоксии

Исследователи Института механики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова установили, что введение в кровь животных специальных линейных высокомолекулярных соединений изменяет гидродинамические параметры системы кровь — сосуды. Так, существенно уменьшается гидродинамическое сопротивление сосудистой сети потоку крови, содержащей некоторое количество полиэтиленоксида (молекулярная масса  $4 \cdot 10^6$  а. е.); при этом поперечное сечение сосудов не изменяется.

Установлено, что действие небольших добавок линейных полимеров имеет не регуляторную или биохимическую, а чисто гидромеханическую природу. В малых концентрациях ( $1 \cdot 10^{-6}$  —  $5 \cdot 10^{-5}$  г/мл), которые и использовались в опытах, полимеры не изменяют сечения кровеносных сосудов и не меняют вязкости крови; при увеличении концентрации до  $5 \times 10^{-4}$  г/мл вязкость крови даже несколько увеличивается. Но, как оказалось, эти добавки особым образом влияют на кватрбулентность, вторичные течения и вихревые образования в потоке крови, снижая тем самым гидродинамическое сопротивление потоку и увеличивая кровоток.

Особенно эффективно воздействие полимеров при резком нарушении кровообращения: массивных кровоизлияниях, циркуляторной ишемии мозга, при подключении к аппаратам искусственного кровообращения и т. п. Внутривенное введение в кровь животных полимерного раствора, резко уменьшая сопротивление сосудистой сети, способствует быстрой ликвидации спазма в мелких сосудах, вовлечению в циркуляцию депонированной крови и восстановлению гемодинамических показателей. При перевязках сонных и позвоночных артерий

введением полимера можно предотвратить развитие тяжелой ишемии мозга за счет увеличения кровотока в обход основных (перевязанных) кровеносных сосудов.

Были проведены эксперименты по выяснению влияния внутривенного введения полимерных добавок на выживаемость животных в условиях разреженного воздуха и кислородного голодания. Эксперименты показали, что смертность в группах животных, которым в кровяное русло был предварительно введен полимерный раствор, после помещения их в откачиваемые камеры с давлением воздуха 210 мм рт. ст. была существенно ниже, чем в контрольных группах.

Доклады АН СССР, 1985, т. 283, № 2, с. 339—340.

#### Биофизика

### Могут ли споры выжить в межзвездном пространстве?

Многие ученые считают, что пока основные механизмы перехода от химической к биологической эволюции не установлены, нет достаточных оснований принять или отвергнуть гипотезу случайного попадания биомолекул на Землю из космоса<sup>1</sup>. Более уместна и доступна экспериментальной проверке другая постановка вопроса — пусть жизнь уже возникла из добиологической материи (на Земле или вне ее). Существует ли возможность ее перенесения через открытый космос к другим звездным системам?

Для ответа на этот вопрос следует оценить эффекты трех основных факторов, разрушительных для живых объектов в межзвездном пространстве. 1) Вакуум. Даже в так называемых плотных межзвездных облаках давление не превосходит  $5 \cdot 10^{-13}$  миллибар. 2) Космические лучи. Наибольшее повреж-

дение ожидается от ультрафиолетового излучения. 3) Низкая температура. Она не превышает 10 К.

Дж. Гринберг (J. M. Greenberg) и П. Вебер (P. Weber) из Астрофизической лаборатории Лейденского университета (Нидерланды) исследовали действие названных факторов, имитируя их в лаборатории, на споры бактерий *Bacillus subtilis*. По результатам экспериментов авторами описан целый ряд характерных повреждений в молекулах ДНК и белков. В частности, обнаружено, что под действием УФ-излучения при температуре 10 К в ДНК возникают изменения, не устранимые никаким из известных репарационных механизмов клетки. Отмечено, что, вопреки ожиданиям, вакуумный ультрафиолет повреждает клетки значительно меньше, чем излучение в остальной области солнечного спектра.

По оценкам, проведенным на основании полученных результатов, в условиях межзвездного пространства за время порядка ста лет выживает лишь 10% спор. Это значение слишком мало, чтобы вероятность панспермии была ощутимой. Однако для плотных облаков вещества те же оценки дают более значительный процент выживаемости в течение миллионов лет. Авторы считают, что за пределами земной атмосферы споры бактерий способны выжить, лишь попав в окружение материала, ослабляющего интенсивность УФ-излучения по крайней мере в  $10^9$  раз. Соответствующее окружение могло бы возникнуть в результате выброса продуктов взрыва, например при столкновении с метеоритами или кометами.

Nature, 1985, v. 316, p. 403—408 (Великобритания).

#### Молекулярная биология

### К механизму процесса оплодотворения

Процесс оплодотворения у млекопитающих весьма сложен и носит многоступенчатый характер. В последние годы по-

лучены данные, позволяющие представить некоторые его этапы лучше. Для того чтобы попасть внутрь яйцеклетки, сперматозоид должен преодолеть так называемую zona pellucida — оболочку, покрывающую женскую половую клетку. Оказалось, что эта процедура весьма специфична. Сперматозоид преодолевает внешнюю оболочку яйцеклетки не как снаряд, пробивающий стену, а постепенно, предварительно прикрепившись на внешней стороне этой оболочки. Прикрепление происходит в определенном месте, где имеется специальный рецептор. Предварительные данные позволили установить, что важную роль в прикреплении сперматозоида играет белок ZP3, который активно синтезируется яйцеклеткой в процессе ее созревания.

П. Вассерман (P. M. Wasserman) из Гарвардского университета (США) в исследованиях, проведенных на мышах, обнаружил группу сахаров на поверхности белка ZP3, которые служат местом прикрепления сперматозоида. После фиксации сперматозоида на этом рецепторе, он проникает через оболочку и попадает внутрь яйцеклетки, завершая процесс оплодотворения. Затем белок ZP3 с внешней оболочки исчезает, и тем самым создается препятствие для фиксации и проникновению внутрь других сперматозоидов.

Cell, 1985, v. 41, № 2, p. 313—315 (Великобритания).

#### Молекулярная биология

### Белок, стимулирующий рост кровеносных сосудов

Биохимиком из Гарвардской медицинской школы (Бостон, США) под руководством Б. Волли (B. L. Vallee) удалось выделить в чистом виде и исследовать ангиогенин — белок, стимулирующий ангиогенез — процесс развития кровеносных сосудов. Интерес к ангиогенину вызван прежде всего тем, что ангиогенез играет важнейшую роль в росте и метастазировании опухолей.

<sup>1</sup> См.: Крылов И. Н. Древнейшие следы жизни. — Природа, 1985, № 9, с. 68.

Ангиогенин был выделен из питательной среды, на которой выращивалась культура карциномы человека. В очень малых количествах (3,5 пикомоля) белок вызывал рост кровеносных сосудов в роговице кроликов. Первичная структура ангиогенина весьма сходна со структурой фермента рибонуклеазы (гомология составила 35%), причем она включает аминокислотные остатки, существенные для каталитической активности рибонуклеазы. Авторы предполагают, что они определяют и ангиогенную активность нового белка.

В лаборатории Волли был клонирован человеческий ген, кодирующий ангиогенин. Этот ген состоит из непрерывной последовательности оснований, т. е. не включает интронов (некодирующих элементов гена), что значительно облегчает его выделение и генно-инженерное использование для синтеза ангиогенина. Это, в свою очередь, будет способствовать выяснению механизмов регуляции ангиогенеза. Новый белок может найти применение в клинике сердечно-сосудистых заболеваний (например, ишемии миокарда). Ингибиторы же ангиогенина удастся, возможно, использовать для лечения злокачественных опухолей.

Biochemistry, 1985, v. 24, № 20, p. 5480—5499 (США).

#### Молекулярная биология

### Иммунотоксины против рака

В Техасском университете (США) Э. Витэта (E. Vitteta) и Дж. Ур (J. W. Uhr) исследуют возможность использования комплексов антител с токсинами. Эти комплексы названы иммунотоксинами. И биологи, и медики нуждаются в средстве избирательного поражения тех или иных клеток организма (например, подверженных злокачественному перерождению). Необходимой избирательностью к поверхностным белкам различных клеток облада-

ют антитела, но они не способны уничтожать эти клетки. Поэтому и возникла идея к антителам присоединить токсины.

Среди последних чаще используются токсины растений, и прежде всего рицин. Молекула рицина состоит из двух разных полипептидных цепей, причем токсичность связана только с одной из них (А-цепью) и обусловлена способностью А-цепи тормозить синтез белка в клетке. Авторы использовали комплексы антител только с одной А-цепью.

Иммунотоксины резко снижают синтез белка в тех клетках, к которым специфичны применявшиеся антитела. Очевидно, что это связано с проникновением всего комплекса внутрь клетки. Сейчас проводится работа по клонированию гена рицина, и, возможно, удастся получить гибридные антитела, которые, с одной стороны, будут обладать способностью реагировать с нужной клеткой, а с другой — нести ту часть А-цепи рицина, которая непосредственно отвечает за торможение синтеза белка.

Cell, 1985, v. 41, № 3, p. 653—654 (США).

#### Генетика

### Как выключить синтез специфического белка в клетке!

Исследователи из Института имени М. Планка (ФРГ) под руководством У. Розенберга (U. V. Rosenberg) сумели решить эту задачу методами генной инженерии. В качестве мишени был выбран ген K<sub>g</sub> (K<sub>g</sub>rüpel) плодовой мушки, дрозофилы. Этот ген контролирует синтез белка, который функционирует на ранней стадии эмбрионального развития насекомого и управляет сегментацией зародыша. Личинки-мутанты по гену K<sub>g</sub> обладают уникальным фенотипом — у гомозигот отсутствуют пограничные сегменты груди и брюшка.

В пробирке была синтезирована мРНК, соответствующая

незначущей (несчитываемой) цепи ДНК гена K<sub>g</sub>. Эта мРНК комплементарна к молекуле РНК, синтезируемой в клетке и служащей матрицей для синтеза белка. Идея состояла в том, чтобы инактивировать значащую матрицу путем ее гибридизации с комплементарной мРНК. В зародыш на стадии дробления инъекцировали синтезированную мРНК. Эффект проявился на стадии личинки в виде характерного мутантного фенотипа Krüppel.

Механизм, по которому незначущая цепь мРНК блокирует значащую и тем самым — функцию гена, достоверно неизвестен. Гибридизация может происходить в ядре, снимая препятствие для активности ферментов, расщепляющих РНК, или блокируя транспорт мРНК в цитоплазму. Возможно, гибридизация происходит уже в цитоплазме, так что инактивируется только трансляция. Подобный механизм нормальной регуляции трансляции известен для некоторых бактериальных генов. Как бы то ни было, установлено, что введение в клетку незначущей цепи РНК гена K<sub>g</sub> инактивирует этот ген, что приводит к выключению синтеза специфического белка.

Nature, 1985, v. 313, p. 703—705 (Великобритания).

#### Биохимия

### Прижизненное окрашивание нервных клеток

Одна из основных методологических проблем экспериментальной нейрофизиологии состоит в прижизненном определении групп нейронов по типу продуцируемых ими нейромедиаторов. Нейроны изучаются, как правило, с использованием сложных гистохимических методик и только в тех случаях, когда тип нейромедиатора известен заранее. Новый способ маркировки нейронов предложен сотрудниками Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР П. М. Балабаном, И. С. Захаровым и В. Н. Мацем.

В качестве клеточного маркера-красителя использовался 5,7-диокситриптамин (5,7-ДОТ), отличающийся от нейромедиатора серотонина только одной гидроксильной группой. При введении бесцветного 5,7-ДОТ в полость тела виноградской улитки *Melix lukorum* нейроны, взаимодействующие с серотонином, окрашивались в коричневый цвет. Это свидетельствует о том, что происходил захват этого вещества нейронами, причем синаптические выходы нейронов оставались неповрежденными. Находящиеся рядом крупные нейроны ганглиев мозга, для которых нейромедиатором служит дофамин, своей окраски не изменяли, что говорит о высокой избирательности метода. Группы нейронов, выявленные с применением 5,7-ДОТ, точно совпали с зонами серотонинэргических нейронов, обнаруженными другими методами.

Окраска, которую придают нейронам находящиеся в их цитоплазме коричневые гранулы, сохранялась даже после стандартных гистологических процедур фиксации формалином, заливки в парафин и приготовления срезов. Что касается механизма возникновения окраски, то он, по мнению авторов, заключается в том, что 5,7-ДОТ распадается в цитоплазме нейрона с образованием не выводимых из нее окрашенных веществ. Результаты эксперимента позволяют надеяться, что данный метод может применяться для идентификации нейронов, продуцирующих медиаторы других типов. Для этого необходимо освоить синтез соответствующих аналогов, способных проникать в нейроны, не повреждая их, и распадаться там с образованием окрашенных продуктов.

Доклады АН СССР, 1985, т. 283, № 3, с. 735—738.

#### Биохимия

### Влияние дибунула на эндокринную систему

Свойство дибунула (4-метил-2,6-дигрбтилфенола) тормозить окисление липидов

применяется в клинике при лечении раковых опухолей, ожогов и трофических язв, для профилактики ишемической болезни и атеросклероза. По некоторым данным, дибунол может увеличивать продолжительность жизни животных при регулярном введении его в пищевой рацион<sup>1</sup>. Известно, что важнейшую роль в поддержании жизнеспособности организма играет эндокринная система. С целью выяснения антиокислительного действия дибунула *in vivo* В. В. Фролькис, Е. Н. Горбань и В. К. Кольтовер (Институт химической физики АН СССР, Институт физиологии АМН СССР) изучали влияние дибунула на функционирование трех желез эндокринной системы: аденогипофиза, коркового вещества надпочечников и щитовидной железы.

Эксперименты проводились на взрослых (4—6 мес) и старых (24—26 мес) крысах-самцах. Препарат дибунула вводили крысам в расчете 100 мг на 1 кг массы животного. Определялись концентрации гормонов в плазме крови. Оказалось, что динамика изменений концентрации каждого гормона во времени после введения дибунула имеет колебательный затухающий характер, причем у старых крыс она несколько сглажена. Под влиянием дибунула происходят существенные сдвиги в эндокринной системе, затрагивающие как аденогипофиз, так и соответствующие периферические железы-мишени (т. е. железы, реагирующие на тот или иной гормон).

На основе данных проведенной работы находят объяснение сведения о разнообразном влиянии дибунула на активность многих ферментов и функции сердечно-сосудистой системы, печени, легких, почек. В частности, динамика вызываемых дибунолом изменений антиокислительной активности липидов тканей животных отражает, по мнению авторов, адаптацию клеток к изменениям окислительного и липидного метаболизма. Дибунол, воздействуя на эндокрин-

ную систему, вызывает, в сущности, стрессовое состояние. Можно предположить, что при регулярном введении в рацион, действуя на мягкий стрессовый фактор, дибунол «тренирует» эндокринную систему и, тем самым, повышает ее надежность (адаптационные возможности). Именно этот своеобразный эффект «тренинга» может лежать в основе лекарственных свойств дибунула и его свойства увеличивать продолжительность жизни в экспериментах на животных.

Доклады АН СССР, 1985, т. 284, № 2, с. 499—502.

#### Иммунология

### Как Т-лимфоциты узнают антигены

Для того чтобы организм смог ответить иммунной реакцией на появление разнообразных чужеродных антигенов, последние должны быть прежде всего узнаны основными клеточными компонентами иммунной системы — лимфоцитами, а точнее — специальными антигенными рецепторами, расположенными на их мембранах. У В-лимфоцитов такими рецепторами служат иммуноглобулины. Природу рецепторов Т-лимфоцитов долго не удавалось выяснить, и лишь в самое последнее время достигнуты решающие успехи. Установлено, что молекула рецепторов строится из двух главных полипептидных цепей —  $\alpha$  и  $\beta$ . Было показано, что  $\beta$ -цепь слагается из двух участков, кодируемых двумя разными генами — варибельным и постоянным. Варибельный ген, в свою очередь, построен из трех сегментов ДНК (V, J и D).

Новые результаты получены сразу тремя группами исследователей. Л. Худ (L. Hood) с сотрудниками из Калифорнийского технологического института (США), С. Тонегавы (S. Tonegawa) с сотрудниками из Масачусетского технологического института (США) и Т. Мак (T. W. Mak) с сотрудниками из Университета Торонто (Канада) опубликовали данные о строе-

<sup>1</sup> См.: Дибунол и старение организма.— Природа, 1985, № 8, с. 111.

нии генов  $\alpha$ -цепей. В принципе оно оказалось сходным со строением генов  $\beta$ -цепей. Отмечено лишь, что варибельный ген  $\alpha$ -цепей складывается не из трех, а из двух сегментов ДНК (V и J). Пока не совсем ясно, какое участие в построении рецептора Т-лимфоцитов принимает еще одна пептидная цепь ( $\gamma$ ), варибельная часть которой также кодируется двумя или тремя сегментами ДНК. У всех цепей есть выраженное сходство с пептидными цепями иммуноглобулинов. Отмечено, например, сходное расположение некоторых аминокислотных остатков, стабилизирующих третичную структуру молекулы, которая имеет общие черты у обоих типов белков.

Авторами сделаны первые предположения о природе механизмов, ответственных за разнообразие рецепторов Т-клеток. Основное внимание уделяется накоплению мутаций генов в ходе эволюции (например, у мышей имеется не менее 40 разных  $\alpha$ -генов и 21  $\beta$ -гена). Показаны вариации в сочетании разных V- и J-сегментов при образовании одного варибельного гена. Современные темпы исследований позволяют надеяться, что одна из самых больших загадок иммунологии — природа узнающих антиген рецепторов Т-лимфоцитов — будет полностью разгадана в самое ближайшее время.

Nature, 1985, v. 316, № 3031, p. 783—787, 828—832, 832—836, 837—839 (Великобритания); Cell, 1985, v. 40, № 2, p. 225—229 (США).

#### Медицина

### Ингаляция инсулина при сахарном диабете

По данным Всемирной организации здравоохранения от сахарного диабета страдают 4 % населения промышленно развитых стран, а во всем мире число больных достигает 60 млн человек, причем число это ежегодно увеличивается. Несмотря на то что в настоящее время имеется ряд таблетированных препаратов, способных понижать содержание глюкозы в крови, при так

называемом инсулинзависимом типе сахарного диабета единственный способ лечения — постоянные инъекции инсулина. Больные вынуждены получать многочисленные инъекции, что связано с рядом технических трудностей и осложнений.

Американские исследователи из клиники Бостонского университета во главе с Э. Зальцманом (A. Salzman) изучали возможность ингаляционного (внутриносового) введения инсулина. Опыты проводились на группе из 45 добровольцев, больных инсулинзависимым диабетом. Инсулин применялся в виде аэрозоля с детергентом (синтетическим препаратом повышенной поверхностной активности, обладающим бактерицидным или моющим действием) laureth-9. Лекарство быстро всасывалось со слизистой носа, обеспечивая снижение содержания глюкозы в крови натощак в среднем на 50%. Увеличение концентрации глюкозы в крови больных после еды без лечения достигало 90%, а при применении инсулина — только 16 %.

К недостаткам метода можно отнести несколько больший расход инсулина в сравнении с инъекционным способом. В отдельных случаях ингаляции вызывали раздражение слизистой носа, быстро проходившее после отмены препарата.

The New England Journal of Medicine, 1985, v. 312, № 17, p. 1078—1084 (США).

#### Физиология

### Опиоидные рецепторы регулируют тератогенез

К такому выводу пришел Э. Джурэнд (A. Jurand) из Института генетики животных Эдинбургского университета (Великобритания). Самкам мышей на 9-й день беременности вводили наркотические опиоидные вещества — дицетилморфин, метадон и синтетический аналог энкефалина FK 33-824 — в концентрациях, нормально переносимых животными. У зародышей, обследованных через 4 дня, появились характерные уродства:

мозговая грыжа, перегиб хорды и растяжение желудка мозга. Аномалий в строении других органов обнаружено не было.

Картина резко менялась, если за 30 мин до инъекции опиоидов животным вводили антагонист опиоидных соединений налоксон: число уродств резко сокращалось. Способность нейротропных веществ оказывать тератогенное<sup>1</sup> воздействие была известна и ранее, автор же делает вывод о том, что система эндогенных (т. е. возникающих в организме) опиоидов и их рецепторов, выполняющая в мозге взрослого организма различные жизненно важные функции, вовлечена, кроме того, и в процесс формирования мозга зародыша. Об этом свидетельствует показанное в работе участие опиоидных рецепторов, с которыми взаимодействует налоксон, в тератогенезе развивающейся нервной системы.

Teratology, 1985, v. 31, № 2, p. 235—240 (США).

#### Физиология

### «Последовательные образы» в мышцах

Группа ленинградских физиологов под руководством В. М. Смирнова (Институт экспериментальной медицины) обнаружила, что повышение мышечного тонуса, вызванное статистической нагрузкой, сохраняется в течение длительного времени после прекращения ее действия.

В экспериментах участвовали как здоровые испытуемые, так и больные паркинсонизмом (расстройством двигательных функций), которым в лечебных целях вживлялись электроды в глубинные структуры мозга.

<sup>1</sup> Тератогенез (от греч. τέραξ — урод) — возникновение отклонений в онтогенезе, вызванное нарушением зародышевого развития или мутациями. Изучение этих отклонений помогает понять механизмы онтогенеза. (Прим. ред.)

Изучался тонус бицепса плеча во время и после нагрузки в 1 кг. Выявленное сохранение повышенного тонуса после снятия нагрузки представляет собой точный аналог так называемого последовательного образа: процессы, вызванные в анализаторах внешним воздействием, сохраняются после прекращения этого воздействия. К настоящему времени это явление достаточно полно изучено в зрительном, слуховом, вкусовом, тактильном, температурном анализаторах.

Последовательные образы в двигательных анализаторах отличаются очень большой длительностью — от десятков минут до часов, тогда как «классические» последовательные образы длятся секунды. Характеристики описанных авторами образов сходны у больных и здоровых. С помощью вживленных электродов удалось обнаружить корреляцию активности нервных клеток двух подкорковых ядер с динамикой мышечного тонуса, что говорит об участии головного мозга в регуляции этих тонических сдвигов. Авторы предполагают, что обнаруженный им феномен может рассматриваться как простое и удобное для исследования проявление «двигательной памяти».

Физиология человека, 1985, т. 11, № 3, с. 404—408.

#### Биология

### «Плодовитые» мулы

Пересадка эмбрионов млекопитающих — одна из интенсивно развивающихся областей биологических исследований. Недавно Д. Антчак (D. Antczak; Корнеллский университет, Итака, США) и У. Аллен (W. Allen; Британская ассоциация чистопородного коневодства, Кембридж, Англия) впервые получили потомство от самок мулов путем трансплантации им эмбрионов ослов и лошадей<sup>1</sup>. Ранее уже проводились исследования по пересадке эмбрионов ос-

лов — лошадям и эмбрионов лошадей — ослицам. Оказалось, что в первом случае зародыши погибают, а во втором — развиваются нормально.

Извлеченные восьмидневные эмбрионы кобыл и ослиц пересаживали в матки самок мулов. Предварительное введение гормональных препаратов мулам обеспечило соответствие стадий полового цикла реципиентов и доноров, что необходимо для успешного вынашивания пересаженного зародыша. У родившихся двух жеребят и одного осленка не обнаружили никаких отклонений в развитии. «Приемные матери» давали достаточно молока и заботились о своем потомстве.

Удалось добиться нормального развития и рождения особей двух видов в организме межвидового гибрида. Однако в задачи исследования не входила разработка методов использования мулов в коневодстве. Самки мулов выступали в качестве «нейтрального носителя» в эксперименте. С их помощью изучали роль матери и плода в определении гормональных и иммунологических характеристик беременности. В частности, установлено, что уровень гормонов беременности в крови матери определяется плодом. Отмечено наличие у кобыл необычно сильного естественного иммунного ответа на беременность (по сравнению с другими млекопитающими). Возможно, это влияет на число спонтанных абортос мулово.

Пересадка эмбрионов лошадей исследуется во многих странах, в том числе и в СССР. Вышеописанные эксперименты представляют значительный интерес в практическом и методическом аспектах.

Следует добавить, что широко распространенное мнение о полной стерильности мулов неточно. К настоящему времени известно около 30 случаев естественного размножения мулов<sup>2</sup>.

Г. Ю. Максудов  
Москва

#### Биология

### Иммунизация картофеля

Возможность иммунизации растений с целью их защиты от болезней, вызываемых микроорганизмами, в последние годы подтверждена двумя важными открытиями. Установлена способность растений при инфекции продуцировать вещества-антибиотики — фитоалексины, отсутствующие в неинфицированных тканях растений. Среди продуктов жизнедеятельности микроорганизмов выявлены биологически активные вещества — элиситоры, служащие индукторами фитоалексинов.

Л. В. Метлицкий и сотрудники (Институт биохимии им. А. Н. Баха АН СССР, Белорусский научно-исследовательский институт картофелеводства и плодовоощеводства МСХ БССР) завершили эксперимент по иммунизации картофеля от фитофтороза (болезни картофеля, вызываемой паразитарными грибами). Выделенный ими элиситор фитофтороза представляет собой липогликопротеидный комплекс (ЛГП-комплекс), в котором 57—59 % составляют липиды, 34—38 % — углеводы и 5—7 % — белки. ЛГП-комплекс не только индуцировал образование фитоалексинов в тканях картофеля при заражении фитофторозом, но вызывал целый комплекс защитных реакций растения, в которых фитоалексинам принадлежит важная, но не исключительная роль. Важной особенностью ЛГП-комплекса является его защитное действие на все растение, а не только на отдельные его части. Иммунитет сохраняется на протяжении всей жизни растений, выросших из клубней, обработанных перед посадкой ЛГП-комплексом, а также при последующем хранении полученного урожая.

Предложенный способ иммунизации картофеля основан, по видимому, на тех же принципах, что и естественные способы защиты растений, поэтому он не создает угрозы нарушения экологического равновесия в биосфере. При сопоставлении этого способа с принятой в кар-

<sup>2</sup> Genet. Res., 1981, v. 31, № 1, p. 105; Коневодство и конный спорт, 1985, № 5, с. 40.

<sup>1</sup> Science News, 1984, v. 126, № 12, p. 184.

тофелеводстве защитой от болезни с помощью фунгицидов показано, что однократная предпосевная иммунизация клубней ЛГП-комплексом не уступала защитному действию фунгицида от фитофтороза и ранней сухой пятнистости и оказалась более эффективной в защите от ризоктониоза и парши. Кроме того, авторы установили, что такая иммунизация на 10—27 % повышала урожай картофеля.

Доклады АН СССР, 1985, т. 283, № 1, с. 253—256.

### Зоология

## Бокоплав прикидывается икринкой

Американские исследователи Т. Бауман и Р. Уосмер выяснили, чем и как питаются морские рачки бокоплавы рода *Parasurphocaris*<sup>1</sup>. Эти маленькие (длина около 1 см) слепые обитатели толщи океанских вод живут в основном на глубинах 400—2000 м в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах. Три вида этого рода известны лишь по единичным находкам и ничем особенным не примечательны, разве что ярким цветом — от интенсивно-оранжевого до кораллово-красного (причем цвет сохраняется даже после многих лет хранения в спирте или формалине), да еще тем, что у них не две пары клешней, как обычно у бокоплавов, а 4—5 пар. На этом основании их считали паразитами: паразиту нужно цепляться за хозяина сильнее, чем хищнику за добычу.

Разбирая старые образцы креветок, выловленных в Тихом океане у побережья Чили, исследователи обнаружили рачков *P. praedator* под брюшком яйценосных самок *Orphorhorus novaezeelandiae* среди икринок. У каждой креветки было по од-

ному рачку, животы у которых раздулись так, что стали похожи на шарик. Размер шарика, цвет и консистенция содержимого желудков рачков вполне соответствовали крупным (около 2,5 мм в диаметре) ярко-красным икринкам. Правда, рачки крупнее, но ведь креветка вряд ли способна заглянуть себе под брюхо, а ее соседки по стае, наверно, не поднимут тревоги, если одна из икринок покажется им крупнее обычной. Понятно теперь и то, зачем бокоплаву столько клешней: креветка с помощью особой щеточки на конце первой пары ходильных ног часто чистит брюшные ножки, к щетинкам которых приклеены икринки, — бокоплаву действительно приходится держаться как можно крепче.

Похоже, однако, что *Parasurphocaris* все-таки не паразиты, а хищники. По-видимому, основную часть жизни они проводят, свободно плавая в воде. Большинство известных особей этих рачков не имели раздутого, как шар, живота. Вероятно, съев одну-две икринки, они покидают креветку и живут в толще воды, пока не проголодаются. Живут они на тех же глубинах, что и креветки, и находят креветок, скорее всего, по запаху.

Авторы полагают, что икрой креветок могут питаться бокоплавы еще как минимум шести родов семейства *Lysianassidae*, морфологически близких к *Parasurphocaris*.

**К. Н. Несис,**  
кандидат биологических наук  
Москва

### Биология

## Рыба в роли сторожевой собаки

Салат из двусторчатых моллюсков мерценарий (*Mercenaria mercenaria*) — излюбленное блюдо в восточных штатах США. Выращиванием мерценарии занимается несколько морских ферм на побережье Чесапикского залива. Личинок

получают в специальных инкубаторах, растяг до стадии донной молоди и продают морским фермерам как посадочный материал. Фермеры насыпают на дно слой щебня, размещают на нем молодь и прикрывают сверху сеткой, чтобы моллюсков не вымыло волнами. А растут они сами, если, конечно, их не съедят хищники, в особенности крабы. Чтобы этого не произошло, приходится доращивать моллюсков в инкубаторах до размера 8—10 мм, когда мелкие крабы с ними уже не справляются (хотя можно высаживать и при 3 мм). Разумеется, это сильно повышает стоимость посадочного материала.

М. Гиббонс и М. Кастанья (М. С. Gibbons, M. Castagna; Виргинский институт морских наук, США) предложили для охраны молодых моллюсков от крабов использовать рыбу-жабу (*Opsanus tau*). Эта похожая на бычка рыба средних размеров распространена вдоль всего восточного побережья США, живет на мелководьях и охраняет свой участок и кладку, издавая громкие звуки, напоминающие рычанье, ворчанье и даже пароходные гудки. 80—95 % рациона рыбы-жабы составляют ракообразные, в основном крабы. Рыбы-жабы многочисленны, ловить их нетрудно и далеко возить не нужно — живут вблизи плантаций.

Для проверки эффективности своей идеи авторы устроили экспериментальную плантацию мерценарии в бухте Брайфордс-Бей (штат Виргиния). На участке со свеженасыпанным щебнем они расставили два параллельных ряда клеток (1×1×0,6 м), дно которых обтянули противомоскитной сеткой, чтобы моллюсков не вымыло водой, а верх и стенки — сеткой с ячейей 25 мм (через нее свободно проходят молодые крабы, но рыбы и крупные хищные брюхоногие моллюски проникнуть не могут). В грунт поместили молодь мерценарии самого уязвимого размера, в среднем 3,2 мм, по 3200 экземпляров на 1 м<sup>2</sup>. В половину клеток впустили по одной рыбе-жабе (средняя длина 23 см, масса 206 г), остальные служили контролем. Через 3 недели в контрольных клетках осталось лишь

<sup>1</sup> Bowman T. E., Wosmer R. A. — Proc. Biol. Soc. Washington, 1984, v. 97, № 4, p. 844.

9,4 % моллюсков, в клетках с рыбами — 91,4 %. Через 6 недель число неохраняемых рыбами моллюсков снизилось до 1,6 %, а в клетках под охраной осталось 49,2 %. Затем, прекратив опыт, исследовали содержимое желудков рыб-жаб: в них абсолютно преобладали крабы (3 вида, 87 % пищи), остальное — раки-отшельники, брюхоногие моллюски, но ни одной мерцанрии!

Таким образом, рыбы-жабы успешно выполнили предложенную им роль «морской сторожевой собаки»: потери выращиваемых моллюсков сократились благодаря им в десятки раз. Задача теперь в том, чтобы найти наилучший способ их удержания на охраняемом объекте. Сажать рыб в клетки — не лучшее решение. Может, целесообразно всю плантацию накрывать крупноячеистой сеткой?

Aquaculture, 1985, в. 47, № 2—3, р. 101—104 (США).

#### Ботаника

### Способность растений поглощать углекислый газ через корни

Подавляющее большинство растений осуществляют газообмен (в частности, поглощают необходимый для фотосинтеза углекислый газ) преимущественно через надземные органы — листья и стебли — с помощью расположенных на них устьиц. Однако у некоторых растений устьица отсутствуют. Как происходит газообмен у таких растений?

Недавно английские ученые сообщили об особенностях фотосинтеза у стилитеса андийского (*Stylites andicola*) — редкого и уникального по своей организации растения из семейства полушниковых<sup>1</sup>. Эксперименты проводились на растениях, соб-

ранных в высокогорье Перуанских Анд. Стилитес андийский произрастает маленькими колониями на пригорках, возвышающихся над уровнем воды временно затопляемых болот. Растение имеет розетку из зеленых листьев (длиной 2—4 см) и пучок из шнуровидных корней. Непосредственно с воздухом соприкасается лишь верхняя треть хлорофиллоносной ткани листьев. Сами листья покрыты толстой кутикулой, непроницаемой для углекислого газа и паров воды. Устьиц на листьях нет.

Измеряя количество поглощаемого разными органами растения меченого <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, исследователи обнаружили, что, в отличие от других растений, углекислый газ у стилитеса андийского поступает в фотосинтезирующие части преимущественно через корни. Однако путь перемещения углекислого газа к фотосинтезирующим органам авторами не выяснен.

Способность растений поглощать углекислоту через корни и проводить ее в листья была впервые обнаружена А. Л. Курсановым и сотрудниками еще в 1951 г. Затем с помощью меченой углекислоты, ими было показано, что в корнях <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> быстро включается в яблочную кислоту и в таком виде переносится по сосудам стебля с током воды в листья. Здесь <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> высвобождается и используется для фотосинтеза. Способностью поглощать углекислый газ через корни обладают и растения, у которых много устьиц на листьях, например фасоль, однако доля углекислоты, поступающей через корни, у таких растений невелика — всего 2—4 % углекислоты, поглощаемой листьями из воздуха<sup>2</sup>.

Вероятно, авторы заметки в «Nature» не были знакомы с указанными работами.

**В. Н. Филиппенко**

Москва



Экология

### Экологическое значение хрома

Свою очередную публикацию Объединенный комитет по разработке научных критериев качества окружающей среды при Национальном научно-исследовательском совете Канады посвятил экологической роли хрома, обобщив результаты исследований за период с 1976 по 1984 г.

Биологическая активность хрома определяется в первую очередь его валентностью. Металлический хром и соединения двухвалентного хрома менее токсичны, наиболее ядовиты соединения шести- и трехвалентного хрома. В воде в основном присутствуют соединения Cr<sup>3+</sup> и Cr<sup>6+</sup>. В естественных условиях содержание хрома в водоемах невелико: в пресной воде — в среднем 1 мкг/л, в морской — 0,3 мкг/л. Обнаружено, что при концентрации в воде Cr<sup>6+</sup> порядка 0,01—0,1 мг/л фитопланктон и водоросли растут медленно (снижается содержание хлорофилла, скорость фотосинтеза заметно падает). Бактерии и вирусы более устойчивы к хрому — токсический эффект проявляется при концентрации около 1—10 мг/л. Поражение беспозвоночных обитателей водоемов отмечается при концентрации 0,01—50 мг/л, причем наиболее подвержены его воздействию дафнии. Из рыб самые чувствительные — форель и другие лососевые: у них токсический эффект наступает при уровне 0,1 мг/л, тогда как белый карп, например, выдерживает в 100 раз более высокую концентрацию. У рыб хром накапливается преимущественно в печени, почках и кишечнике; в мышечной же ткани его существенно меньше, поэтому даже при загрязнении водоемов хромом в съедобных тканях рыб содержатся безвредные для человека количества соединений этого металла.

Для наземных растений хром нельзя считать необходимым микронутриентом: даже на чрезвычайно бедных хромом

<sup>2</sup> Подробнее см.: Доклады АН СССР, 1951, т. 79, № 4, с. 685; 1952, т. 85, № 4, с. 913; 1953, т. 88, № 5, с. 934; Биохимия, 1953, т. 18, № 5, с. 632 и др.

<sup>1</sup> Kelly J. E., Osmond C. B., Raven J. A. — Nature, 1984, в. 310, № 5979, р. 694.

## Геология

## Изучается естественное обнажение океанической коры

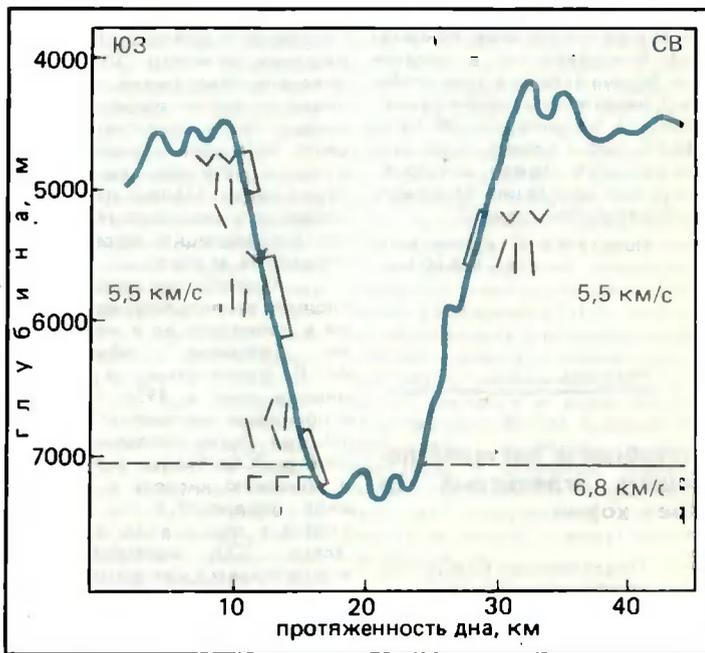
В одном из крупнейших в мире разломов — Императорском, который находится в Северо-Восточной котловине Тихого океана на глубине свыше 5 км от его поверхности, удалось исследовать разрез океанической ко-

ры в ее естественном обнажении. (До сих пор в Тихом океане был известен всего один глубокий тектонически не нарушенный разрез океанической коры — во впадине Хесса, расположенной вблизи пересечения Галапагосского рифта с Восточно-Тихоокеанским поднятием.) В Императорском разломе кора обнажена на глубину 2,5 км. В ходе 23-го (1979 г.) и 29-го (1982 г.) рейсов научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» были

почвах (концентрация не более 5 мкг/кг) урожайности культурных растений высокая. Если же содержание хрома в почве превышает 1 мг/кг, возрастает и его содержание в тканях растений, при этом оно может достигать величин, представляющих опасность для здоровья животных и человека; рост самого растения в этом случае сильно замедляется.

В организм человека хром в естественных условиях проникает через желудочно-кишечный тракт. Основной путь выведения — почки, поэтому о метаболизме хрома судят по содержанию его в моче. В организме  $Cr^{6+}$  быстро восстанавливается до  $Cr^{3+}$  и в этой форме выводится из крови; накапливается в основном в мягких тканях. При интенсивном воздействии хрома в производственных условиях могут развиваться профессиональные заболевания. Наиболее сильно хром поражает почки, печень, сердечно-сосудистую и дыхательную системы. Способен вызывать аллергические реакции: в концентрации  $0,0025 \text{ мг/м}^3$  стимулирует астматические приступы у чувствительных к нему лиц; при контакте с растворами хрома в концентрации выше 10 мг/л появляются кожные реакции. После прекращения контакта с соединениями хрома эти явления быстро проходят. Многочисленные эпидемиологические исследования доказали, что длительное воздействие хромосодержащих аэрозолей служит причиной развития рака легких. Канцерогенный эффект хрома связан с его способностью вызывать нарушение генома и защитных иммунных механизмов. В то же время недостаточное количество хрома в организме может привести к нарушению обмена углеводов и, как следствие, к развитию, например, диабетоподобного состояния.

Таким образом, в зависимости от химического состояния и концентрации хром может быть либо ценным микроэлементом, либо токсичным и даже канцерогенным веществом.



Геолого-геофизический разрез через Императорский разлом по данным глубинного сейсмического зондирования и драгировок. Драгировки позволяют охарактеризовать разрез океанической коры на глубину 2500 м.

-  Базальты
-  Дolerиты
-  Габбро
-  Интервал драгирования
-  Сейсмическая граница между вторым и третьим слоями океанической коры

проведены сейсмические и геологические работы, которые позволили Ю. П. Непрочнову, Г. Б. Руднику и Г. А. Семенову (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) детально сопоставить геофизические данные и данные о вещественном составе коры.

Земная кора в изученном районе состоит, согласно сейсмическим данным, из трех слоев: верхний, осадочный, слой имеет мощность 0—0,3 км; скорость распространения сейсмических волн составляет в нем 1,8 км/с; нижележащий, второй слой океанической коры имеет мощность 2,5 км и характеризуется скоростью 5,5 км/с; в третьем слое, имеющем мощ-

ность 3 км, сейсмические волны распространяются со скоростью 6,8 км/с. Еще ниже залегает поверхность Мохоровичича, где скорость сейсмических волн достигает 8,2 км/с.

В разломе были проведены обширные драгировки дна. Поднятые породы представлены толеитовыми базальтами, долеритами и габброидами. Все образцы шаровых базальтовых лав подняты из верхней части разреза, с глубины 4750—6100 м. Долериты встречены ниже на разных глубинах, но в основном приурочены к основанию разреза (6800—7200 м). Таким образом, мощность толеитовых базальтов близка к 1,5 км, а мощность долеритов (глубинных аналогов базальтов) достигает 1 км. Сопоставление вещественного состава коры с данными глубинного сейсмического зондирования показывает соответствие горизонта базальтов и долеритов второму слою океанической коры; его подошва залегает на глубине 2,5 км под поверхностью дна. Именно на этом уровне в разрезе коры отмечается смена долеритов габброидами, характерными для третьего слоя океанической коры.

Авторы делают вывод, что в Императорском разломе, в районе драгирования на юго-западном борту разломного трога, обнаружен почти ненарушенный разрез коры, который можно считать репрезентативным по крайней мере для всей северной половины Тихого океана.

Океанология, 1985, т. XXV, вып. 5, с. 796—800.

#### Геология

### Размещение нефти и газа в океане

В. Я. Троцюк и А. Забанбарк (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) исследовали пространственно-временные закономерности размещения нефтяных и газовых ресурсов в Мировом океане. Они сопоставили, с одной стороны, данные о выявленных запасах нефти и газа на шельфах

океанов, с другой — сведения о распределении рассеянного органического углерода  $C_{орг}$  в разрезе фанерозоя (последние 570 млн лет) как в осадках Мирового океана, так и в осадках морского происхождения на континентах. В результате установлена прямая зависимость между этими величинами для подавляющей части возрастных подразделений фанерозоя.

Основные месторождения нефти в Мировом океане приурочены, как оказалось, к отложениям верхней юры и нижнего мела. Эти же возрастные подразделения характеризуются и повышенной концентрацией рассеянного  $C_{орг}$ . На смежных стратиграфических уровнях, наоборот, значения мировых запасов нефти и органического вещества, рассеянного в осадочном чехле, синхронно понижены. Тем самым, считают авторы, устанавливается хорошо выраженная закономерность сингенетичности нефтематеринских и нефтесодержащих пород в осадочном чехле материковых окраин. Только отложения каменноугольного и четвертичного периодов не подчиняются такой закономерности. Если в отложениях четвертичного периода, не испытавших глубоких преобразований, их нефтематеринский потенциал еще не реализовался, то для значительно более отдаленного во времени каменноугольного периода просто не хватает еще надежных данных по морским месторождениям.

Наибольшие концентрации газа в океане приурочены к пермским и неогеновым отложениям.

Выявлены разные закономерности нефтегазообразования для пассивных (атлантического типа) и активных (тихоокеанского типа) окраин океанов, что объясняется существенным различием в геологическом строении, литофизических условиях, температурном режиме, присущих недрам окраин этих двух типов. В частности, на материковых окраинах Тихого океана осадочная толща в целом характеризуется пониженными значениями рассеянного  $C_{орг}$ ; к нефтесодержащим там преимущественно относятся палеогеновые отложения.

Авторы подсчитали, что

на шельфах в песчанистых отложениях сосредоточено около 25 млрд т, а в известковых — около 29 млрд т разведанных запасов нефти. Это, по их мнению, в совокупности подтверждает на новом значительном массиве данных идею об осадочно-миграционном происхождении нефти и горючего газа.

Океанология, 1985, т. XXV, вып. 5, с. 791—795.

#### Геология

### 102-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

В 102-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн», который проходил в марте — апреле 1985 г. в западной части Атлантического океана<sup>1</sup>, выполнялись геофизические скваженные измерения в одной из ранее заложённых скважин — 418А. Эта глубоководная скважина бурилась восемь лет назад в 52-м и 53-м рейсах «Гломара Челленджера»<sup>2</sup> на древней океанической коре, имеющей возраст 110 млн. лет. Общая глубина скважины 868 м, из них нижние 545 м были пройдены по базальтам ложа океана.

Участники рейса, которыми руководили М. Солсбери (M. Salisbury; Скриппсовский океанографический институт, Сан-Диего, США) и Дж. Скотт (J. Scott; Геологическая служба США), сначала потребовалось вскрыть ряд пробок, образовавшихся из осадков в стволе скважины за прошедшие годы, а затем был проведен ее коротаж широким комплексом геофизических методов. С участием судна сопровождения «Фред Мур» (США) выполнялись сейсмические наблюдения.

Сейсмический коротаж показал, что древняя оке-

<sup>1</sup> См. также: Глубоководные исследования в океане продолжаются. — Природа, 1985, № 9, с. 114.

<sup>2</sup> Подробнее см.: Перце в Н. Н. 52-й и 53-й рейсы «Гломара Челленджера». — Природа, 1978, № 4, с. 142.

ническая кора сверху вниз по разрезу обладает значительной однородностью. В процессе ее «старения» трещины, поры, промежутки между отдельными слоями базальтовых лав, которых особенно много в верхней части молодой коры, заполнялись продуктами подводного «выветривания» — глинами, карбонатным материалом. Это и придало базальтам выявленную однородность. Сейсмический слой 2а (самый верхний низкоскоростной слой молодой базальтовой коры океана) в разрезе скважины 418А отсутствует. Сейсмические исследования с приемником сигналов, установленным в скважине, показали, что древняя океаническая кора анизотропна. Эта анизотропия создается, как известно, в рифтовой зоне в процессе спрединга. Следовательно, первичная структура коры в ходе геологической эволюции в целом сохраняется.

JOIDES Journal, 1985, v. XI, № 2, p. 5—7, 35—38 (США).

#### Океанология

### Цирконий и титан на дне моря

В июне 1985 г. научно-исследовательское судно «Дж. У. Пауэлл», принадлежащее Геологической службе США, совершило рейс вдоль восточного побережья США — от штата Флорида до южной части штата Вирджиния. При этом выполнялись сейсмическое профилирование с высоким разрешением методом отраженных волн, драгирование донных пород и виброрейс сейсмическое зондирование дна в заранее отобранных для этого точках. Благодаря этим работам на дне Атлантического океана у берегов штатов Вирджиния и Джорджия обнаружены россыпные месторождения тяжелых металлов.

Вибрационное зондирование показало, что залежи не только имеют большое горизонтальное простираение, но и довольно глубоко залегают под по-

жем океана. Горизонтальное их распространение, по-видимому, повторяет древние очертания морского побережья этого района Северной Америки.

Концентрации циркония и титана в залежах ильменита достигают в исследованных районах по меньшей мере 3—10% (обычно экономически выгодной для разработки таких месторождений на суше считается концентрация от 3 до 5%). Известно, что цирконий служит важным элементом для металлургической и стекольной промышленности, титан же широко используется в аэрокосмической, химической промышленности. Взятые на борт судна образцы подвергают также анализу, чтобы установить присутствие в них редкоземельных и драгоценных металлов.

Ряд фирм и компаний США обсуждают возможность коммерческой эксплуатации открытых залежей.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union), 1985, v. 66, № 29, p. 545 (США).

#### Вулканология

### Статистический анализ вулканических извержений

С совершенствованием методов наблюдения за сейсмической и вулканической активностью число регистрируемых отдельных вулканических событий непрерывно растет, и каждое из них получает не только качественные, но и количественные характеристики. Достаточно полные сведения о вулканической активности имеются с 1750 г., их объем дает представительную статистику для анализа временных закономерностей вулканического процесса на планете.

Такой анализ провели А. Н. Земцов и А. А. Тронь из Института вулканологии ДВНЦ АН СССР (Петропавловск-Камчатский) и Специальной астрофизической обсерватории АН СССР (Пулково). Они использовали два относительно неза-

висимых каталога<sup>1</sup>, в которых собраны данные о всех известных за историческое время извержениях. По обоим каталогам построены временные ряды, при этом в качестве начального момента временных рядов взят 1800 г. (длина ряда по данным первого каталога 175 лет, по данным второго — 180 лет).

Временные ряды годичного числа извержений вулканов мира демонстрируют устойчивый рост. Совпадающим признаком обоих временных рядов являются максимумы, соответствующие периоду в 22 года. На 22-летнюю цикличность вулканической активности обращалось внимание и прежде, сейчас это подтверждено корректными статистическими оценками.

Однозначная интерпретация 22-летнего цикла встречает трудности, однако ясно, что этот цикл следует связывать с механизмами передачи энергии напряжений в кору и мантию извне, так как характерные периоды изостатических и тектонических движений, способных стимулировать глобальную вулканическую активность планеты, много больше —  $10^4$ — $10^8$  лет. Глобальным механизмом такого типа могут быть изменения угловой скорости вращения Земли с 22-летним периодом.

Представляет интерес близость статистически подтвержденного периода вулканической активности 19-летнему периоду в числе сильных землетрясений на Камчатке.

Доклады АН СССР, 1985, т. 285, с. 582—585.

#### Палеонтология

### Так кто же это — археоптерикс!

Этому вопросу была посвящена специальная Международная конференция, состояв-

<sup>1</sup> Гушеченко И. И. Извержения вулканов мира (каталог). М., 1979; Simkin T. et al. Volcanoes of the World. Stroudsburg (USA), 1981.

шаяся в сентябре 1984 г. в Айхштетте (ФРГ). В научном мире археоптерикс (*Archaeopteryx lithographica*) стал известен в 1861 г., когда его описал Г. фон Мейер — то ли как древнейшую из птиц, то ли как рептилию, покрытую перьями. Первая информация о находках ископаемых животных с перьями появилась еще в 1820 г.— они были обнаружены в каменноломных Баварии, где добывались сланцы, однако в руки специалистов не попали. Сейчас имеется 5 скелетов археоптериксов различной сохранности. Все они найдены в Баварии, в долине р. Альтмюль, в сланцах верхнеюрской эпохи (титонский ярус, около 150 млн лет назад). Расстояние между крайними точками находок — почти 60 км. Любопытно, что эти 5 экземпляров получили «личные» имена по местам сегодняшнего хранения в музеях (лондонский, максбергский и т. д.), а не по местам находок (в окрестностях Золенгофена, Паппенгейма и др.), как обычно принято. Кроме названных скелетов к археоптериксу относят еще один отпечаток пера из тех же сланцев близ Золенгофена, а в 1984 г. румынские ученые Е. Кесслер и Ю. Юрчак сообщили о находке двух костей археоптерикса в отложениях нижнего мела (130—140 млн лет назад) на северо-западе Румынии<sup>1</sup>. Замечательно, что в данном случае вместе с костями археоптерикса найдено много фрагментов костей типичных птиц.

Изучение археоптерикса немало дало для науки: послужило первым ярким палеонтологическим свидетельством в пользу эволюционной теории Ч. Дарвина (напомним, что археоптерикс был описан всего через два года после выхода «Происхождения видов»), подтвердило теорию происхождения птиц от пресмыкающихся и теорию переходных форм в эволюции, позволило установить несколько важных закономерностей исторического развития организмов, в частности неравномерность

темпов преобразования различных органов и их систем в филогенезе, и т. д. В то же время по вопросам систематической принадлежности самого археоптерикса, его биологического облика и образа жизни ученые до сих пор не имеют единого мнения.

На конференцию съехало больше 80 специалистов из многих стран Европы, Северной Америки, Австралии<sup>2</sup>. Предполагалось собрать вместе все экземпляры археоптериксов, однако предоставили их только музеи городов Гарлема (Нидерланды) и Айхштетта; администрация Британского музея естественной истории не разрешила вывозить из Лондона уникальный экспонат (правда, о нем был показан детальный цветной видефильм), берлинский экземпляр во время конференции экспонировался в палеонтологической выставке в Японии, а максбергский до сих пор находится в руках частного коллекционера, оставшегося глухим к призыву показать его участникам конференции. После трех дней работы специалисты, среди которых были не только палеонтологи, но и биомеханики, физики, зоологи, геологи, пришли к нескольким согласованным решениям.

Итак, известно, что в эпоху археоптериксов на территории современной Баварии господствовал жаркий и сухой климат. В глубокой, до 200 м, лагуне отложилась мощная толща мелкозернистого осадка, через миллионы лет превратившегося в сланцы. Лагуна была обрамлена мертвыми рифами из водорослей и губок. На дне лагуны существовали анаэробные условия, способствовавшие сохранению попадавших на дно животных. Сланцы донесли до нашего времени многочисленных насекомых, летающих ящеров — птерозавров, мелких наземных динозавров, а также рыб, акул, ихтиозавров, крокодилов и разнообразных беспозвоночных моря. Из растений найдены кустар-

никового вида хвойные и водоросли. Археоптериксы могли жить на прилегающей к лагуне суше или на небольших рифовых островах. Так от какой же из групп рептилий произошел археоптерикс — от текодонтов (мелких пермо-триасовых рептилий из подкласса архозавров), от древних крокодилов или от тероподных динозавров? Каковы его родственные связи с ископаемыми и современными птицами? Какой образ жизни он вел — древесный или наземный?

Наиболее вероятно считать предками археоптерикса тероподных динозавров. Было принято полагать археоптерикса птицей, способной к полету, однако веские обоснования получила гипотеза боковой линии археоптериковых в эволюции рептилий, иначе говоря, он не обязательно был прямым предком современных птиц. Археоптерикс вел наземную жизнь, это было хорошо бегающее двуногое животное, но мог и лазать по деревьям. К полету, скорее всего, перешел через планирование.

**Е. Н. Курочкин,**  
кандидат биологических наук  
Москва

#### Археология

### Возраст наскальной живописи Каповой пещеры

Наскальная живопись Каповой пещеры на р. Белой в Башкирии широко известна специалистам и у нас в стране, и за границей. Напомним, что она была открыта и предварительно описана в 1959 г. зоологом А. В. Рюминым, а затем в течение многих лет детально исследовалась О. Н. Бадером<sup>1</sup>. К настоящему времени на обоих этажах пещеры выявлено около 40 красочных изображений: реалистические рисунки мамонтов, лошадей, носорога, бизона и разнообразие символические

<sup>1</sup> Kessler E., Jurcsák J.—*Trav. Mus. hist. natur, Gr. Antipa*, 1984, v. 25, p. 393.

<sup>2</sup> Подробнее см.: J. Vertebrate Paleontol., 1985, v. 5, № 2, p. 177; Nature, 1985, v. 313, № 6002, p. 435.

<sup>1</sup> Бадер О. Н. Капова пещера. Палеолитическая живопись. М., 1965.

знаки геометрической формы. Выполненные на стенах красной, коричневой и черной минеральными красками, они группируются в нескольких залах и при этом нередко находятся в труднодоступных местах. По расположению в пещерных полостях, а также по технике исполнения и сюжетам эти рисунки в своих основных чертах сходны со знаменитыми франко-кантабрийскими позднепалеолитическими наскальными рисунками Западной Европы. Поэтому позднепалеолитический возраст живописи Каповой пещеры в целом не вызывал сомнений. Однако до недавнего времени не удавалось уточнить возраст живописи по геологическим и другим данным. Нельзя было ответить и на вопрос о ее культурной принадлежности, поскольку в пещере не находили вещественных археологических остатков деятельности первобытных людей.

В 1982 г. в Каповой пещере начала работы под руководством автора экспедиция Ленинградского отделения Института археологии АН СССР. И вот в одном из отдаленных залов с настенной живописью была открыта стоянка первобытных людей с хорошо сохранившимся культурным слоем — пещера перестала быть немой. В слое обнаружены каменные орудия труда, украшения, минеральная краска разных оттенков, древесный уголь от костров, костные остатки животных. В этом же культурном слое найдена небольшая глыба известняка, отпавшая в древности от стены и сохранившая фрагмент красочного изображения животного (мамонта?). Все это впервые позволило прямо уязать наскальную живопись пещеры с конкретным культурным слоем и тем самым датировать ее на основе археологических, палеомагнитных, фаунистических и других естественнонаучных данных.

Стоянка располагается на первом этаже пещеры, в 150 м от входа, в так называемом зале Знаков. Современный пол зала лишь на несколько метров выше первой надпойменной террасы р. Белой. Культурный слой не потревожен и залегает в толще рыхлых отложений (около 3,5 м) на глуби-



Наскальные рисунки лошадей и символические трапециевидные знаки эпохи позднего палеолита, выполненные красной, коричневой и черной минеральными красками на южной стене зала Хаоса. Возраст рисунков около 15 тыс. лет.

не 50 см от поверхности. Он приурочен к кровле тяжелого суглинка и перекрывается тонкослоистым суглинком водного происхождения. Плейстоценовый возраст основной части отложений можно считать доказанным. Фаунистические остатки из культурного слоя свидетельствуют, что в период его накопления в окрестностях пещеры существовали значительные остепненные пространства, а в долине реки имелись заросли кустарников и приречные леса. Среди остеологических находок — обломок бивня мамонта, кости пещерного медведя, зайца, лисицы, песца, копытного лемминга. Археологически культурный слой определяется достаточно хорошо: он типичен для кратковременных стоянок, причем каменная «индустрия» слоя основана не на

местном, а на приносном кремневом и яшмовом сырье. Инвентарь стоянки в типологическом отношении своеобразен и не имеет пока аналогий на Урале, однако несомненно, что он характерен для комплексов довольно поздней поры палеолита.

В настоящее время для культурного слоя стоянки получена радиоуглеродным методом первая дата (по древесному углю) —  $14\ 680 \pm 150$  лет. Вряд ли эту дату можно считать окончательной. Однако она вполне согласуется с палеомагнитными, фаунистическими и археологическими данными. Таким образом, наскальная живопись Каповой пещеры была создана первобытными охотниками, скорее всего после максимума последнего оледенения, в конце позднего палеолита.

**В. Е. Щелинский**  
кандидат исторических наук  
Ленинград

## Новые оценки последствий ядерной войны для окружающей среды

Академик А. А. Дородницын  
Москва

### ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF NUCLEAR WAR

SCOPE 28

VOLUME I. PHYSICAL AND  
ATMOSPHERIC EFFECTS

A. B. Pittock  
T. P. Ackerman  
P. J. Crutzen  
M. C. MacCracken  
C. S. Shapiro  
R. P. Turco

ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES  
OF NUCLEAR WAR. SCOPE 28.  
V. 1—2. Chichester — New York —  
Brisbane — Toronto — Singapore:  
John Wiley and Sons, 1985.

Создание ядерного оружия совершенно изменило отношение к возможным последствиям войны. Разрушительная сила всего одной мощной ядерной бомбы превышает разрушительные возможности всех бомб, использованных во второй мировой войне. Однако пока запасы ядерного оружия ог-

раничивались десятками и даже несколькими сотнями мегатонн, еще можно было говорить о локальном воздействии ядерной войны, хотя, конечно, все понимали, что это «локальное» воздействие принесет смерть десяткам и сотням миллионов людей.

По мере роста запасов ядерного оружия становилось все более очевидно, что воздействие ядерной войны в случае ее развертывания в любом конкретном районе земного шара грозит стать глобальным, распространиться на всю нашу планету, всю биосферу Земли.

В 1985 г. издательство «Джон Уайли и сыновья» опубликовало двухтомный отчет Международного научного комитета по проблемам окружающей среды (СКОПЕ) «Последствия ядерной войны для окружающей среды». Отчет подводит итог работе, продолжавшейся более двух лет. В ней принимали участие около 300 ученых из 30 стран мира, в том числе и из СССР. В отчете имеется много ссылок на труды советских специалистов.

В первом томе, озаглавленном «Физические и атмосферные последствия ядерной войны», подробно описывается концепция «ядерной зимы». Во втором томе, имеющем название «Биологические и сельскохозяйственные последствия ядерной войны», рассмотрено влияние основных физических последствий ядерной войны (радиация, пожары, понижение температуры, уменьшение солнечной радиации и т. д.) на различные экосистемы.

Отчет СКОПЕ является большой, многоплановой работой. С одной стороны, тут приведены совершенно новые и даже неожиданные результаты. С другой стороны, он является весьма полным обзором современных представлений в рассматриваемых областях. Интере-

сен отчет еще и тем, что почти все полученные в нем результаты связаны с использованием математических моделей. Он подтверждает тот факт, что в настоящее время математические модели стали, по сути дела, единственным возможным инструментом прогнозирования поведения сложных систем при экстремальных воздействиях. Именно математические модели дают возможность на основании предположений о простейших деталях исследуемых явлений производить оценки реакции объекта на редковстречаемое (в данном случае, как хотелось бы думать, — невероятное) воздействие.

Обычно при экспертных оценках поведения системы, находящейся под экстремальным воздействием, каждый специалист видит один, два, много — три фактора, которые должны, по его мнению, определять характер реакции на изучаемое воздействие. И только математическая модель дает возможность учесть все факторы во всей сложности их взаимосвязи.

Качество математических моделей определяется, в первую очередь, принятыми допущениями относительно деталей составляющих процессов, их взаимодействий. По сути дела, первые четыре главы первого тома являются обоснованиями принятых допущений. Сначала анализируются исходные условия. Здесь дается оценка мировых запасов ядерного оружия, рассматриваются возможные мишени для ядерных ударов, различные стратегические военные концепции и приводятся доказательства того, что при мировых запасах ядерного оружия близких к 12 000 мегатонн (Мт) тротилового эквивалента вероятность удержать ядерный конфликт в каких-либо «ограниченных» рамках чрезвычайно мала. В качестве базы для дальнейших оценок предлагается сценарий с общей мощностью запая-

са ядерного оружия в 6000 Мт. Здесь же приводятся гипотезы о предполагаемых мишенях для ядерных взрывов и о соотношениях между числом наземных и воздушных взрывов. Это и есть так называемые «сценарии ядерной войны».

Следующая группа допущений касается распределения органического вещества в городах и прилегающих к ним районах. Затем приводятся подсчеты, сколько дыма и на какую высоту будет выброшено в атмосферу в результате многочисленных гигантских пожаров, вызванных ядерными ударами по городам и военным установкам, расположенным вблизи них. После этого оценивается количество проходящей через облака дыма солнечной и инфракрасной радиации, прослеживается перенос дыма в атмосфере и его влияние на температуру воздуха и осадки. Именно эта часть является, на мой взгляд, очень хорошим обзором современного понимания региональных и глобальных атмосферных процессов.

После описания основных допущений авторы переходят к изложению итогов модельных исследований по оценке влияния дыма на климат в различных частях земного шара. Несмотря на то что вычисления проводились с помощью различных моделей, результаты расчетов качественно весьма близки, и все они неопровержимо свидетельствуют: во всех частях земного шара должны будут произойти радикальные климатические изменения, характеризующиеся общим термином «ядерная зима» (уменьшение солнечной радиации и осадков, резкое падение температуры и т. д.).

Еще один пример успешного использования математических моделей — это приведенные в книге результаты оценок распределения радиоактивных веществ после глобальной ядерной войны при запасах оружия в 6000 Мт. Модельная оценка показала, что примерно 7% площади континентальных районов Северного полушария получит смертельную дозу радиации (более 450 рад за 48 час.) Причем вся эта территория относится к наиболее заселенным районам развитых стран.

Один из самых интересных и неожиданных результатов отчета — концепция послевоенного голода — также получен с помощью очень подробно и хорошо описанных математических моделей. Показано, что в случае довольно мягкого сценария ядерной зимы, описанного в первом томе, производство основной сельскохозяйственной продукции в умеренной зоне Северного полушария полностью прекратится по крайней мере на два года. Урожайность риса в южных районах Северного полушария из-за падения температуры и уменьшения осадков резко снизится. В результате получается, что число жертв последующего после глобальной ядерной войны голода значительно превзойдет число людей, погибших непосредственно от взрывов. При этом авторы указывают, что при оценке послевоенного сельского хозяйства они учитывают в основном влияние климатических факторов (температуры, освещенности, осадков). Учет же подрыва энергетической, промышленной (добрыня, ядохимикаты, машины) и технологической базы сельского хозяйства должен значительно увеличить число жертв послевоенного голода.

Несколько особняком стоит в отчете материал, посвященный оценке реакции отдельных компонент на воздействия, аналогичные тем, которые можно ожидать после ядерной войны. Тут рассматривается реакция растений и животных на резкое понижение температуры, освещенности и повышение радиации. Описываются стратегии различных популяций при преодолении неблагоприятных условий внешней среды. Рассмотрена чувствительность различных экосистем к совокупности неблагоприятных воздействий, вызванных глобальной ядерной войной. Делается вывод о том, что практически все экосистемы Земли сильно пострадают, многие виды растений и животных будут полностью уничтожены.

В целом можно сказать, что в настоящее время отчет СКОПЕ является наиболее полной публикацией о последствиях глобальной ядерной войны, в основе которой лежит коли-

чественный анализ практически всех факторов воздействий<sup>1</sup>, а не только качественные соображения о возможных эффектах. Помимо своего научного значения отчет СКОПЕ имеет большой общечеловеческий смысл: в нем убедительно показано, что, с точки зрения современной науки, в глобальной ядерной войне не может быть победителей и что для человечества не существует альтернатив мирному сосуществованию.

## По границе прошлого с грядущим

**В. В. Груза,**  
кандидат геолого-минералогических наук  
Ленинград

Нынешний читатель, интересующийся геологической, в том числе минералогической тематикой, избалован научно-популярной литературой. Для того чтобы заинтересовать его, одним писательским ухищрением мало. Взять новую книгу, он хочет обогатиться знаниями или увидеть уже знакомый предмет

<sup>1</sup> См. также в «Природе» № 6 за 1985 г. подборку статей «Борьба против войны, пока она не началась»: Легасов В. А., Феоктистов Л. П., Кузьмин И. И. Ядерная энергетика и международная безопасность, с. 6; Кузин А. М. Последствия ядерной войны: взгляд радиобиолога, с. 17; Голицын Г. С. Последствия ядерной войны для атмосферы, с. 22; Бударко М. И. Аэрозольные климатические катастрофы, с. 30; Стенчиков Г. Л. Математическое моделирование климата, с. 39; Свирижев Ю. М. Долговременные последствия ядерной войны — глобальная экологическая катастрофа, с. 51.



А. С. Поваренных, В. И. Оноприенко. МИНЕРАЛОГИЯ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ. Отв. ред. Е. Ф. Шнюков. Киев: Наукова думка, сер. «Научно-популярная литература», 1985, 160 с.

в неизвестном ракурсе. Книга А. С. Поваренных и В. И. Оноприенко не разочарует взыскательного читателя. Она отличается от всего уже изданного по минералогии, в первую очередь, историко-методологической направленностью. Оценка современного состояния и будущего минералогии через призму истории и методологии, содержащаяся в книге, отражает профессиональные интересы исследователей, составивших авторский дуэт. А. С. Поваренных — минералог и кристаллохимик, академик АН УССР, автор капитального труда «Кристаллохимическая классификация минеральных видов» (Киев: Наукова думка, 1966) и одновременно один из ведущих специалистов в области истории и методологии минералогии. В. И. Оноприенко — доктор философских наук, разрабатывающий общие проблемы геологии.

Обоих исследователей роднит представление, что развитие теоретических, да и вооб-

ще любых конкретно-научных вопросов, в минералогии должно базироваться на четко формулируемых исходных принципах, основой для выработки которых является анализ истории науки. Будем открытвенны, это представление, с позиций науковедения или специалиста по теории познания, тривиально. Но нужно иметь в виду, что в недрах геологии, включая минералогии, оно еще не вполне осознано. Относительно широкий интерес к методологии собственных исследований в геологии начал прорезаться лишь в самое последнее время в связи с возникновением в этой науке революционной ситуации, в связи с происходящей сменой различных составляющих парадигмы геологии. В числе энтузиастов, которые способствовали ускорению этого процесса, — и авторы рецензируемой книги.

Прошлое минералогии авторы описывают в двух ракурсах. Сначала они фиксируют общие тенденции развития минералогии, эволюции ее познавательных средств, знаний, представлений о собственном предмете. Затем они рассматривают вклад отдельных выдающихся деятелей, начиная с Г. Агриколы, Н. Стенона и М. В. Ломоносова, стоявших у истоков минералогии, и кончая Е. С. Федоровым, Г. и Л. Брэггами, В. И. Вернадским, А. Е. Ферманом, не только заложившими фундамент, но по существу и построившими на нем каркас здания современной минералогии. Исторический раздел предельно насыщен, однако здесь перечень имен и дат — не самоцель, а скорее средство для иллюстрации основных тенденций исторического развития минералогии, внутри которой родились геология, палеонтология, кристаллография, петрография, геохимия и кристаллохимия.

Первая тенденция — это постепенное ограничение множества исследуемых объектов, происходившее в процессе дифференциации синтетической области знания, которая называлась тем же термином «минералогия», но первоначально изучала и минералы, и руды, и горные породы. В результате в настоящее время значительная часть исследователей, причис-

ляющих себя к клану минералогов, ограничивает объекты изучения своей науки множеством природных кристаллических веществ.

Вторая тенденция, связанная с развитием средств познания, — углубление знаний, дополнение исследований внешними свойствами кристаллов (форма, физические свойства) исследованием их химического состава и — уже в XX в. — их атомной структуры. Соответственно, авторы выделяют в истории минералогии три периода, или этапа: физико-морфологический (с начала XVI до начала XIX в.), химический (XIX в. — первая четверть XX в.) и современный — кристаллохимический. С учетом специфики структуры минералов они и описывают особенности, которыми обладает минералогия сегодня.

Ознакомившись с соответствующими разделами, читатель получит современные сведения о свойствах химических элементов, влияющих на структуру минералов, о состоянии атомов в соединениях, о структуре конкретных минералов, о специфике минералообразующих процессов и ее влиянии на образующиеся кристаллы. Он получит представление о практических задачах минералогии наших дней. В частности, узнает, что минералогия остается во многом еще описательной наукой, теоретическая база которой не вполне удовлетворяет строгим меркам. В полном соответствии с методологическими канонами будущего прогресс минералогии авторы и связывают с построением общей теории, «способной синтезировать в единую систему все разнообразие современных научных направлений» (с. 156), причем полагают, и на наш взгляд вполне оправданно, что теория эта в основе своей может быть кристаллохимической.

Давая в целом положительную оценку книге, нельзя утверждать, что по прочтении ее у вдумчивого читателя не останутся никаких вопросов, что все будет ему предельно ясно. Но ведь не все ясно и специалистам-минералагам. Особенно в области методологии. Противоречивые точки зрения выска-

зываются о том, как строить теорию, на какие познавательные конструкции при этом опираться, да и вообще какие функции выполняют при развитии науки конструкции разных типов. Такое положение вполне естественно — не имея достаточного опыта построения строгих теорий, минералогия не может сама выработать и обоснованные нормативы, которым должны удовлетворять научные результаты, и рецепты, основываясь на которых можно получать эти результаты; не может, так сказать, опрокинуть прошлое на грядущее. Эти нормативы и рецепты можно лишь заимствовать у других областей знания, соблюдая при этом разумную осторожность. Строгих ответов на перечисленные выше вопросы читатель не найдет и в рецензируемой книге, а, учитывая опыт других наук, он, возможно, и усомнится в надежности некоторых общих авторских позиций.

Последний тезис можно иллюстрировать, рассматривая, например, разделы, касающиеся минералогических классификаций. Авторы не обсуждают вопросов о функциях этих конструкций, не перечисляют задач, которые можно решить, основываясь на них. Иными словами, авторы не обосновывают необходимости классификационных построений. Судя по контексту, они подразумевают, как само собой разумеющееся, что классификации имеют самостоятельную научную ценность и могут выступать в качестве конечного продукта науки. Однако в настоящее время существует и альтернативная точка зрения. В соответствии с ней классификации имеют вспомогательное значение, а их построение не может быть самоцелью.

Для того чтобы успешно строить классификацию, которая с позиций теории множеств представляет собой разбиение (или систему разбиений) исходного множества объектов на подмножества, необходимо по меньшей мере задать это исходное множество. В рассматриваемом случае необходимо зафиксировать множество минералов. Авторы относят к этому множеству лишь кристаллические вещества. При этом они пыта-

ются обосновать необходимость, прогрессивность такого подхода. Однако их рассуждения о том, что кристаллы являются «индивидами» и, соответственно, объектами изучения минералогии, а вещества не кристаллические таковыми не являются и, более того, не образуют «видов», скорее не мало убедительны, а просто непонятны. Это связано с тем, что авторы не определяют взятые в кавычки термины. Создается впечатление, что они допускают возможность использовать их в смысле, в какой-то степени близком тому, который вкладывают в те же слова биологи. Но эта возможность не вполне очевидна и также требует специального обоснования.

Отсутствует в книге и достаточно глубокое обоснование подхода к выбору классификационных признаков. Не вполне учитываются сложности, которые возникают в связи с непрерывностью многих признаков. В результате рекомендации авторов по вопросам классифицирования нередко приобретают вид деклараций, облеченных в излишне категоричную форму. Так, на с. 87 говорится: «Химические границы минерального вида должны быть естественными, т. е. намечаться сами собой как реальный разрыв (предел) непрерывности изменения состава минералов». Протестуя против «искусственных», с их точки зрения, построений, когда минералы, образующие непрерывные изоморфные ряды, относят к разным видам, авторы не замечают, что призывают строить классификации по «естественным» границам приводит к непреодолимой трудностям. Причин здесь много.

Одна из них заключается, например, в том, что изоморфная смесимость существенным образом зависит от термодинамических условий. Области несмесимости расширяются с понижением температуры. В принципе, если следовать рекомендациям авторов, то для разных термодинамических условий необходимо строить разные классификационные системы минералов. Чтобы построить разумное число таких систем, нужно «искусственно» разбить области возможного изменения термо-

динамических параметров на небольшое число интервалов. Иными словами, программу построения классификаций, целиком основанных на границах, которые «намечаются сами собой», вряд ли можно реализовать уже по отмеченной причине. Основная же причина заключается в условности представлений о «резких» и «нерезких» границах вообще, в условности представлений о конкретных границах, включая границы между твердыми образованиями и жидкими, между кристаллическим состоянием и, к примеру, стеклообразным.

Любой результат научной деятельности, и классификация — не исключение, является моделью действительности. Модель в каких-то аспектах правильно отражает изучаемые объекты, но в то же время содержит явные допущения, основывающиеся на других модельных представлениях. В этом смысле модель представляет собой сплав объективного и субъективного. Как говорят методологи, человек познает не только окружающий мир, как он «есть на самом деле», но и свою тень, отбрасываемую на этот мир. Основная особенность общего методологического подхода авторов и заключается в том, что они зачастую игнорируют влияние субъекта на результаты исследования и недостаточно учитывают активность его в процессе познания, в том числе при выборе классификационных признаков, при разграничении множеств объектов по этим признакам.

Существенно, что на общих методологических позициях, изложенных в рецензируемой книге, сознательно (а чаще — неосознанно) стоят многие минералоги. Это вполне закономерно, так как недоучет роли субъекта — характерная особенность познавательных концепций, появляющихся именно в рамках слабо развитых в теоретическом плане, описательных областей знания, использующих простейшие приемы познания. Лишь развитие теоретических исследований способствует пересмотру методологических положений, кажущихся на первый взгляд вполне «естественными». Первосмыс-

ливание познавательных основ — процесс, интенсивно происходящий в геологии в последние годы. Он начал затрагивать и минералогию.

Таким образом, ознакомившись с книгой А. С. Поваренных и В. И. Оноприенко, читатель получит достаточно полное представление об истории и состоянии конкретно-научной составляющей минералогии, а также и об основных особен-

ностях ее методологии. В результате он может прийти к выводу, что существуют богатые возможности для развития минералогической науки, причем эти возможности не в последнюю очередь связаны с совершенствованием в минералогии общих правил и конкретной технологии получения научного продукта.

Чтобы усилить этот вполне оптимистический мотив, мне

хотелось бы в завершение своей рецензии привести строки Леонида Мартынова, использованные авторами книги в качестве эпиграфа:

Ты не почитай себя стоящим только здесь вот, в сущем, в настоящем, а вообрази себя идущим по границе прошлого с грядущим.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Астрофизика

С. Шапиро, С. Тьюкелски. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ, БЕЛЫЕ КАРЛИКИ И НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ. В 2-х ч. Под ред. Я. А. Смородинского. М.: Мир, 1985. Ч. I. Пер. с англ. А. Д. Долгова, 256 с., ц. 2 р. 60 к. Ч. II. Пер. с англ. С. Н. Родионова, 399 с., ц. 3 р. 60 к.

В основу книги положен курс физики компактных объектов, который преподавался авторами, известными американскими астрофизиками, в Корнеллском университете. Компактные объекты — белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры — представляют собой конечные стадии эволюции звезд и являются, таким образом, одной из основных составляющих Вселенной. Вещество в этих звездах находится в сверхплотном состоянии, которого пока в земных условиях не удалось получить, а «сосудом» для удержания вещества в сверхплотном состоянии служит собственное гравитационное поле звезды.

Хотя далеко не все вопросы структуры и эволюции компактных объектов разрешены полностью, наука об этих объектах вполне сформировалась как самостоятельная область физики. Более того, некоторые из возникших в ней идей могут

оказать большое влияние на другие области физики, поскольку в компактных объектах происходят взаимодействия всех четырех типов — сильное, слабое, электромагнитное и гравитационное.

Для чтения книги не требуется предварительных знаний по астрофизике или общей теории относительности; все необходимые понятия и математические методы объяснены в тексте. Чтобы книгу можно было использовать в качестве учебника, авторы включили в нее свыше 250 упражнений.

### Космические исследования

Ю. А. Сурков. КОСМОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТ И СПУТНИКОВ. М.: Наука, 1985, 309 с., ц. 4р. 40 к.

К настоящему времени около 70 советских и американских космических аппаратов исследовали Солнечную систему от Меркурия до Сатурна. Одни из них пролетали вблизи планет, другие совершали их облет на орбитах спутников, третьи проникали в плотные слои атмосферы, четвертые садились на поверхность планет и исследовали ее. В итоге накоплен ог-

ромный объем научной информации, позволившей совершить гигантский скачок в понимании строения Солнечной системы и истории ее формирования.

В книге сделана попытка кратко изложить современные представления о планетах и спутниках, а также рассмотреть методы, аппаратуру и результаты экспериментов, на основе которых развиты эти представления. Основное внимание уделено космохимическим исследованиям планет земной группы и их спутников. Обсуждаются также главные научные задачи будущих космических полетов.

### Информатика

А. Эндрю. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ. Пер. с англ. В. Л. Стефанюка. Под ред. и с предисл. Д. А. Поспелова. М.: Мир, сер. «В мире науки и техники», 1985, 264 с., ц. 70 к.

Английский ученый Алекс Эндрю, специалист в области кибернетики, предлагает читателям совершить увлекательную «кибернетическую одиссею» и познакомиться с основными проблемами из области искусственного интеллекта: проектом универсального решателя задач,

машиной Тьюринга, перцептронами, компьютерным творчеством, перспективами диалога «человек — машина» на естественном языке, распознаванием образов. Несомненно полезны для углубленного понимания этих проблем авторские отступления в область психологии и нейрофизиологии. Большинство технических подробностей вынесены в приложения к главам. В последних главах А. Эндрю дает свой вариант ответа на поставленный в начале книги традиционный для кибернетики вопрос: «Может ли машина мыслить?» и рассуждает о сроках «человечивания» ЭВМ. Интересным для читателя будет знакомство с так называемой инженерией знания и новейшими разработками в этой области — экспертными системами, которые должны заменить работу комиссий консультантов во многих областях человеческой деятельности и смогут хранить в памяти всю информацию из данной конкретной области знания.

В предисловии редактора книги, известного советского специалиста по искусственному интеллекту Д. А. Поспелова, описаны последние, не успевшие войти в английский оригинал достижения в этой области. Кроме того, в предисловии показана историческая преемственность кибернетических идей и внутренняя логика их развития.

#### Геология

**Э. Хэллом.** ВЕЛИКИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СПОРЫ. Пер. с англ. З. В. Кабановой. Под ред. Ю. Г. Леонова. М.: Мир, 1985, 216 с., ц. 1 р. 10 к.

Английский геолог Э. Хэллом давно заслужил известность своими работами по истории геологии. Его новая книга посвящена истории борьбы взглядов по некоторым кардинальным проблемам геологии. В увлекательной форме и в то же время строго научно в ней рассказывается о борьбе непутистов и плутонистов, катастрофистов и эволюционистов, сторонников и противников теории покровного четвертичного оле-

денения, мобилистов и фиксистов и т. д. Эти знаменитые дискуссии сыграли исключительную важную роль в становлении наук о Земле.

Э. Хэллем постоянно стремится передать читателю атмосферу описываемого времени и присущую этому времени логику, а также фактическую и мировоззренческую базу тогдашней научной мысли. В книге много цитат, поскольку автор считает, что «при хорошем отборе они больше оживляют предмет, нежели бесконечное перефразирование. Некоторые цитаты относятся поистине к рангу небольших литературных жемчужин, так как геологический язык в прежние времена чаще блистал красноречием и более сочной фразеологией, чем это в обычае сегодня».

#### Археология. Астрономия

**В. Е. Ларичев.** ДРЕВО ПОЗНАНИЯ. М.: Политиздат, сер. «Беседы о мире и человеке», 1985, 112 с., ц. 15 к.

Сравнительно молодая область исследований — археoaстрономия — вызывает подчас скептическое к себе отношение, но это не охлаждает энтузиазма ее сторонников. Известный археолог В. Е. Ларичев, несомненно, очень увлечен этой проблематикой.

Исследования погребально-культового комплекса в Хакассии, проведенные В. Е. Ларичевым, позволяют ему уверенно говорить об использовании такого рода сооружений в качестве своеобразных обсерваторий и, следовательно, о сравнительно высоком уровне астрономических представлений у людей бронзового века. Эти знания были получены в процессе многих тысячелетий предшествующего опыта. И тому есть вещественные подтверждения. На костных изделиях европейского палеолита обнаружены специальные метки, фиксировавшие различные лунные фазы и имевшие, таким образом, календарное значение. Один из древнейших «вечных» календарей, возраст

которого 18 тыс. лет, найден во время раскопок возле сибирского города Ачинска. Мельчайшие лунки на поверхности изделия были объединены в специальные блоки, календарные по смыслу. Древние сибиряки, по мнению В. Е. Ларичева, не только прекрасно считали время по периодам, но и могли с большой вероятностью предсказать затмения Солнца и Луны.

#### История науки

**ГЕОГРАФИЯ РОССИИ XV—XVIII ВВ.** (по сведениям иностранцев). Сб. ст. Отв. ред. И. П. Шаскольский. Л.: Изд. ГО СССР, 1984, 103 с., ц. 80 к.

К сожалению, архивы нашей страны чрезвычайно бедны отечественными источниками по географии России допетровского времени. И хотя русская картография существует с XV в., до наших дней эти карты почти не дошли. Вот почему столь важны сохраняющиеся сочинения и карты иностранных авторов XV—XVII вв., дающие материал для изучения географии России этого периода. Несомненный интерес представляют и аналогичные документы XVIII в.

В сборнике, подготовленном Отделением истории географических знаний Географического общества СССР, дается анализ таких источников. В их числе первая подробная карта Кольского п-ова, которая была составлена голландским купцом и путешественником Симоном ван Салингеном. Рассматривается также сочинение французского капитана Жака Маржерета, где приведены многочисленные сведения о природных ресурсах, животном мире, населении и городах России XVII в. В книге представлен обширный материал по географии, гидрографии, топографии Москвы и центральных областей России, содержащийся в сочинениях польских авторов XVII в. Интересным источником по географии России последней трети XVIII в. служат дневниковые записки венесуэльского путешественника Ф. де Миранды, побывавшего в России в 1786—1787 гг.

## Игровое поведение и творческое мышление

**А. В. Гулыга,**  
доктор философских наук  
Москва

Проблема игры вошла в философию в древности. Аристотель не раз к ней обращался. Игра «существует ради отдохновения», но «игры должны подражать будущим серьезным занятиям» — его положения<sup>1</sup>. Г. Э. Лессинг в «Лаокооне» (1766) соотнес игру с искусством, отметил, что художественное восприятие «возбуждает свободную игру воображения»<sup>2</sup>. И. Кант в «Критике способности суждения» (1790) и Ф. Шиллер в «Письмах об эстетическом воспитании» (1793) уделили большое внимание проблеме игры при анализе природы прекрасного. Голландский историк и философ И. Хейзинга посвятил роли игры в системе культуры свой трактат «Человек играющий» (1939); значительное место этой проблеме отвел и западногерманский философ Х.-Г. Гадамер в капитальном труде «Истина и метод» (1960).

Все названные авторы и другие философы, писавшие об игре, использовали термин «игра» в самом широком и высоком смысле: не как способ развлечения, а как принцип поведения. Он является общим и для человека, и для высших животных. Бодрствующее живое существо не может находиться

в пассивном состоянии. Когда его активность не направлена на воспроизводство жизни (приобретение средств существования, их потребление, продолжение рода и т. д.), она обращена на самое себя. Энергия находит выход в деятельности как таковой, без постороннего результата, но по определенным правилам. Это и есть игра.

Говорят о «бесцельности» игры. Это справедливо только в том плане, что в игре интерес направлен не на привходящую, а на имманентную цель, на сам процесс. В этом плане в искусстве больше подлинной игры как типа поведения, чем в азартной карточной партии или спортивном состязании, победа в которых приносит либо престиж, либо барыш, либо и то, и другое.

Игра готовит будущую молодую особь к самостоятельной жизни. Вот мнение западногерманского педагога Д. Кампера о назначении детской игры: «В игре учится ребенок в первую очередь не определенным функциям, способностям, качествам, результатам, как полагает большинство теоретиков игры, — он учится быть человеком»<sup>3</sup>. Почему так? Почему игра формирует целостную личность?

Игровое поведение требует, прежде всего, увлеченности и состязательности. Тот, кто скучает, кто не стремится улучшить результат, портит игру. Состязание нуждается в наличии соперничающей стороны, но может обходиться и без нее. Можно состязаться с самим собой, добиваясь определенно-

го результата, а затем стремясь превзойти его. Это не знающее предела стремление заставляет человека напрягать свои силы в спорте, научном поиске, художественном творчестве, труде. Работать «играючи» — значит легко и радостно, превосходно делать свое дело. Здесь хочется процитировать Шиллера: «Человек играет только тогда, когда он в полном значении слова человек, и он бывает человеком лишь тогда, когда играет»<sup>4</sup>.

Вспомним, что Маркс говорил о наслаждении «трудом как игрой физических и интеллектуальных сил»<sup>5</sup>. Игра противостоит равнодушному прозябанию, она учит жить увлеченно и радостно.

Конечно, труд не может стать игрой. Маркс противопоставлял труд «свободной деятельности, не определяемой подобно труду, под давлением той внешней цели, которая должна быть осуществлена и осуществление которой является естественной необходимостью или социальной обязанностью»<sup>6</sup>. Игра не скована «естественной необходимостью или социальной обязанностью», это воплощение свободы.

Но не произвола! В любой игре заданы определенные правила, суть игры в их виртуозном исполнении. Играющий свободно, по собственной воле принимает заданную программу и отдает свои силы лучшему ее осуществлению.

Игровое поведение, следовательно, — достояние не

<sup>1</sup> Аристотель. Соч., т. 4. М., 1983, с. 625; 630.

<sup>2</sup> Lessing G. E. *Gesammelte Werke*. Bd. 5. B., 1968, S. 28. Во всех русских изданиях это место переведено неточно: отсутствует термин «игра».

<sup>3</sup> *Der Mensch und sein Spiel in der verplanten Welt*. München, 1976, S. 141.

<sup>4</sup> Шиллер Ф. Собр. соч., т. 6. М., 1957, с. 302.

<sup>5</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 189.

<sup>6</sup> Там же, т. 26, ч. III, с. 265.

только детей. В черновых записях Л. С. Выготского есть примечательное место: «Высшие типы воли — как игра (подстановка аффекта и мотива): героем легко быть в игре — это форма детского героизма, ему доступного — с него «довольно сего сознания». Наш героизм содержит что-то от игры. Не удовольствие от конфеты, а специфическое удовольствие игры»<sup>7</sup>. В чем состоит оно? В напряжении воли, которая увлечена возникшей ситуацией, не может отступить, изменить себе самой и наслаждается собственной твердостью.

Другой весьма существенный компонент игры — воображение. Это относится к той разновидности игры, в которой воссоздается действительность. Здесь перед нами встает проблема подражания, которая издавна занимала философию. Античные мудрецы были убеждены, что различные виды человеческой деятельности возникли благодаря мимезису (имитации) того, что происходит в природе. «От животных путем подражания, — учил Демокрит, — мы научились важнейшим делам, а именно: мы ученики паука в ткацком и портняжном ремеслах, ученики ласточек в построении жилищ и ученики певчих птиц, лебедей и соловья в пении»<sup>8</sup>. Мимезис не был прерогативой материалистических учений. Идеалист Платон также придерживался теории подражания: материальные предметы, созданные как природой, так и человеком, — воплощения идей, их копии; художник, изображая вещи, подражает подражанию.

Аристотель в «Поэтике» рассматривал подражание в качестве определяющего признака искусства. «Подражание присуще людям с детства, и они тем отличаются от прочих животных, что наиболее способны к подражанию, благодаря ко-

торому приобретают первые знания, а во-вторых, продукты подражания всем доставляют удовольствие. Доказательством этого служит то, что случается на самом деле: на что смотреть неприятно, изображения того мы рассматриваем с удовольствием, как, например, изображения отвратительных животных и трупов. Причина же этого заключается в том, что приобретать знания весьма приятно»<sup>9</sup>.

Идея Аристотеля об искусстве как подражании природе держалась вплоть до начала XIX в., когда Гегель решительным образом отверг мимезис — это «обезьяничанье», «фокусничество»: так возникают только «кунштшюки». И все же Аристотель был прав, настаивая на том, что «подражание присуще людям с детства» (хотя это обстоятельство не объясняет природы искусства).

Уже в XVIII в. были обнаружены бессознательные компоненты человеческого мышления и поведения. А. Смит положил идею бессознательного подражания в основу своего нравственного учения. Когда толпа смотрит на канатоходца, она невольно следует его движениям, наклоняясь из стороны в сторону вместе с ним. Впечатлительные люди чувствуют боль при взгляде на чужую рану. «Нередко страсти передаются, по-видимому, мгновенно от одного человека к другому без предварительного сознания о том, что вызвало их в взволнованном человеке. Например, достаточно бывает выразительного проявления во взгляде и во внешнем виде человека печали и радости, чтобы возбудить в нас тягостное или приятное впечатление. Смеющееся лицо вызывает в нас веселое душевное состояние; напротив, угрюмое или грустное лицо рождает в нас задумчивое или грустное настроение»<sup>10</sup>. Жесткие и бесчеловечные поступки, увы, также обладают высокой степенью заразительности.

В дальнейшем психология эмпирически подтвердила эти

предположения. Французский социолог Ж. Тард в книге «Законы подражания» приводит огромное множество примеров бессознательного подражания. По Тарду, «общество есть подражание, а подражание — род гипнотизма»<sup>11</sup>. Люди ведут себя, как дети, последовавшие за гамельнским крысоловом. Сегодня многое в книге Тарда представляется нам наивным, преувеличенным, ошибочным. Но факт бессознательного подражания как феномен массового сознания бесспорен. Это тому пример.

Игра принципиально отличается от бессознательного подражания. В игре всегда присутствует воображение, которое не дает слиться с объектом подражания, сохраняет по отношению к нему определенную дистанцию. Дети, играя в войну, увлечены, верят, что «это так», что происходит бой, и в то же время знают, что «это не так», никого здесь не убьют. «Подражают чему-то другому, чем то, что окружает, — более красивому, возвышенному, опасному. Ребенок становится принцем, отцом, ведьмой, тигром. При этом он почти верит, что «это так», и вместе с тем никогда не теряет представления об «обычной действительности»<sup>12</sup>. Игра содержит в себе противоречие, играющий все время пребывает в двух сферах, условной и действительной. Забыть о двойственном характере ситуации — значит прекратить игру.

Л. Н. Толстой в повести «Детство» показал, как необходимо в игре серьезное к ней отношение, убежденность в реальности несуществующего и как легко ее разрушить: «Когда, воображая, что я иду на охоту, с палкой на плече, я отправился в лес, Володя лег на спину, закинул руки за голову и сказал мне, что будто бы и он ходил. Такие поступки и слова, охлаждая нас в игре, были крайне неприятны, тем более что нельзя было в душе не согласиться, что Володя поступает благо- разумно.

<sup>7</sup> Из записок-конспекта Л. С. Выготского к лекциям по психологии детей дошкольного возраста. Приложение к кн.: Эльконин Д. Б. Психология игры. М., 1978, с. 290.

<sup>8</sup> Памятники мировой эстетической мысли, т. 1. М., 1962, с. 89.

<sup>9</sup> Аристотель. Поэтика. М., 1957, с. 48—49.

<sup>10</sup> Смит А. Теория нравственных чувств. СПб, 1868, с. 17.

<sup>11</sup> Тард Ж. Законы подражания. СПб, 1892, с. 89.

<sup>12</sup> Huisinck J. Homo ludens Reinbeck, 1956, S. 21.

Я и сам знаю, что из палки не только что убить птицу, да и выстрелить никак нельзя. Это игра. Коли так рассуждать, то и на стульях ездить нельзя; а Володя, я думаю, сам помнит, как в долгие зимние вечера мы накрывали кресло платками, делали из него коляску, один садился кучером, другой лакеем, девочки в середину, три стула были тройка лошадей, — и мы отправлялись в дорогу. И какие разные приключения случались в этой дороге! и как весело и скоро проходили зимние вечера!.. Ежели судить по настоящему, то никакой игры не будет. А игры не будет, что же тогда остается?...»<sup>13</sup>

В искусстве мы сталкиваемся с тем же «двойным существованием», с той же дуплановостью. Даже в том случае, когда художник стремится создать максимальный «эффект присутствия», т. е. правдоподобную картину действительности, зритель (или читатель) ни на какую секунду не забывает о том, что перед ним все же условный мир. Никто не бросится на помощь Дездемоне, хотя ее гибель может исторгнуть подлинные слезы.

Люди оказываются вне сферы искусства, когда они теряют из виду один из его планов. Бывает (крайне редко, но бывает), что неискушенный зритель принимает театральное действие за действительность; условный план для него не возник. (А. Таиров рассказывает в своих мемуарах, как в 1909 г. один импульсивный зритель-американец застрелил актера, игравшего Яго.) Иногда случается, что пропадает практический план: зритель видит только нагромождение условностей, не замечая за ними жизни. Наслаждение искусством — это соучастие в «игре». «Игра» может быть вполне серьезной, затрагивающей самое сокровенное. Но никто из ее участников (ни творец, ни реципиент искусства) ни на мгновение не забывает о двойственном характере ситуации. Поэтому не следует настаивать на «замкнутости», «обособленности» игры.

Игра «замкнута» и «разомкнута» одновременно<sup>14</sup>.

Игровой принцип лежит и в основе эвристической деятельности. Прочитываем одну забытую отечественную работу: «О науке можно сказать, что она, действительно, есть не что иное, как игра. Это игра серьезная с фактами природы. От всякой другой игры она отличается тем, что обладает наибольшим интересом»<sup>15</sup>. Творчество невозможно без увлеченности, доходящей до одержимости, без общительности, знакомства с усилиями и результатами других, без развитого воображения, способности видеть незримое.

Эвристическая ситуация аналогична игровой. С одной стороны — старая теория, с другой стороны — факты, которые в нее не укладываются. Косная нетворческая личность, догматик скажет: «тем хуже для фактов», — пройдет мимо них, отбросит их, постарается забыть, свято веря в безошибочность существующей теории. Открыватель начинает чувствовать реальность еще не существующего, еще не созданного — теории, механизма и т. д. Он одновременно живет в двух сферах — наличной, которая все время напоминает о себе, и искомой, которая воспринимается с должной мерой реальности. Воображение помогает пересказывать с одной орбиты рассуждений на другую и обрести, наконец, искомое решение, совершить открытие.

Американский психиатр А. Ротенберг назвал свою книгу о творческом мышлении «Богиня рождающаяся». Мы помним, что богиня мудрости Минерва появилась на свет необычным образом: она вышла в полном боевом вооружении из головы

Юпитера. Смысл мифа ясен: мудрость — детище божественной мысли. Античной мифологией навеян и основной термин, взятый Ротенбергом для обозначения творчества, — «янусово мышление». Янус — бог всех начал и начинаний, входов и выходов, он двулик: одно лицо обращено к прошлому, другое — к будущему. Открыватель мыслит «по Янусу», он видит и то, что было, и то, что будет, совмещая не совмещенное, помещая в одно пространство то, что пока существует в разных измерениях. «Янусово мышление состоит в одновременном и активном постижении двух или более противоположных или противоречащих друг другу идей, образов, концепций»<sup>16</sup>.

Из многочисленных примеров, приводимых в книге Ротенберга, остановимся на одном. Еще в XVIII в. стало известно, что введение в человеческий организм возбудителей коревой оспы предохраняет от оспы натуральной. Это называлось «вакцинация» — «окоровливание» («вакка» по-латыни — корова); механизм защиты был непонятен и при других инфекционных заболеваниях не применялся.

Весной 1879 г. Л. Пастер начал серию экспериментов над цыплятами, зараженными холерой. Летом наступил длительный перерыв. Когда опыты возобновились, старая культура бацилл оказалась ослабленной, и цыплята смогли ей противостоять. Получив свежую культуру, Пастер ввел ее как ранее зараженным, так и новым, только что приобретенным цыплятам. Последние погибли, первые снова выжили. После минутного раздумья Пастер, «как бы в озарении», воскликнул: «Разве вы не понимаете, что животные были вакцинированы!» (это означало «окоровлены», ибо термин применялся до этого к коревой оспе). Два ряда мыслей — о результатах эксперимента и о

<sup>14</sup> Cadamer H.-G. Wahrheit und Methode. Tübingen, 1975, S. 104.

<sup>15</sup> Линцбах Я. Принципы философского языка. Пг, 1916, с. 210. Сошлемся и на новейшую отечественную работу: Степанов Н. И. Наука и игра: сопоставление и аналогия. — В кн.: Теория и современная физика. М., 1984.

<sup>16</sup> Rothenberg A. The Emerging Goddess. The Creative Process in Art, Science, and other Fields. Chicago, 1979, p. 55.

<sup>13</sup> Толстой Л. Н. Собр. соч. в 12-ти т., т. I. М., 1984, с. 66.

предшествующем опыте — слились воедино. «Пастеру необходимо было сформулировать концепцию, согласно которой выжившие животные были заражены и одновременно не заражены»<sup>17</sup>. Ротенберг не пользуется термином «игра» и отрицает связь творческого процесса с диалектикой, но фактически речь в его книге идет именно об этом — о диалектическом совпадении противоположностей и об «игровой» амбивалентности эвристического мышления.

В заключение — вопрос: как воспитывается игровое поведение, чем стимулируется творческое мышление? Рецепты здесь стародавние, опробованные.

1. Широко известна связь научного творчества с художественной культурой. Написано об этом много, повторяться нет необходимости.

2. Культура юмора. «От великого до смешного один шаг». Известный афоризм мож-

но перевернуть:» От смешного до великого...» Юмор построен на неожиданных ассоциациях, а это шаг к творчеству. Недаром юмор так распространен в науке. Вот характерный пример.

Солидная книгоиздательская фирма «Ханс Хубер» выпустила книгу «Дихотомия и двойственность. Основные проблемы психологического познания»<sup>18</sup>. Коллективный труд семнадцати авторов, среди них есть известные имена. Свой труд они посвятили памяти коллеги — Эрнста Августа Дэлле. Книга снабжена всеми атрибутами научности: ссылками на авторитетные источники и полемическими выкладками, схемами, рисунками, таблицами, математической символикой; к каждой статье приложен список использованной литературы, а в конце книги «полная библиография» трудов Дэлле. Но вот в тексте упомянута работа «Об-

щество между материнским бюстом и отцовским чувством». Тут и профану становится ясно: «психологи шутят».

3. Лучшая школа игрового поведения — сама игра. А у наших детей все уже становится кругом игры, и все больше времени они проводят перед отупляющим телевизором. Что касается взрослых, так те вообще забыли, что такое развивающая воображение игра. Полвека назад (я помню это по своему детству) взрослые, собравшись для отдыха и развлечения, с увлечением играли в шарады и другие игры, за которыми дети всегда следили с интересом; быть принятым в игру взрослых было честью.

«Игра — это изначальная поэзия у человека»<sup>19</sup>, — говорил Жан-Поль (Рихтер). Игра открывает мир ребенку и помогает взрослому раздвинуть границы мира.

<sup>18</sup> Dichotomia und Duplizifat. Grundfragen psychologischer Erkenntnis. Bern — Stuttgart — Wien, 1974.

<sup>19</sup> Идеи эстетического воспитания, т. 2. М., 1973, с. 298.

<sup>17</sup> Ibid., p. 124.

В номере использованы фотографии АЛЕКСЕЕВА Н. Н., БЫКОВСКОГО А. Ф., ИСИКОВА В. П., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., ЩЕЛИНСКОГО В. Е.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука».

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

Сдано в набор 11.02.86.  
Подписано к печати 20.03.86.  
Т-05997

Формат 70×100 1/16

Офсет

Усл.-печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 1365,3 тыс.

Уч.-изд. л. 15,3

Бум. л. 4

Тираж 51 000 экз. Зак. 446

Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
142300, г. Чехов Московской области



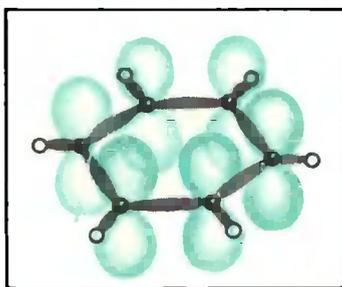
— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



## В следующем номере

Лагуны, занимающие значительную часть береговой линии Дальнего Востока,— это настоящие оазисы жизни. Чтобы рационально эксплуатировать их, нужно знать, как функционируют эти биологические системы, развивать разносторонние исследования лагун.

**Кафанов А. И.** Лагуны дальневосточных морей.



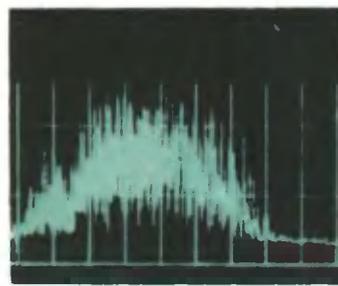
Слова «проводник» и «сверхпроводник» невольно ассоциируются со словом «металл». Но синтезированные недавно органические проводники и сверхпроводники могут в недалеком будущем оказаться для многих технических приложений выгоднее, чем привычные металлы.

**Булаевский Л. Н., Щеголев И. Ф.** Органические сверхпроводники.



На первый взгляд, эти характерные для горных ландшафтов образования кажутся простым нагромождением камней. Однако по строению и закономерностям движения каменные глетчеры более похожи на ледники.

**Горбунов А. П., Титов С. Н.** Каменные глетчеры.



Радиоволны несут богатую информацию о состоянии поверхности океана: о волнах, течениях, льдах и т. д. Это направление исследований приобрело особое значение с появлением искусственных спутников Земли.

**Басс Ф. Г., Калмыков А. И., Шестопалов В. П.** Радиолокационные исследования Мирового океана.



Престиж преклонных лет у некоторых народов настолько велик, что иногда наблюдается искусственное завышение людьми своего возраста. В связи с этим в этнографии предложена концепция «социального долгожительства», не совпадающего с «биологическим долгожительством».

**Першиц А. И., Смирнова Я. С.** Геронтономия — почитание старших.

Цена 80 к.  
Индекс 70707