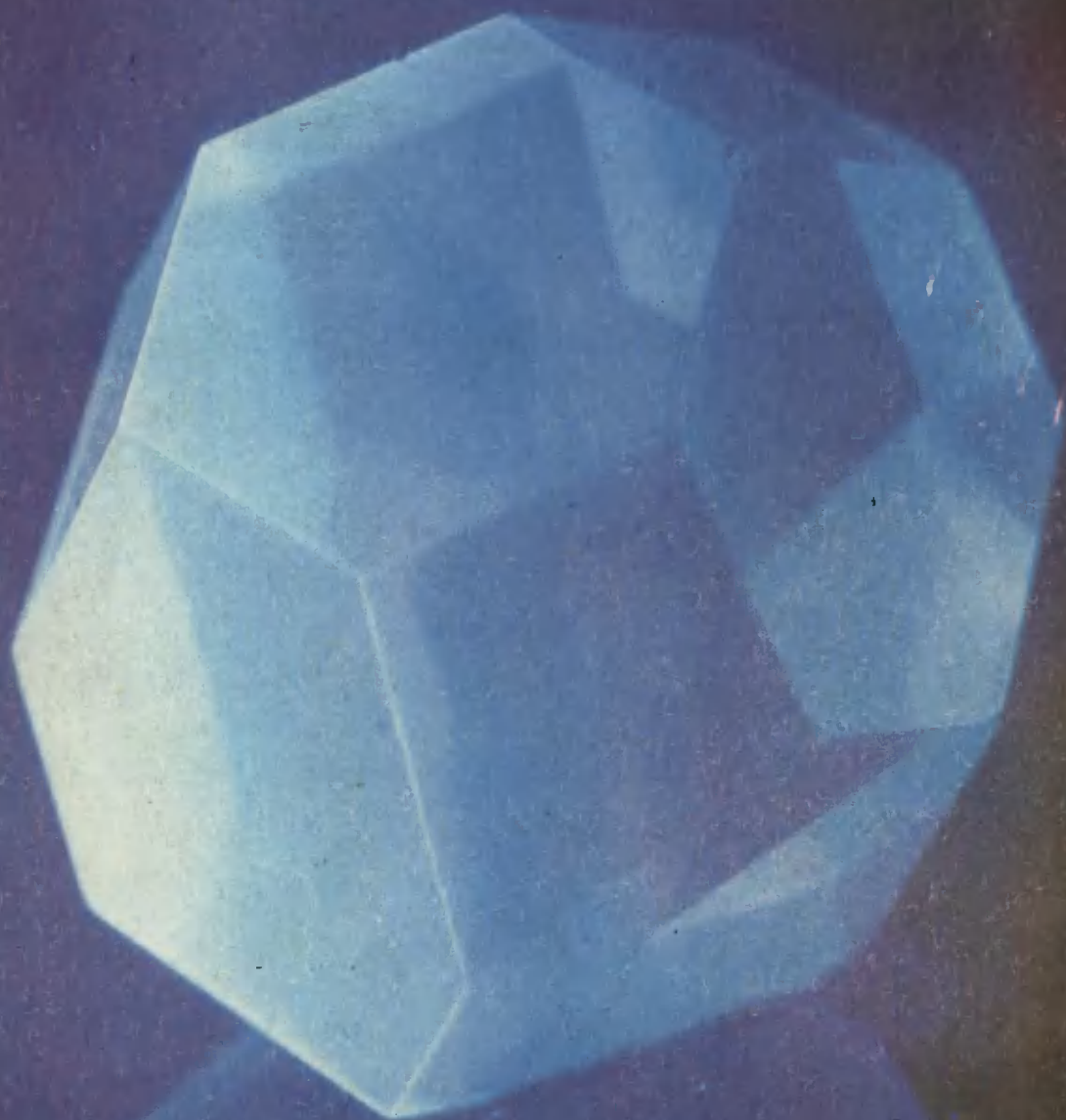


ISSN 0032-874X

12 ПРИРОДА

1981



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР



Основан в 1912 году

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук
А. Г. БАННИКОВ
Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Доктор биологических наук
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора
В. А. ГОНЧАРОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ



—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. Подробно о программе см.: «Природа», 1979, № 1, с. 28.

На первой странице обложки. Синтетический монокристалл флюорита с синей люминесценцией, вызванной примесью двухвалентного европия. См. в номере: Портнов А. М., Горобец Б. С. Люминесцентные индикаторы геосфер.

На третьей странице обложки. Кремневые изделия неолитической эпохи из стоянок в бассейне р. Оки. Таблица из т. II книги А. С. Уварова «Археология России». См. в номере: Формозов А. А. К столетию «Археологии России» А. С. Уварова.

На четвертой странице обложки. Колорадский жук. См. в номере: Кохманюк Ф. С. Колорадский жук как модель микроразвития.

Фото Ф. С. Кохманюка.

Декабрь 1981 года

В НОМЕРЕ

«Основа основ научно-технического прогресса — это развитие науки» К 75-летию со дня рождения Л. И. Брежнева	2
Ларин В. Н. Новая геохимическая модель Земли	5
Колыхалов П. И., Любарский Ю. Э. Уникальный объект SS433	19
Брежестовский П. Д., Дунин-Барковский В. Л., Потапова Т. В. Ионные каналы постсинаптической мембраны	24
Имшенник В. С. Гигантский пузырь горячего газа в галактической межзвездной среде	33
Арутюнян И. Н. Ускорители нового поколения и их задачи	36
Богородский В. В., Шереметьев А. Н. Подледниковые озера Антарктиды	49
Портнов А. М., Горобец Б. С. Люминесцентные индикаторы геосфер	52
Формозов А. А. К столетию «Археологии России» А. С. Уварова	61
Брагинский В. Б. Гравитационные эксперименты от Кавендиша до наших дней	70
Березкин Ю. Е. Исчезнувшие народы. Тайрона	76
Кохманюк Ф. С. Колорадский жук как модель микроэволюции	86
Уемов А. И. О природе логических парадоксов	88

НОВОСТИ НАУКИ	95
---------------	----

КНИГИ, ЖУРНАЛЫ	Визгин Вл. П. Тематический подход к истории науки: трудности и перспективы	110
----------------	--	-----

НОВЫЕ КНИГИ	Тематический указатель журнала «Природа» 1981 года	115
	Авторский указатель журнала «Природа» 1981 года	118
		127

«Основа основ научно-технического прогресса — это развитие науки»*

К 75-летию со дня рождения Л. И. Брежнева

Жизненный путь верного продолжателя великого дела Ленина, руководителя нашей партии и Советского государства, выдающегося деятеля международного коммунистического и рабочего движения Леонида Ильича Брежнева неразрывно связан с историческими свершениями советского народа, построившего развитое социалистическое общество и приступившего к созданию материально-технической базы коммунизма. Его имя неотделимо от роста могущества, сплоченности, международного авторитета социалистического содружества, торжества ленинских принципов пролетарского интернационализма. Исключительно велик личный вклад Л. И. Брежнева в дело разрядки международной напряженности, борьбы за мир во всем мире.

Всемирно-историческое значение приобрела теоретическая деятельность Л. И. Брежнева по творческому развитию марксизма-ленинизма. В его трудах раскрываются и конкретизируются применительно к современным условиям положения исторического материализма и научного коммунизма, находящие свое воплощение во внутренней и внешней политике Коммунистической партии и Советского государства. За выдающийся вклад в развитие марксистско-ленинской теории, в разработку актуальных проблем развитого социализма, стратегии всемирно-исторической борьбы за коммунистические идеалы, за мир во всем мире Генеральному секретарю ЦК КПСС, Председателю Президиума Верховного Совета СССР Л. И. Брежневу присуждена высшая награда Академии наук СССР в области общественных наук — Золотая медаль имени Карла Маркса.

Крупный вклад в творческое развитие марксизма-ленинизма знаменует и разработка в трудах Л. И. Брежнева по-

ложений о значении научно-технического прогресса, роли науки в развитии социалистического общества. Классики марксизма-ленинизма придавали огромное значение науке, указывая на закономерный характер ее превращения в непосредственную производительную силу. Как подчеркивал К. Маркс, создание материальных и духовных благ становится все более зависимым «...от общего уровня науки и от прогресса техники, или от применения этой науки к производству»¹.

В широком использовании достижений науки в народном хозяйстве основатель нашей партии и государства В. И. Ленин видел средство преодоления технико-экономической отсталости страны, создания условий для решения главной задачи — достижения социального равенства людей. Обосновывая программу построения социалистического общества, он писал: «Нужно взять всю науку, технику, все знания, искусство. Без этого мы жизнь коммунистического общества построить не можем»². В. И. Ленин уделял особое внимание развитию науки, вовлечению ее в практику строительства новой жизни, проявлял постоянную заботу об ученых. Одним из главных вопросов, стоявших на повестке дня молодого Советского государства, было вовлечение Академии наук в реализацию планов партии, определение направлений ее деятельности.

За годы Советской власти наука достигла высокого уровня развития, значителен ее вклад в дело построения социализма в СССР. Вступление нашего общества в качественно новый этап развития — этап развитого социализма — стал возможен на базе освоения в народном хозяйстве достижений науки и техники. Наука стала могучим средством повышения материального и духовного богатства советско-

* Брежнев Л. И. Ленинский курсом. Т. 8. М.: Политиздат, 1981, с. 684.

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 46, ч. II, с. 213.

² Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 38, с. 55.



**Генеральный секретарь ЦК КПСС
Председатель Президиума Верховного Совета СССР
Леонид Ильич БРЕЖНЕВ**

го народа. «Социализм и наука неразделимы, — подчеркивает Л. И. Брежнев, — и в этом одна из причин победы социализма. Только социализм сделал возможным использование завоеваний науки в интересах народа, позволил раскрыть творческие потенции и таланты, которые в изобилии имеются у каждого народа. И, только опираясь на новейшие достижения науки о природе и обществе, можно успешно строить социализм и коммунизм»³.

В условиях развитого социализма открываются более полные возможности как для развития самой науки, так и для раз-

ностороннего использования во всех сферах жизни общества завоеваний научно-технической революции. Л. И. Брежневым сформулирована важная историческая задача — «органически соединить достижения научно-технического прогресса с преимуществами социалистической системы хозяйства»⁴. Конкретизацией этой задачи явилось положение, высказанное Л. И. Брежневым в Отчетном докладе ЦК КПСС XXVI съезду партии — «вывести все отрасли народного хозяйства на передовые рубежи науки и техники»⁵. Л. И. Брежнев указал, что роль науки

³ Брежнев Л. И. Ленинским курсом. Т. 5, с. 363.

⁴ Там же, т. 3, с. 257.

⁵ Там же, т. 8, с. 682.

в развитии народного хозяйства еще более возрастает в связи с рядом условий, являющихся особенностью 80-х годов. Прежде всего обеспечение высоких темпов производства будет происходить при ограниченном приросте трудовых ресурсов. Повышение производительности труда за счет достижений науки и техники должно компенсировать растущие затраты как труда, так и средств, связанные с необходимостью использовать топливно-энергетические и сырьевые ресурсы в отдаленных, труднодоступных районах нашей страны, а также с объективно обусловленными расходами на охрану окружающей среды.

В трудах Л. И. Брежнева указывается и глубинный источник научно-технического прогресса — фундаментальные исследования. Именно они позволяют открывать новые явления и законы, ведут к коренным изменениям в экономике, технике, технологии. В решениях XXVI съезда КПСС подчеркнута необходимость опережающего развития фундаментальных исследований, определены главные направления научного поиска. Масштабность научных проблем, потребность в их комплексной разработке, перспективность исследований на границах, разделяющих различные науки, требуют усиления взаимодействия естественных, общественных и технических наук.

В связи с возрастанием роли фундаментальных исследований как основы научно-технического прогресса большое внимание Л. И. Брежнев уделяет Академии наук СССР, на которую возложена координация всей научной работы в стране. «Центральный комитет КПСС выступает за то, чтобы и дальше повышать роль и ответственность Академии наук СССР, улучшать организацию всей системы научных исследований», — указывается в Отчетном докладе ЦК КПСС XXVI съезду партии⁶. Подчеркивается значение интенсификации исследовательской деятельности, более эффективной ее организации, улучшения технического оснащения науки. Весь фронт науки должен находиться в поле зрения Академии, с тем чтобы своевременно совершенствовать сеть и структуру научных учреждений, координировать основные направления научного поиска. В этом смысл замечания Л. И. Брежнева, что вся система научных исследований «должна быть значительно более гибкой и мобильной»⁷. Усилия ученых нужно концентрировать на принципиально новых научных идеях и тех-

нических решениях, открывающих новые возможности для ускоренного развития ключевых отраслей народного хозяйства.

В выступлении на Пленуме Центрального Комитета КПСС 16 ноября 1981 г. Л. И. Брежнев вновь подчеркнул неизменность курса партии на форсирование научно-технического прогресса, более эффективное использование накопленного научно-технического потенциала, ускоренное внедрение новой техники. В соответствии с новым пятилетним планом примерно в 1,5 раза должны возрасти темпы обновления техники, используемой в народном хозяйстве, расширятся масштабы внедрения трудосберегающих технологий, повысится автоматизация и механизация труда.

Л. И. Брежнев рассматривает науку не только как генератор идей, находящих свое воплощение в технологии производства, в принципах управления и планирования, но и отмечает ее важную роль в формировании научного мировоззрения, идейной убежденности, коммунистической нравственности. Вместе с тем, указывает Л. И. Брежнев, развитие нашего общества побуждает ученых сверять цели и результаты собственного труда с общенародными потребностями, велением времени, проявлять активную жизненную позицию, социальную ответственность, подлинный интернационализм. Духовный потенциал личности ныне, как никогда ранее, выступает мощным фактором социального и экономического развития, научно-технического прогресса. Поэтому советские ученые должны быть на высоте тех требований, которые предъявляет им наша партия, сама жизнь.

«Сегодня, заглядывая вперед на пять, на десять лет, мы не можем забывать», — говорит Л. И. Брежнев, — что именно в эти годы будет закладываться и создаваться народнохозяйственная структура, с которой страна вступит в двадцать первый век. Она должна воплощать основные черты и идеалы нового общества, быть в авангарде прогресса, олицетворять собой интеграцию науки и производства, нерушимый союз творческой мысли и творческого труда»⁸.

Советским ученым очень дороги внимание Л. И. Брежнева к вопросам развития науки, к деятельности Академии наук, научных учреждений, неустанная забота о создании благоприятных условий для научного поиска.

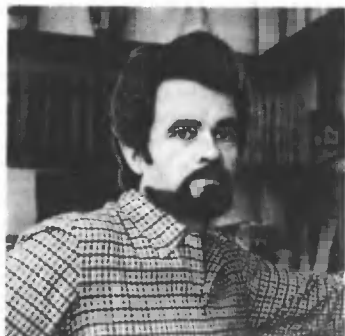
⁶ Там же.

⁷ Там же.

⁸ Там же, с. 684.

Новая геохимическая модель Земли

В. Н. Ларин



Владимир Николаевич Ларин, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории сравнительной планетологии Геологического института АН СССР. Работает над изучением гранитного магматизма и связанных с ним месторождений; в последние годы занят проблемами геохимии и космохимии. Автор статей и монографий по этим проблемам, в том числе монографии: Гипотеза изначально гидридной Земли. М.: Недра, 1975; 1980 (2-е изд., перер. и доп.).

На вопрос о составе внутренних геосфер в большинстве случаев звучит лаконичный ответ: ядро — железное, мантия — силикатная. Поскольку в силикатах свыше 90% объема заполняют анионы кислорода, то основной объем Земли представляется исследователям в виде плотнейшей упаковки анионов кислорода и данный элемент считается наиболее распространенным в теле планеты.

Полного единомыслия в этом вопросе, разумеется, нет. Споры идут и весьма темпераментные, но касаются они лишь деталей. Например, какой легкой примесью разбавить вещество ядра, так как будь оно чисто железным (или железо-никелевым), его плотность была бы выше той, которая необходима для соблюдения двух параметров: общей массы Земли и ее момента инерции относительно оси вращения. Какие концентрации второстепенных и малых элементов приписать земной мантии, чтобы они соответствовали распространенности этих элементов в земной коре и глубинных магматических образованиях. Однако в ходе дискуссий представление о силикатном, точнее силикатно-окисном составе всей толщ мантии ($\frac{5}{6}$ объема планеты) не подвергается сомнению.

В качестве обоснования этого одного из самых фундаментальных положений в науках о Земле обычно ссылаются на си-

ликатный состав коры и мантийных магматических образований, а также на состав метеоритов. Более того, хондритовая модель Земли (согласно которой вещество нашей планеты отождествляется с составом каменных метеоритов — хондритов) большинству исследователей представляется единственно возможной, поскольку она не имеет вещественно обоснованной альтернативы.

Действительно, и земная кора, и наиболее глубинные кимберлитовые магмы имеют силикатно-окисный состав. Но можно ли на основании этого постулировать преобладающую роль кислорода во внутренних геосферах? Кимберлитовая магма формируется на глубине максимум 150—200 км, что не превышает 2,5—3% радиуса Земли. Глубже, в интервале 300—400 км (под континентами), находится так называемый раздел Голицына¹, по которо-

¹ Ниже этого раздела, в частности, резко (на несколько порядков) возрастает электропроводность. Геофизики обнаружили, что глубина залегания проводящей мантии весьма изменчива. Например, в Техасе (США) на расстоянии 400 км эта глубина уменьшается с 320 до 160 км. Причем в области воздымания проводящей мантии отмечается повышенный тепловой поток. Все эти данные не согласуются с представлениями о фазовой природе раздела Голицына.

му изменяются все доступные оценке физические свойства мантии. И меняются они столь резко, что можно заподозрить причину данного явления в смене химического состава.

Метеориты безусловно характеризуют состав планетарного вещества, но из какой зоны? Есть свидетельства того, что они являются «пришельцами» из пояса астероидов, который расположен далеко за Марсом (т. е. за зоной формирования планет земного типа). А в самое последнее время была показана возможность их появления из области, лежащей за Нептуном, с самой периферии Солнечной системы². В данной связи, естественно, могут возникнуть сомнения в правомерности хондритовой модели Земли. К тому же следует отметить, что она более или менее удовлетворительна лишь для весьма ограниченного числа петрогенных элементов (кремния, магния, железа, алюминия, кальция, натрия), тогда как привлечение хондритовых содержаний в качестве средних для Земли по всему списку Периодической системы выявляет две группы элементов. Это дефицитные элементы и элементы резко избыточные. Первые (рубидия, циркония, урана, стронция...) не хватает для обеспечения их концентраций в земной коре даже при условии очищения от них остального объема планеты, других (ртути, золота, платины...), напротив, хватило бы с избытком, и они имели бы в десятки и сотни раз большую распространенность в коре и мантии по сравнению с наблюдаемой в действительности.

Итак, можно констатировать, что сложившиеся к настоящему времени представления о химическом составе Земли, по существу, не имеют фактического обоснования. И поскольку версия о железном ядре и силикатной мантии уже не одно десятилетие принимается без обсуждения, то ее справедливо назвать догмой³.

ПОИСКИ ЭМПИРИЧЕСКИ ОБОСНОВАННОГО ФУНДАМЕНТА

Сомнения в правомерности одного из самых фундаментальных положений в науках о Земле побудили нас осуществить поиски эмпирически установленных закономерностей, на основе которых можно было бы решить вопрос об исходном, или, что то же самое, среднем составе планеты. С этой целью было решено сопоставить различные тела Солнечной системы по возможно большему числу элементов. Выбор исходных данных, по существу, оказался ограничен нашими знаниями о Солнце, Земле, Луне и метеоритах, так как сведения о других телах Солнечной системы пока еще слишком фрагментарны. Однако следует специально оговориться, какие именно данные мы решили использовать.

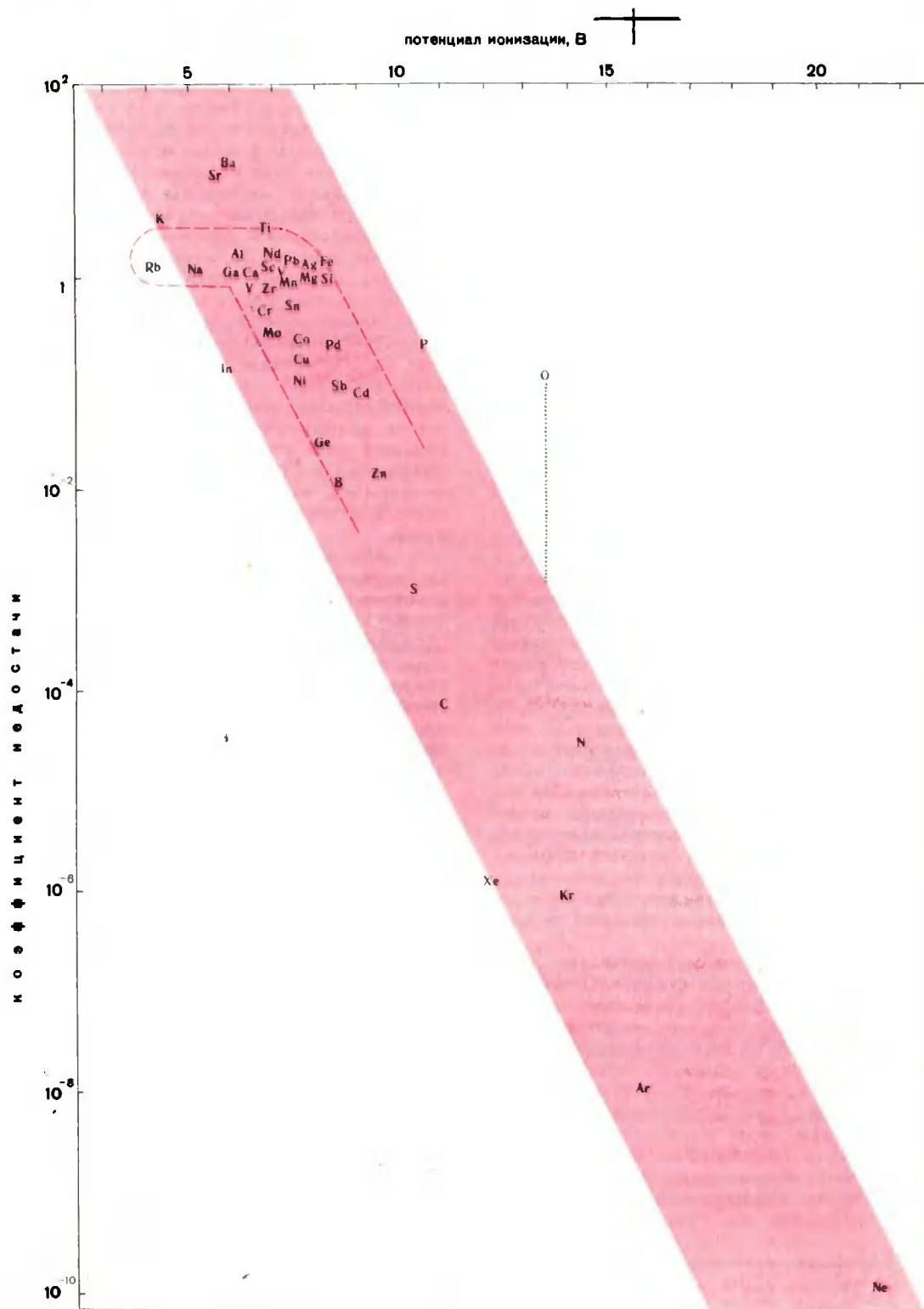
Нам известен состав фотосферы Солнца, определенный спектральным способом. Он отражает состав конвективной зоны, которая простирается в глубину примерно на $1/3$ солнечного радиуса. В этой сфере заключено около 70% объема Солнца, так что состав фотосферы, по крайней мере, характеризует значительный его объем. Правомерно также допущение, что по составу современного Солнца можно судить о составе протовещества, поскольку все изменения его химизма были ограничены синтезом гелия при термоядерном выгорании водорода (отчасти лития и бериллия) и не затрагивали баланса более тяжелых элементов.

В отношении Земли достаточно определенно можно говорить о составе ее внешней оболочки мощностью в 150—200 км (до этих глубин мы имеем информацию по глубинным включениям в кимберлитовых трубках и по химическому составу мантийных магматических образований). По мнению петрологов, состав данной геосферы достаточно близок к смеси (1:3) базитов и ультрабазитов — глубин-

² Энеев Т. М. — Письма в Астрон. журнал, 1980, т. 6, № 5, с. 295.

³ В ретроспективе легко понять исследователей, которые высказали данную версию. В начале XX в. геофизики установили, что в недрах нашей планеты имеется ядро, гораздо более плотное, чем окружающие геосферы. Конец XIX и начало XX в. характеризовались также бурным развитием металлургии. Поскольку железо — единственный тяжелый элемент, широко распространенный в природе, возникла аналогия между планетой и доменной печью: тяжелое железо выплавилось и сконцентрировалось в плотное ядро, а легкие силикаты всплыли, подобно шлакам, и сформировали мантию.

Зависимость коэффициентов недостачи (дефицита) элементов во внешних оболочках Земли от потенциалов ионизации этих элементов. Коэффициент недостачи равен отношению концентрации элементов на Земле к их концентрации на Солнце. В поле, обведенном пунктиром, сконцентрировались элементы с потенциалами ионизации, не превышающими 8 В. Содержание всех элементов нормировано по Si (т. е. его содержание принято за 1). Кислород на графике выходит далеко за область, где сосредоточены остальные элементы, поэтому его аномальное положение отмечено точечной линией.



ных пород с малым и минимальным содержанием SiO_2 . Но для дальнейших построений нам необходимо, чтобы эта внешняя оболочка неслась на себе достаточно четкий отпечаток исходного (среднего) состава планеты. На первый взгляд такой подход противоречит привычным представлениям о мощной дифференциации недр Земли, которая привела к образованию гранитного слоя коры на ее поверхности. Однако если сравнивать концентрации всех элементов в таких контрастных дифференциатах, как ультрабазиты — базиты — граниты, то в этом ряду лишь у небольшой части элементов наблюдаются вариации в содержаниях, превышающие порядок, концентрации же подавляющего большинства элементов остаются в пределах величин одного порядка. Следовательно, даже граниты по характеру распределения большей части элементов должны отражать исходный состав планеты, и тем более это касается мантийных базитов и ультрабазитов.

Несмотря на громадный прогресс в изучении Луны, в настоящее время мы не можем с достаточной определенностью судить ни о ее составе в целом, ни о составе ее внешней оболочки, которую можно было бы считать аналогом верхней мантии Земли. В данной ситуации (чтобы не терять Луну из рассмотрения) было решено сопоставить Луну и Землю по особенностям распределения элементов в однотипной магматической формации, которая была бы широко представлена на поверхности этих тел и достаточно полно изучена. Всем этим условиям удовлетворяют базальты, которые являются наиболее распространенным продуктом дифференциации мантии и, очевидно, отражают состав того объема планеты, который их продуцирует.

Минералого-петрографические особенности метеоритов свидетельствуют о рождении их в недрах достаточно крупного материнского тела или нескольких тел, которые затем по непонятным пока причинам распались. Данный аспект позволяет исследователям считать источником метеоритов пояс астероидов, что подтверждается также вычислениями орбит метеоритов, сфотографированных при падении или наблюдавшихся из разных пунктов⁴. Как мы уже отмечали, метеориты могут приходиться из занептунной области

Солнечной системы. На данном же этапе нам важен лишь тот факт, что метеориты характеризуют планетарное вещество из зоны значительно более удаленной от Солнца по сравнению с орбитой Земли (как минимум в 3 раза, если их источником считать пояс астероидов).

Поскольку метеориты являются осколками распавшегося крупного тела, они могут представлять различные его части, и усредненный состав метеоритов, по всей вероятности, будет нести информацию о среднем составе планетарного вещества из зоны формирования материнского тела.

При падениях метеоритов в 70 случаях из 100 находят обыкновенные хондриты, тогда как углистые хондриты встречаются гораздо реже. Однако следует учитывать возможность полного разрушения большей части углистых хондритов в атмосфере Земли. Поэтому, усредняя состав метеоритов, мы исходили из равных количеств углистых и обыкновенных хондритов.

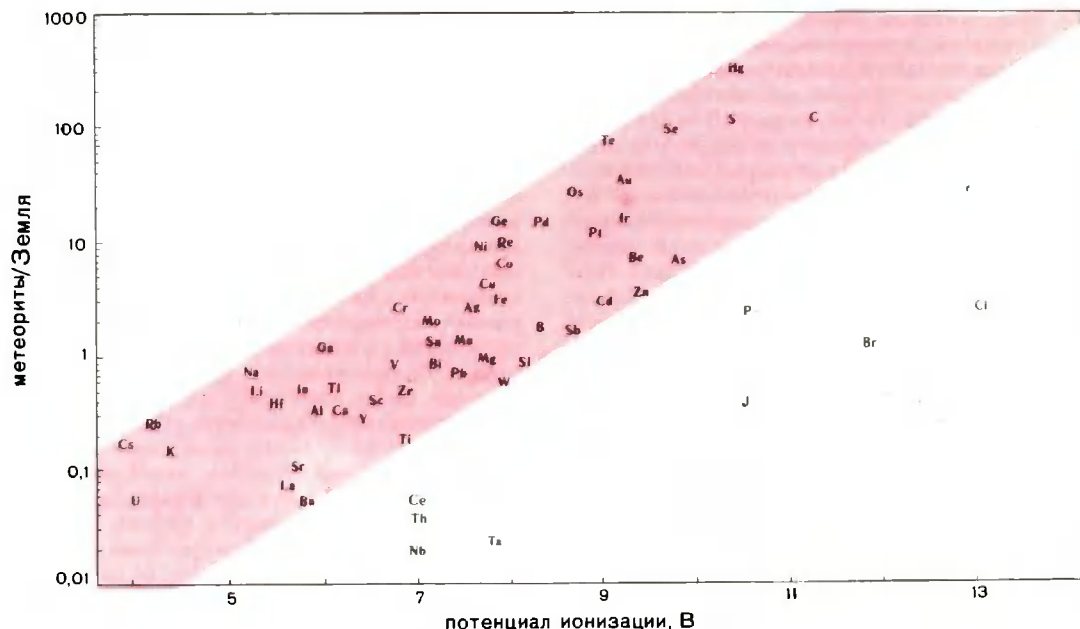
Итак, в нашем распоряжении имеются сведения о составе вещества из различных зон Солнечной системы. Сопоставление этих данных позволило выявить определенные космохимические закономерности, к характеристике которых мы переходим. Сравнивая состав внешних геосфер Земли с составом Солнца, мы заметили, что дефицит элементов на Земле⁵ зависит от потенциалов ионизации этих элементов. Причем концентрация элемента на Земле резко уменьшается с ростом его потенциала ионизации⁶. При сравнении состава метеоритов и состава Земли мы установили, что метеориты обогащены элементами с высокими потенциалами ионизации и, напротив, обеднены элементами, имеющими низкие потенциалы ионизации. Сопоставив базальты Луны с базальтами Земли, мы не выявили какой-либо зависимости в распределении элементов от их потенциалов ионизации.

Таким образом, сравнение состава Солнца, Земли, Луны и метеоритов показало определенную закономерность в распространении большинства элементов в различных частях Солнечной системы. Оказалось, что распространение элементов

⁴ Бронштэн В. А. Природа астероидов. — Природа, 1976, № 5, с. 88.

⁵ Дефицитом элемента на Земле геохимики называют отношение концентрации данного элемента на Земле к концентрации его на Солнце.

⁶ Здесь и далее имеется в виду первый потенциал ионизации.



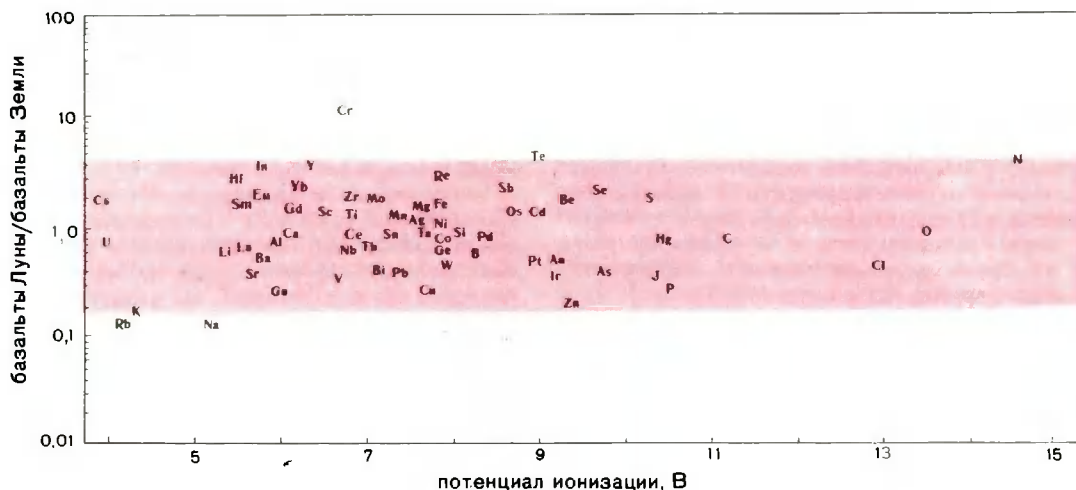
Зависимость состава метеоритов от потенциалов ионизации элементов. Концентрации элементов в метеоритах сравниваются с их содержаниями в базит-ультрабазитовой смеси земных пород (в пропорции 1:3). Отчетливо видно, что с ростом потенциала ионизации концентрация элементов в метеоритах резко возрастает.

Сравнение концентрации элементов в базальтах Луны и Земли. В качестве базальтов Луны выбраны наименее дифференцированные базальты Океана Бурь («Аполлон-12») и Моря Изобилия («Луна-16»). Как следует из графика, относительная распространенность элементов в базальтах Земли и Луны не зависит от потенциала ионизации.

функционально связано с их потенциалами ионизации и не зависит от какой-либо другой характеристики, к примеру, температуры плавления, теплоты испарения, атомного веса, атомного размера и т. д.

КОСМОХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И КОСМОГЕНИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ

Ясно, что потенциал ионизации может что-то обусловить лишь в том случае, если ионизация возможна, т. е. в условиях



плазмы. Следовательно, причину выявленных нами космохимических закономерностей надо искать в протопланетной стадии формирования Солнечной системы, поскольку только тогда вещество могло какое-то время пребывать в виде плазмы.

Но плазма не существует без магнитного поля. Причем магнитные силовые линии жестко связаны с ионизированной составляющей плазмы (по образному выражению физиков, «заморожены» в нее). Поэтому перемещение плазмы относительно магнитных силовых линий непременно будет сопровождаться разделением (сепарированием) ионизированных и нейтральных частиц: ионизированные частицы будут задерживаться магнитным полем. А поскольку ионизированное или нейтральное состояние частицы определяется величиной потенциала ионизации (при равных прочих условиях), то выявленные нами космохимические закономерности свидетельствуют о магнитной сепарации элементов в плазме, что, повторяем, могло произойти только в протопланетную стадию формирования Солнечной системы.

Под этим углом зрения были рассмотрены все космогонические концепции, с тем чтобы выбрать из них ту, которая предусматривает данное явление и может объяснить обнаруженные космохимические закономерности. В результате из всего «моря космогонических концепций» нас удовлетворил лишь один аспект одной концепции. Но прежде чем назвать его, сделаем небольшой экскурс по самым общим вопросам космогонии.

За два столетия своего существования научная космогония накопила достаточное число фактов, заставивших исследователей отказаться от разнообразных версий «захвата» протопланетного вещества Солнцем или «выброса» материи из его недр вследствие различных катастрофических причин. Совпадение экватора Солнца с плоскостью эклиптики, прямое обращение планет, малые эксцентриситеты их орбит, характер распределения момента количества движения и некоторые другие положения заставили космогонию вернуться к небулярной⁷ концепции, т. е. к идее совместного происхождения планет и Солнца из единой туманности.

Современная космогония в акте «творения» Солнечной системы предполагает следующую цепь событий. Вначале существовала пыле-газовая туманность как часть

межзвездной диффузной материи нашей Галактики. Затем, примерно 4,7 млрд лет назад, где-то в ее «окрестности» взорвалась сверхновая, в результате чего туманность потеряла гравитационную устойчивость и начала сжиматься к своему центру тяжести. Обладая некоторым исходным моментом вращения, туманность при сжатии раскручивалась все быстрее. Известно, что центробежная сила в процессе сжатия возрастает быстрее, чем сила тяжести, и в тот момент, когда они уравниваются, наступает режим ротационной неустойчивости. На этом этапе по экватору сгустившейся туманности (будем называть ее Протосолнцем) должно было произойти истечение вещества, образовавшего в плоскости эклиптики протопланетный диск. Подсчитано, что у Протосолнца ротационная неустойчивость возникла тогда, когда его радиус примерно соответствовал радиусу орбиты Меркурия. В дальнейшем из Протосолнца образовалась наша звезда, а из протопланетного диска — планеты.

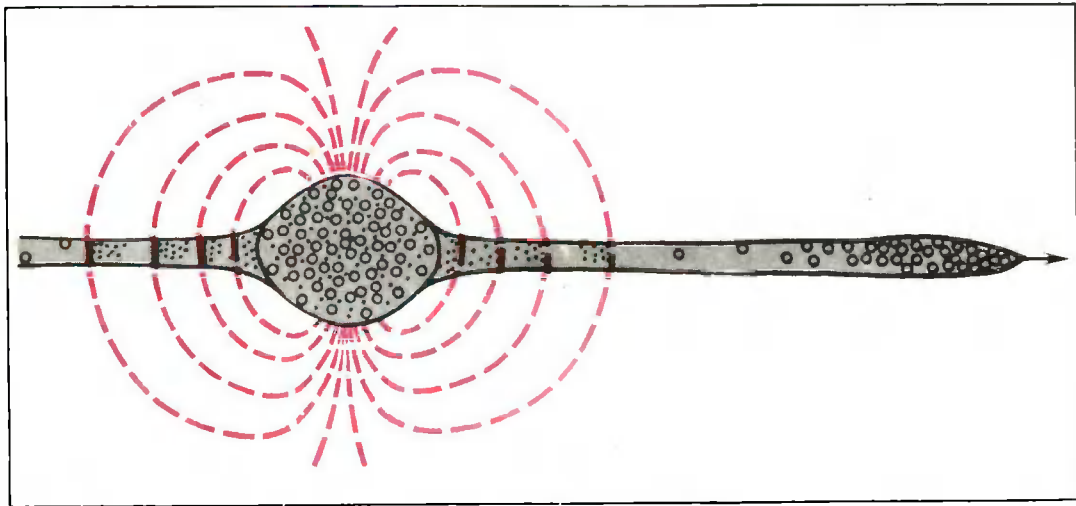
Идея о совместном происхождении планет и Солнца из единой туманности в общем виде была высказана более двух веков назад сначала И. Кантом, а затем, независимо, П. Лапласом. Однако на ее основе трудно было объяснить концентрацию 98% момента количества движения в планетах, масса которых составляет менее 1/700 массы Солнца. Совершенно ясно, что в процессе формирования Солнечной системы каким-то образом была осуществлена передача количества движения из центральных ее частей на периферию, но до последнего времени механизм этой передачи был совершенно неясен, а без указанного перераспределения дальнейшего развития небулы, достигшей режима ротационной неустойчивости, оказывается невозможным, так как ее сгущению будут препятствовать центробежные силы. Следует отметить, что характер распределения момента количества движения в Солнечной системе явился камнем преткновения для всех космогонических гипотез.

Выход из существовавшего длительного времени тупика был предложен астрофизиком Ф. Хойлом, который в 1958 г. высказал идею о наличии дипольного магнитного поля у небулы на стадии формирования протопланетного диска. Магнитные силовые линии, будучи замороженными в частично ионизированное вещество туманности, играли роль сцепки в системе (примерно, как спицы в колесе) и поддерживали в ней равенство угловой скорости на различном удалении от оси

⁷ От nebula (лат.) — туманность.

вращения, что необходимо и достаточно для передачи момента количества движения из центральных частей сжимающейся небулы на ее периферию⁸. При этом центральное сгущение тормозилось (аналогичным образом тормозит свое вращение фигуристка на льду, разводя руки в стороны), выходило из режима ротационной неустойчивости и получало способность к дальнейшему сжатию, тогда как периферические части небулы, приобретая момент количества движения системы, «сбрасывались» и распространялись в плос-

пространявшееся в плоскости его экватора, двигалось поперек магнитных силовых линий. Заряженные частицы (с обычными, нерелятивистскими, скоростями перемещений) не могут двигаться, пересекая магнитные силовые линии, поэтому они должны захватываться магнитным полем и оставаться в околосолнечном пространстве во внутренних частях протопланетного диска. Нейтральные частицы, наоборот, должны были выталкиваться (фракционироваться) и уходить во внешние зоны диска, на его периферию.



Дифференциация вещества в протопланетном диске под воздействием магнитного поля Протосолнца [магнитная сепарация частиц]; точки — ионизированные частицы, полые кружки — нейтральные частицы.

кости эклиптики, формируя протопланетный диск.

Именно этот аспект космогонической концепции Хойла согласуется с нашими космохимическими закономерностями, и его можно привлечь для объяснения механизма, обусловившего дифференциацию протозвещества в зависимости от потенциалов ионизации элементов. При формировании протопланетного диска протозвещество, стекавшее с Протосолнца и рас-

Заряженное или нейтральное состояние частиц определяется величиной потенциала ионизации: чем ниже потенциал ионизации, тем больше вероятность ионизированного состояния частицы и, соответственно, тем больше возможность захвата ее магнитным полем, и наоборот, чем выше потенциал ионизации, тем более вероятно нейтральное состояние, которое обуславливает фракционирование частиц.

Таким образом, должна была иметь место та сепарация элементов по их потенциалам ионизации, которую мы искали среди космогонических концепций и в свете которой обнаруженные космохимические закономерности получают простое и естественное объяснение.

Уменьшение концентрации элементов на Земле (в сравнении с Солнцем) по мере увеличения их потенциалов ионизации объясняется уменьшением степени ионизованности частиц и соответственным снижением возможности их захвата магнитным полем.

Становится также понятным, почему

⁸ Выражение момента количества движения через угловую скорость имеет вид mWR^2 , и если угловая скорость одинакова во всех точках вращающейся системы, то момент (поскольку он пропорционален квадрату расстояния) будет сосредоточен в зоне, наиболее удаленной от оси вращения.

в метеоритах много (по земным меркам) золота, платиноидов и ртути, имеющих высокие потенциалы ионизации, и мало урана, калия, рубидия — элементов с низкими потенциалами ионизации. Как мы уже отмечали, метеориты приходят из области, отстоящей от Солнца гораздо дальше зоны формирования Земли. Согласно механизму магнитной сепарации, там, на большем удалении, должно возрасти содержание трудноионизируемых элементов (будучи преимущественно нейтральными, они выталкивались из внутренних частей протопланетного диска), а концентрации элементов с малыми потенциалами ионизации должны были уменьшиться, поскольку они претерпели сепарацию и были остановлены магнитным полем в околосолнечном пространстве.

Наконец, формирование Земли и Луны происходило на одном расстоянии от Солнца, и поэтому сравнение их состава не выявляет следов магнитной сепарации.

Идея о возможности дифференциации ионизированного протопланетного вещества под воздействием магнитного поля Протосолнца уже высказывалась раньше Г. Альфвеном⁹, Дж. Иокиппи¹⁰ и др. исследователями. В свете выявленных нами космохимических закономерностей эта идея, а также гипотеза Хойла (в части перераспределения «момента» магнитным полем протозвезды) получают вещественное подтверждение и оказываются исключительно перспективными, так как появляется принципиальная возможность на основе механизма магнитной сепарации оценить в первом приближении исходный состав Земли и предсказать некоторые специфические особенности химизма других внутренних планет.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНОГО СОСТАВА ЗЕМЛИ

Прежде чем переходить к обсуждению проблемы исходного состава Земли, необходимо остановиться на вопросе, почему из общей закономерности, харак-

терной для всех элементов, определенных на Солнце, выпадает кислород. Его содержание на Земле (во внешних геосферах) во много раз выше расчетной концентрации, ожидаемой в свете процесса магнитной сепарации. По поводу этой аномалии можно сделать два предположения. Первое: кислород по каким-то причинам сепарировался магнитным полем так же, как и металлы, несмотря на свой значительно более высокий потенциал ионизации. Второе: исходное содержание кислорода на Земле было небольшим, но в процессе развития нашей планеты он перераспределился и сконцентрировался во внешних геосферах.

Рассмотрим первое предположение. Единственный способ удерживать кислород магнитным полем наравне с металлами — это понизить его потенциал ионизации до 7—8 В, что можно было бы осуществить, лишь связав его в легкоионизируемые соединения. Но была ли возможность для образования химических соединений на стадии магнитной сепарации? Следует иметь в виду, что выявленные нами космохимические закономерности однозначно свидетельствуют, что на стадии магнитной сепарации протопланетное вещество находилось в состоянии сильно ионизированной плазмы (в противном случае эта сепарация попросту не имела бы места). Характер распределения точек на графике, отражающем зависимость коэффициентов недостачи элементов от их потенциалов ионизации, обнаруживает близкие к единице коэффициенты недостачи элементов с потенциалами ионизации от 4 до 8 В. Это возможно лишь при достаточно полном захвате атомов магнитным полем и предполагает высокую степень ионизации частиц. Таким образом, энергетическая обстановка в протопланетном облаке на стадии магнитной сепарации обеспечивала достаточно полную ионизацию атомов элементов с потенциалами ионизации, близкими к 8 В. Энергия ионизации, равная 8 эВ, соответствует примерно 770 кДж/моль и намного превышает энергию химической связи кислорода с другими элементами. Данная оценка энергетического состояния системы в виде привычного термодинамического параметра наглядно выявляет бессмысленность разговоров о какой-либо химии на этапе «магнитного сепаратора». В таких условиях все химические соединения должны были полностью диссоциированы.

Итак, если на этапе магнитной сепарации возможность химического взаимо-

⁹ Г. Альфвен допускал возможность захвата протопланетного облака Солнцем, в процессе чего частицы, падая на звезду, ионизировались и останавливались в магнитном поле. Однако при этом легкоионизируемые элементы отстояли бы дальше от Солнца по сравнению с трудноионизируемыми. Мы же имеем обратную зависимость.

¹⁰ Изложение выводов Дж. Иокиппи можно найти в книге: Мороз В. И. Физика планет. М.: Наука, 1967.

действия исключена (и мы не можем допустить существования кислорода в виде каких-либо соединений), то следует предположить, что потенциал ионизации кислорода в протовеществе оставался на уровне, характерном для этого элемента (13,6 В). Следовательно, кислород не мог удерживаться магнитным полем Прото-солнца наравне с металлами (потенциалы ионизации которых близки к 7—8 В) и должен был преимущественно выталкиваться вместе с другими трудноионизируемыми газами из зоны планет земного типа в зону формирования планет-гигантов. Таким образом, первое предположение оказалось неприемлемым, и мы можем принять второе, из которого следует, что исходное содержание кислорода на Земле было значительно ниже, чем принято считать, но в процессе развития планеты он, по всей вероятности, перераспределился и скопился во внешних геосферах, что обусловило «кислородную аномалию».

Наконец, мы подошли к главному тезису данной статьи: на основе процесса магнитной сепарации элементов можно оценить (конечно, в первом приближении) исходный состав Земли. При этом следует руководствоваться формулой $K_3 = K_c \cdot F$, где K_3 — искомая концентрация элемента на Земле, K_c — известная концентрация элемента на Солнце, F — коэффициент недостачи (дефицит) элемента на Земле.

В данном выражении предусматривается «исходное» значение дефицита, обусловленное процессом магнитной сепарации, и его необходимо отличать от «наблюдаемого» коэффициента недостачи, полученного при сравнении внешних геосфер Земли с Солнцем, поскольку внешние оболочки по ряду элементов могут существенно отличаться от исходного состава планеты. Исходный коэффициент недостачи для элементов, выпадающих из общей закономерности (перераспределившихся в теле планеты), определяется путем переноса их согласно потенциалу ионизации в область основной совокупности точек, положение которой в координатах «потенциал ионизации» — «дефицит» определено магнитной сепарацией.

Характер расположения на графике металлов, имеющих потенциалы ионизации 8 В и ниже, показывает, что их коэффициенты недостачи близки по величине и примерно равны единице. Это, очевидно, следствие достаточно полной ионизации данных металлов и, соответственно, полного захвата их магнитным полем. Следова-

тельно, Земля как бы унаследовала солнечный спектр металлов (с потенциалами ионизации до 8 В), т. е. относительные концентрации металлов на Земле должны соответствовать их относительной распространенности на Солнце. Отсюда вытекает, что среди металлов на нашей планете должны преобладать кремний, магний и в меньшей мере железо, так как они доминируют среди металлов на Солнце. Подчиненное значение будут иметь алюминий, кальций и натрий. Содержания других металлов должны быть малыми (доли процента) и исчезающе малыми. Сера, углерод и азот — наиболее распространенные элементы на Солнце (после водорода и гелия), однако они имеют высокие потенциалы ионизации и, соответственно, их относительные концентрации на Земле должны быть меньше в сотни и тысячи раз (см. табл.). Если магнитная сепарация кислорода происходила в соответствии с его ионизационным потенциалом (как мы выяснили, иных вариантов быть не могло), то на графике он не должен выходить за пределы прямой, ограничивающей всю совокупность точек сверху. Этим определяется верхний предел «исходного» дефицита, в соответствии с которым распространенность кислорода в теле планеты должна быть меньше на три порядка относительно его содержания на Солнце.

Общий баланс исходных (средних для планеты) концентраций, основанный на явлении магнитной сепарации элементов, представлен в виде таблицы. Несмотря на «приблизленно количественный» характер этих данных, они совершенно однозначно свидетельствуют против «главной догмы» в науках о Земле. Основной объем нашей планеты не может быть представлен плотнейшей упаковкой из анионов кислорода, поскольку магнитная сепарация ограничивает возможную концентрацию кислорода в массе Земли в пределах одного — максимум нескольких процентов.

Однако не следует забывать, что протовещество, стекавшее некогда с Прото-солнца, — это прежде всего водород. Он не попал на график зависимости дефицита элементов во внешних оболочках Земли от потенциалов ионизации этих элементов, поскольку неизвестна его концентрация на Земле. Но если принять его коэффициент недостачи равным 10^{-3} — 10^{-4} (согласно потенциалу ионизации 13,6 В), то исходная концентрация водорода на нашей планете даже при нижнем значении коэффициента будет достаточной для нахождения всех элементов в виде

Таблица

Исходный состав Земли (в свете процесса магнитной сепарации)*

Элемент	Распространенность на Солнце (на 100 атомов кремния).	Распространенность на Земле		Коэффициент недостачи
		на 100 атомов кремния	мас. %	
Кремний	100	100	45	1
Магний	79	79	31	1
Железо	13	13	12	1
Кальций	4,5	4,5	3	1
Алюминий	5	5	2	1
Натрий	3,6	3,6	1,5	1
Кислород	3 000	3,0	1,0	10^{-3}
Углерод	1 600	0,16—1,6	0,03—0,3	10^{-3} — 10^{-4}
Сера	60	0,06—0,6	0,03—0,3	10^{-3} — 10^{-3}
Азот	300	0,003—0,03	<0,01	10^{-4} — 10^{-5}
Водород	3 000 000	300	4,5	10^{-3} — 10^{-4}

* Состав Солнца принят по Л. Аллеру. К распространенности железа добавлена распространенность марганца, хрома и кобальта.

водородистых соединений со стехиометрией типа MeH—MeH_2 . Таким образом, изначальный состав Земли, по всей вероятности, был представлен водородистыми соединениями — гидридами, при этом весовая доля водорода в общей массе планеты составляла всего лишь несколько процентов.

КОГДА ЖЕ ПРОИЗОШЛА КОНДЕНСАЦИЯ ПРОТОПЛАНЕТНОГО ВЕЩЕСТВА?

Следует отметить, что вывод об изначальном гидридном составе Земли входит в резкое противоречие с привычными представлениями о быстрой конденсации вещества протопланетного диска в твердые частицы и тела (вплоть до астероидных размеров), из которых впоследствии формировались планеты. Разумеется, если в диске менее чем за один год вырастали частицы сантиметровых размеров (так принято считать), то ни о какой магнитной сепарации не может быть и речи, поскольку такие агломерации будут невосприимчивы к электромагнитному воздействию. На этом основании некоторые исследователи отрицают возможность магнитной сепарации, но мы не можем согласиться с таким подходом. Представление о быстрой конденсации протопланетного вещества в диске является априорной умозрительной посылкой¹¹. Идея же о магнитной сепарации про-

топланетного вещества базируется на реально существующих космохимических закономерностях, установленных эмпирически. Поскольку любая умозрительная концепция прежде всего должна удовлетворять (или, по крайней мере, не противоречить) эмпирически установленным фактам, то в данном случае предпочтительнее оказывается версия «магнитной сепарации», тогда как идея «быстрой конденсации» должна быть существенно откорректирована.

В соответствии с выявленными космохимическими закономерностями можно утверждать, что конденсация в диске могла начаться лишь после того, как осуществилась магнитная сепарация.

В этой связи интересно обсудить еще один очень важный аспект — положение «хвоста» благородных газов (см. рис. на с. 19). Оно свидетельствует о том, что в процессе аккумуляции Земли (от рассеянного вещества протопланетного диска до твердого тела планеты) инертные газы сохранились именно в тех количествах, которые были обусловлены магнитной сепарацией.

ский барьер» заряженных (ионизированных) частиц и при этом какое-то время сохранялся источник ионизации — короткоживущие изотопы? В такой ситуации, несмотря на охлаждение диска, конденсация не начнется и вещество будет пребывать в виде холодной (вернее, неизолированной) плазмы, имеющей низкую ионно-атомную и высокую электронную температуру.

¹¹ Она правомерна лишь в том случае, если конденсация зависела только от температуры. Ну а если слипанию препятствовал «кулонов-

рацией, т. е. каким-то образом избежали рассеивания. Естественно, что при конденсации протопланетной материи в твердые тела и последующей их аккумуляции в единое тело планеты¹² невозможно обойтись без потерь неконденсируемых элементов (прежде всего благородных газов, химически инертных и имеющих низкие температуры отвердевания).

В настоящее время в космогонии, по существу, безраздельно господствует концепция аккреции (сращения) планет земного типа из твердых частиц. Ее активно разрабатывали и продолжают разрабатывать, несмотря на то что она обнаружила многие несоответствия при строгой численной проверке. В частности, на основе твердотельной аккреции так и не удалось получить такие основные параметры Солнечной системы, как характерное число планет, закон планетных расстояний, реально наблюдаемые особенности вращения и др. Поскольку космохимические закономерности противоречили общепринятым представлениям, мы с особым вниманием следили за всеми новинками в данной области космогонии. И наше ожидание было сполна вознаграждено.

В конце 70-х годов в Институте прикладной математики АН СССР была предложена и к настоящему времени разработана в деталях радикально новая модель аккумуляционного процесса формирования Солнечной системы. Ее авторы Т. М. Энеев и Н. Н. Козлов показали, что все главнейшие особенности планетной системы могут быть получены (при строгом численном моделировании на ЭВМ) лишь в том случае, если протопланетный диск на всем этапе аккумуляции планет был представлен не твердыми частицами, а весьма разреженными глобулами — «каплями», плотность которых на несколько порядков меньше плотности твердых тел. При этом необходимо, чтобы глобулы были плотно упакованы и взаимодействовали между собой (в связи с силами гравитации) по закону абсолютно неупругого удара.

При детальном знакомстве эта модель подкупает своей внутренней согласованностью. Нам же представляется особенно важным, что данный механизм предполагает полный захват протопланетного

вещества формирующейся протопланетой без всякого остатка и потерь. Кроме того, согласно теории Энеева — Козлова, Протоземля непосредственно после процесса аккумуляции, уже вобрав в себя все вещество из своей зоны, какое-то время (примерно 10^3 — 10^4 лет) представляла собой протяженную и разреженную сферу с радиусом около 1 млн км. После завершения процесса аккумуляции в подобном агрегатном состоянии какое-то время должны были находиться и другие планеты (в противном случае не представляется возможным объяснить наблюдаемые наклоны осей вращения планетных тел¹³). И лишь впоследствии все протопланеты, равным образом и Протоземля, претерпевали сжатие в плотные планетные тела. Таким образом, с точки зрения небесной механики и наших космохимических данных, конденсация протопланетного вещества началась на стадии сжатия протопланет и не могла существенно сказаться на их химическом составе.

Модель Энеева — Козлова хорошо согласуется и с нашим выводом о плазменном состоянии протопланетного вещества (в зоне планет земного типа), при котором кулоновский барьер должен был препятствовать конденсации, а газодинамическое давление плазмы могло противостоять силам гравитации и удерживать протопланетные глобулы и сами протопланеты от сжатия (покуда существовал источник ионизации).

МОДЕЛЬ ИЗНАЧАЛЬНОЙ ЗЕМЛИ

Поскольку мы утверждаем, что исходный состав Земли и планет земного типа был гидридным, то в процессе дискуссий оппоненты настоятельно требовали показать, каким образом в протопланетном облаке могли появиться гидриды. Следует отметить, что данное требование правомерно лишь в том случае, если правомерны представления о твердотельной аккреции планет и если конденсация определяла их состав. Как было показано выше, мы придерживаемся совершенно иной точки зрения на процессы образования планет. В нашем понимании химический состав планет на стадии формирования протопланетного диска был опреде-

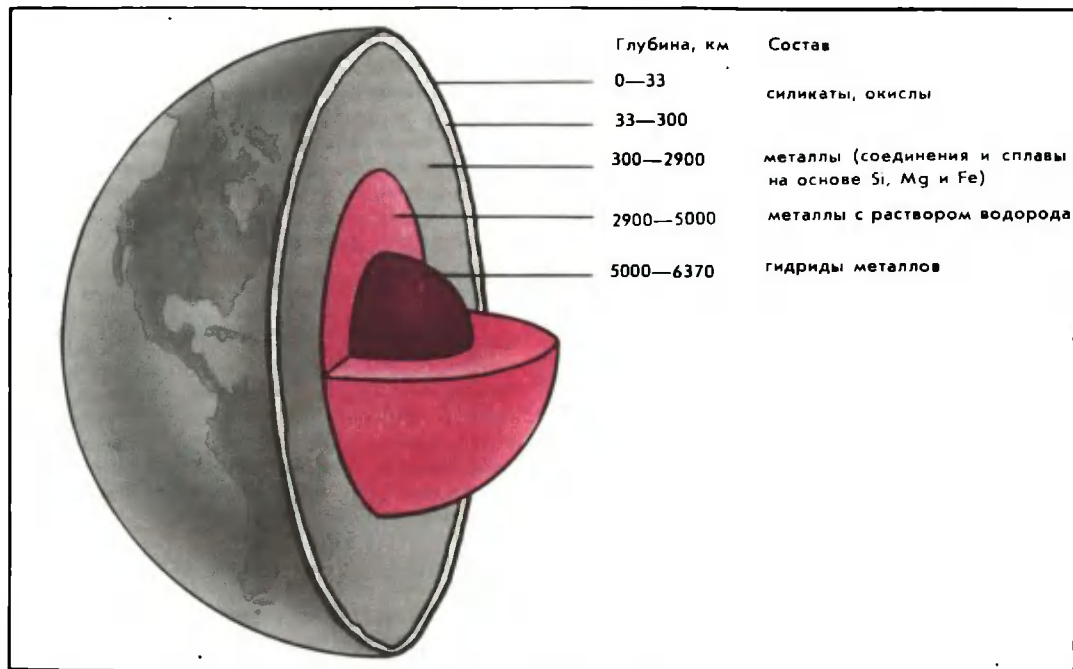
¹² Сторонники данной точки зрения этот процесс представляют в виде весьма энергичной бомбардировки зародыша планеты телами астероидных размеров.

¹³ В данном вопросе Т. М. Энеев и Н. Н. Козлов привлекают теорию движения спутника относительно центра масс в гравитационном поле, разработанную В. В. Белецким.

лен исключительно магнитной сепарацией. Впоследствии протопланетный диск распался на отдельные глобулы, коагуляция которых (согласно модели Энеева—Козлова) привела к образованию протопланет. По мере истощения источника ионизации (распада короткоживущих изотопов) протопланеты земной группы под действием сил гравитации претерпели сжатие, и, по всей вероятности, только на этой стадии в них начались процессы образования химических соединений и конденсация.

Очевидно, нет необходимости рас-

и его коллегами¹⁴, можно утверждать, что практически все металлы образуют гидриды, если систему «металл — водород» сжать до давлений порядка 10^5 атм. При этом давление и температура воздействуют на систему металл—водород диаметрально противоположно. Рост давления способствует повышению растворимости водорода в металле и гидридообразованию. Подъем температуры, напротив, вызывает разложение гидридов, в процессе которого атомы водорода теряют химическую связь с атомами металла и при-



Новая геохимическая модель Земли.

сматривать всю цепь химически равновесных соединений в условиях меняющихся температур и давлений сжимающейся протопланеты, а достаточно показать, какие соединения должны были присутствовать в недрах новорожденной Земли в конце процесса ее сжатия и уплотнения. Согласно нашим построениям, возможен лишь единственный вариант — водородные соединения, поскольку предполагается (модель Энеева — Козлова), что газы удерживались в процессе аккумуляции планет.

После синтеза гидридов переходных металлов, проведенного Е. Г. Понятовским

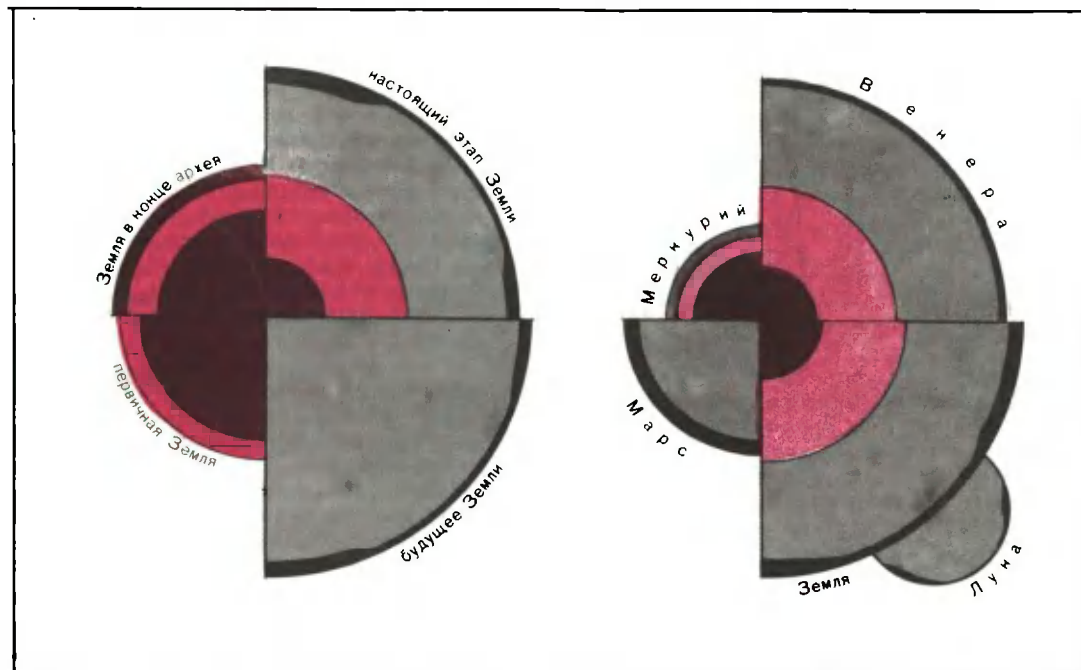
существуют в его объеме в растворенном виде; дальнейшее повышение температуры обуславливает дегазацию водорода из металла.

Следует также отметить исключительно высокую сжимаемость гидрид-иона (H^-), которая обусловлена отсутствием у него внутренних плотных электронных оболочек, имеющих у всех остальных элементов и их ионов. По этой причине ионные гидриды (существующие при комнатных температуре и давлении) оказываются гораздо плотнее исходных элементов, не содержащих водорода. Большая плотность

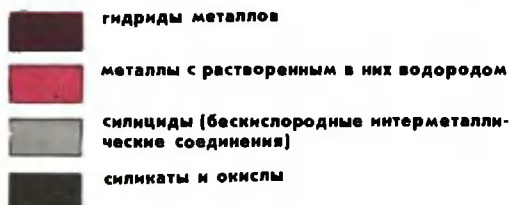
¹⁴ Кост М. Е., Понятовский Е. Г. Гидриды в водородной энергетике.— Природа, 1980, № 12, с. 11.

гидридов по сравнению с исходными металлами свойственна щелочным и щелочноземельным элементам, которые максимально различаются с водородом по электроотрицательности, чем и обусловлена значительная доля ионной связи в этих соединениях. Кремний, магний и железо (согласно нашей модели, преобладающие на Земле) меньше отличаются от водорода по электроотрицательности. Поэтому в гидридах данных элементов преобладает не ионная, а другие типы связи (ковалентная, а у железа — металлическая). Со-

ответственно, отсутствует катион-анионное сжатие решетки, в силу чего гидриды имеют меньшую плотность по сравнению с исходными элементами. Однако можно быть уверенным, что под давлением в сотни тысяч и миллионы атмосфер (давление в центре Земли достигает 3,5 Мбар) водородистые соединения металлов будут трансформироваться в фазы с максимальной возможной сжимаемостью, чтобы при сохранении массы занимать минимальный объем, т. е. будут трансформироваться



Внутреннее строение Земли на различных этапах ее развития (слева) и особенности внутреннего строения планет земного типа на современном этапе (справа). Обе модели основаны на концепции изначального гидридного состава планет земного типа.



в ионные гидриды, поскольку гидрид-ион является чемпионом по сжимаемости.

В связи с этим легко представить, чем могло завершиться противоборство температуры и давления в недрах сжимающейся Протоземли. Во внутренних частях планеты в зоне мегабарного диапазона давлений должны были сформироваться плотные ионные гидриды; эта зона была окружена сферой из металлов с растворенным в них водородом, тогда как снаружи могла существовать оболочка, из которой водород частично или даже полностью дегазировался. Отсутствие соответствующих экспериментальных данных не позволяет оценить в настоящее время положение границ указанных зон в теле изначальной планеты, но на данном этапе исслед-

дований определенную ценность имеет и эта, чисто качественная картина, поскольку из нее мы можем получить модель современной Земли.

СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ И ПЛАНЕТ ЗЕМНОГО ТИПА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

В качестве причины дальнейшего развития изначальной Земли мы принимаем традиционные представления о разогреве ее недр радиогенным теплом, поступающим от распада урана, тория и калия. Поскольку возможности увеличения давления были к этому времени исчерпаны, то повышение температуры могло обусловить дегазацию водорода из недр планеты и постепенное увеличение объема внешней оболочки за счет сокращения внутренних зон. Таким образом, со временем внешняя оболочка планеты должна была увеличивать свою мощность, тогда как объемы сферы с растворенным водородом и гидридной центральной зоны сокращались.

При таком характере развития планеты ее недра постоянно продувались водородом. В этой связи отметим, что в металлургии уже более 30 лет продувка металлов водородом применяется как один из самых мощных методов их очистки от примесей, и в первую очередь от кислорода. Соответственно, и недра Земли должны были очищаться от примеси кислорода, который скапливался во внешней геосфере, чем и было обусловлено образование силикатно-окисной оболочки планеты (Земля позволяет диссипировать в космическое пространство только водороду и гелию).

Итак, мы получили новую геохимическую модель нашей планеты. От традиционных моделей она отличается прежде всего ограниченным распространением кремний-кислородной оболочки на глубину (300 км под континентами, а под океаном и того меньше). Основной объем мантии сложен бескислородными соединениями и сплавами на основе кремния, магния и, в меньшей мере, железа (с соответствующими примесями кальция, алюминия, натрия и др.), которые во внешней части земного ядра содержат растворенный водород, а во внутренней его части представлены гидридами этих элементов¹⁵.

Исследование новой геохимической модели показало, что она согласуется с современными данными по физике ядра и мантии планеты, весьма упрощает решение проблемы геомагнетизма и, что самое главное, на основе одного ведущего процесса (дегазации водорода из внутренних геосфер) дает возможность увязать всю гамму глобальных геологических явлений (образование океанов, геосинклинальный процесс, горообразование и др.), позволяет существенно приблизиться к пониманию их внутренних причин, а также причин эволюции геодинамического режима на протяжении всей геологической истории, начиная с самых ранних ее этапов. На основе нашей модели оказалось также возможным увязать в единую цепь многие петролого-геохимические явления и показать их причинную обусловленность¹⁶.

В заключение нам хотелось бы напомнить известный афоризм, утверждающий, что новое — это не что иное, как хорошо забытое старое. Оказывается, еще в 30-х годах, учитывая «...господствующее положение водорода в химии мироздания», В. И. Вернадский предполагал, что в недрах Земли «...кислород быстро сходит на нет, начинают все более преобладать металлы... и, по-видимому, растет количество водорода...», что «...должно привести к сохранению в ... глубинах водородистых соединений, и в том числе растворов водорода в металлах»¹⁷. По нашему мнению, настало время вернуться к идее, высказанной В. И. Вернадским, и всесторонне обсудить ее правомерность на современном уровне развития естествознания.

металлы (в связи с дегазацией водорода) могли сопровождаться значительным увеличением объема.

¹⁶ Все эти вопросы рассмотрены в монографии: Ларин В. Н. Гипотеза изначальной гидридной Земли. М.: Недра, 1980.

¹⁷ Вернадский В. И. Избр. соч., т. 4, кн. 2. М., 1970, с. 13—14.

¹⁵ Весьма любопытно, что данные построения приводят к выводу о возможности расширения Земли в процессе ее развития, поскольку разложение гидридов и трансформация их в

Уникальный объект SS433

П. И. Колыхалов, Ю. Э. Любарский

Институт космических исследований АН СССР
Москва

В нашей Галактике несколько десятков миллиардов звезд, но лишь единицы удостоились столь большого внимания, каким окружен последнее время «уникальный объект SS433». Даже когда речь шла о нем, как всего лишь о небольшой звездочке 14-й звездной величины в созвездии Орла, у астрономов были основания обратить на него особое внимание. Во-первых, эта звезда находилась практически в центре радиотуманности W50, являющейся остатком вспышки сверхновой. (В 1978 г. в этой туманности обнаружили два точечных радиоисточника, один из которых совпадал с интересующей нас звездой.) Во-вторых, рентгеновские наблюдения позволили отождествить с этой звездой точечный рентгеновский источник A1909+048.

В 1977 г. этот звездный объект попал в каталог Б. Стефенсона и Н. Сандулака, содержащий объекты с яркими линиями излучения, и с тех пор стал известен как SS433. Наличие ярких линий излучения в спектре какого-либо объекта говорит о том, что этот объект — не совсем обычная звезда, а, возможно, вообще не звезда. Так, например, яркие линии излучения — характерная особенность квазаров, которые находятся далеко за пределами нашей Галактики и имеют явно не звездную природу. В 1978 г. группа Б. Маргона из Калифорнийского университета (США) опубликовала данные спектроскопических исследований SS433 в оптическом диапазоне. Результаты были столь неожиданными, что в дальнейшем названию SS433 даже в сугубо научных статьях сопутствовали эпитеты «странный», «уникальный», «удивительный».

В спектре SS433, помимо обычных линий излучения водорода и гелия, были

обнаружены линии, которые не удалось сразу отнести к каким-либо известным элементам. Правда, довольно быстро астрономы поняли, что это тоже линии водорода и гелия, но только смещенные в красную (длинноволновую) и синюю (коротковолновую) области спектра. Такой спектр получится, если мы будем одновременно наблюдать три облака излучающего газа, одно из которых покоится, второе движется по направлению к нам, а третье — от нас со скоростями в десятки тысяч километров в секунду.

Дальнейшие наблюдения показали, что величина смещения линий относительно их нормального положения в спектре меняется с периодом 164 дня. Как можно объяснить такую зависимость смещения от времени?

Пусть два облака газа движутся со скоростью v в противоположных направлениях вдоль прямой, составляющей угол φ с направлением на наблюдателя. Если газ в облаке излучает на длине волны λ_0 , то благодаря эффекту Доплера наблюдатель будет принимать излучение на двух длинах волн:

$$\lambda_+ = \lambda_0(1 + \frac{v}{c} \cos \varphi) / \sqrt{1 - v^2/c^2},$$

$$\lambda_- = \lambda_0(1 - \frac{v}{c} \cos \varphi) / \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Если $\varphi = 90^\circ$ (движение происходит в плоскости, перпендикулярной лучу зрения),

то $\lambda_+ = \lambda_- = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, т. е. мы увидим

только одну линию, смещенную за счет поперечного эффекта Доплера. Пусть теперь направление движения меняется с периодом 164 дня. Для того чтобы по-

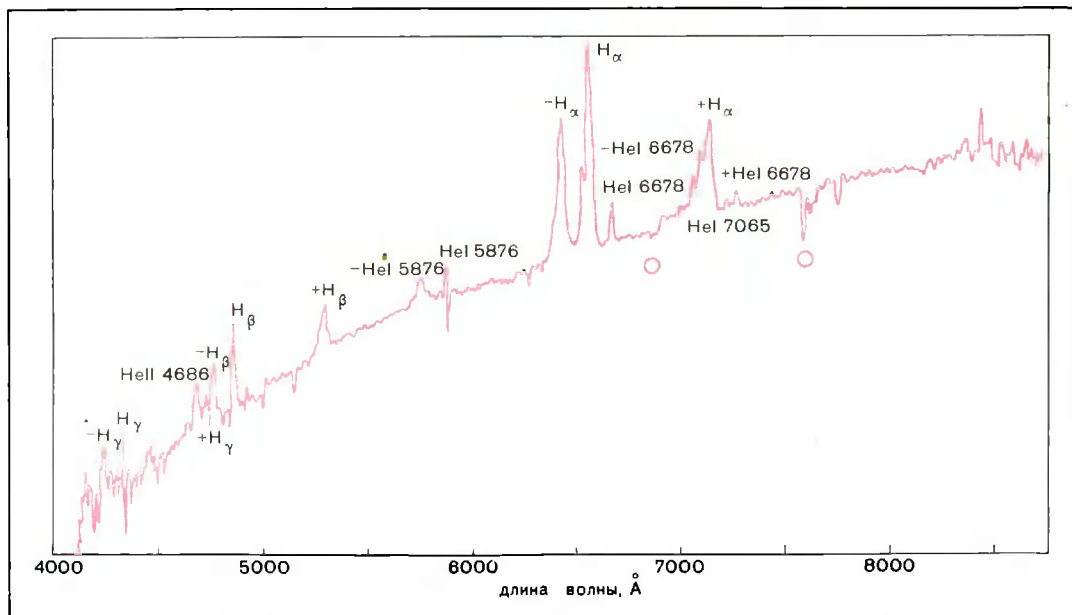
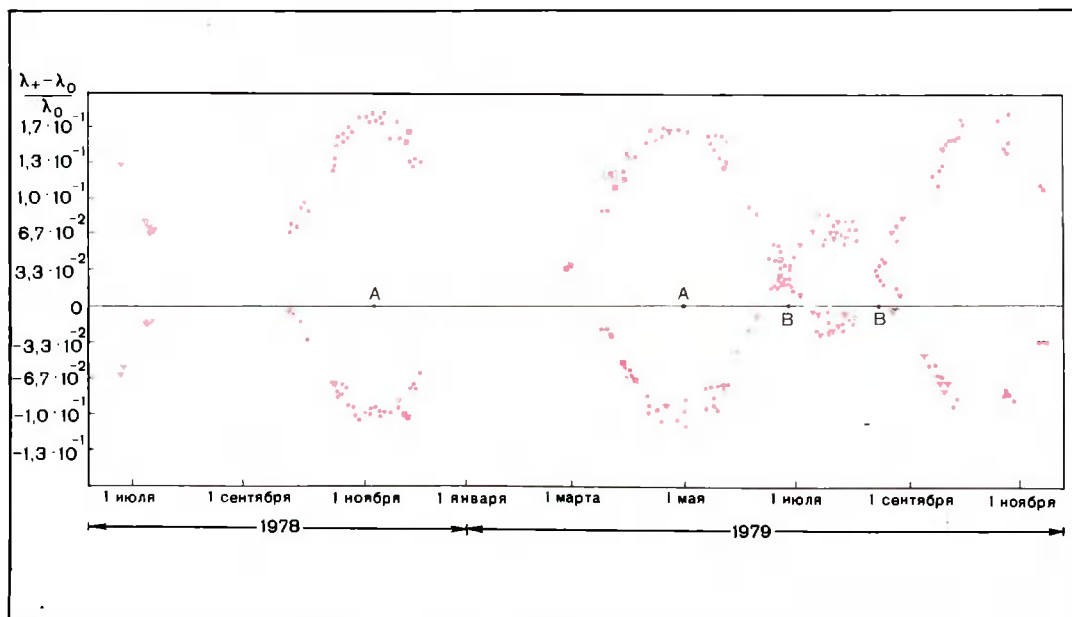


Рис. 1. Спектр SS433. Указаны линии излучения водорода и гелия. Символы «+» и «-» обозначают линии, смещенные соответственно в красную и синюю сторону относительно нормального положения. Символом $\circ$ обозначены линии поглощения, образующиеся в межзвездной среде и в атмосфере Земли. (Margon B., Ford H. C., Grandi S. A., Stoun R. P. S. — *Astrophys. J. Lett.*, 1979, v. 233, L. 63.)

Рис. 2. Зависимость от времени красного и синего смещения линий излучения в спектре SS433 [сводная таблица всех имеющихся данных наблюдений]. По оси ординат отложена величина отношения смещения к нормальной длине волны линии $(\lambda_{\pm} - \lambda_0)/\lambda_0$. (Margon B., Ford H. C., Grandi S. A., Stoun R. P. S. — *Astrophys. J. Lett.*, 1979, v. 233, L. 63).



лучить зависимость λ_+ и λ_- от времени, близкую к той, что изображена на втором рисунке, максимальный угол φ_1 должен быть равен $\sim 95^\circ$, минимальный $\varphi_2 \sim 61^\circ$, а скорость $v \sim 0,27$ с.

Линии излучения SS433 оказались относительно узкими, их смещения в десятки раз превосходили собственную ширину линий, следовательно, скорость внутреннего движения в излучающих облаках существенно меньше скорости направленного движения этих облаков как целого.

Итак, первый важный вывод состоял в том, что в SS433, помимо покоящегося газа, присутствуют облака, движущиеся в противоположных направлениях с очень большими скоростями.

Выдвигалось много различных гипотез, но испытание временем выдержала только одна, согласно которой газ выбрасывается из объекта в виде двух противоположно направленных струй, причем направление движения вещества в этих струях меняется с периодом 164 дня. Сама область, содержащая струи и излучающая в оптическом диапазоне, настолько мала, что даже в самые большие телескопы представляется в виде точки; однако современные радиоинтерферометры позволили выделить на расстоянии $5 \cdot 10^{16}$ см от SS433 «радиовыбросы». Кроме того, наблюдения структуры туманности W50 в радио- и рентгеновском диапазонах показали, что по обе стороны от SS433 существуют вытянутые образования существенно больших размеров, которые ориентированы в том же направлении, что и радиовыбросы. Их легко объяснить как результат взаимодействия струй с веществом туманности. Размер этих образований приблизительно равен 30 парсекам ($\sim 10^{20}$ см), отсюда можно заключить, что истечение вещества продолжается по крайней мере 400 лет, так как за меньшее время газ просто не успел бы уйти так далеко.

Идея о выбросах была навеяна наблюдениями активных внегалактических источников, таких как квазары, радиогалактики и др. Многочисленные данные наблюдений говорят о наличии в них очень компактных ядер, из которых с огромными скоростями выбрасывается газ. Иногда эти струи видны и в оптическом диапазоне (например, у квазара 3C273), но гораздо чаще о наличии выбросов, причем, как правило, двух противоположно направленных, свидетельствует радиоструктура окружающих ядро областей. Поэтому вполне возможно, что в SS433 происходят аналогич-

ные процессы, хотя их масштабы должны быть значительно скромнее, так как оказалось, что объект принадлежит нашей Галактике. По линиям поглощения, которые возникают в спектре источника при прохождении света от него сквозь межзвездную среду, удалось определить расстояние до SS433; оно составило всего лишь 3,5 кпс, что меньше характерных размеров Галактики. Кроме того, существует метод определения расстояний до остатков вспышек сверхновых, основанный на типичной зависимости размера остатка от его яркости. То, что измеренное таким образом расстояние до W50 также оказалось близким к 3,5 кпс, не только подтверждает важный вывод о галактической природе SS433, но и говорит о том, что объект действительно находится внутри туманности, а не просто проецируется на ее изображение. В настоящее время SS433 наблюдается в различных диапазонах электромагнитного излучения.

Особый интерес представляют наблюдения периодичности оптического и инфракрасного излучения от этого объекта. Именно эти данные позволили заключить, что в состав SS433 входит двойная система. С помощью точных спектроскопических измерений удалось установить, что «несмещенная» система линий в спектре на самом деле слегка меняет свое положение с периодом 13 дней. Такое смещение линий — следствие орбитального движения компонент двойной системы. Необходимо подчеркнуть, что периодические движения в ней происходят со скоростями существенно меньшими, чем скорость света, и связанные с ними смещения спектральных линий намного меньше тех, которые обсуждались ранее и обусловлены скоростями, близкими к скорости света.

Фотометрические наблюдения (измерение полной яркости объекта) позволили, кроме тринадцатидневного периода, выделить также период в 6,5 дня. Существование фотометрического периода, равного половине спектроскопического, — характерная черта тесных двойных систем, в которых форма звезды, дающей основной вклад в светимость, искажена гравитационным полем второй компоненты. В этом случае при повороте системы на 180° вокруг собственной оси мы увидим почти ту же картину, что и при повороте на 360° . Однако смещение спектральных деталей при повороте на 180° меняет знак, так как скорости по отношению к наблюдателю меняют направления на противоположные.

Что можно сказать о компонентах этой двойной системы? Одна из них, по-

видимому, массивная горячая звезда класса OI или Вольфа-Райе, она и обеспечивает практически всю оптическую светимость системы. Такие звезды могут терять в виде звездного ветра до 10^{-4} — 10^{-5} масс Солнца в год (для сравнения, наше Солнце теряет в миллионы раз меньше вещества). Часть этого вещества может захватываться второй (невидимой) компонентой системы и падать на нее. Если вторая компонента — нейтронная звезда или черная дыра, то при аккреции вещества должна выделяться очень

рентгеновского излучения¹. В случае SS433 мы встречаемся, по-видимому, с ситуацией, когда скорость аккреции настолько велика, что источник «захлебывается»: давление излучения выбрасывает часть вещества вообще из системы.

Никто пока не может объяснить, как возникают узкие струи газа, движущегося с огромными скоростями. Но ясно, что энергии, выделяемой при аккреции, вполне достаточно, чтобы разгонять газ до столь больших скоростей. Такая ситуация не мо-

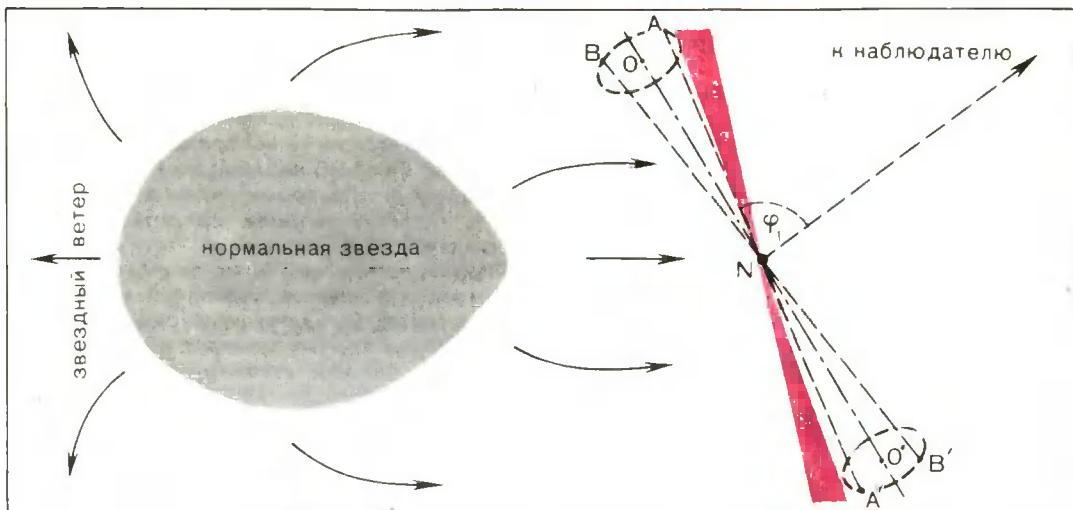


Рис. 3. Модель SS433. Вещество, теряемое нормальной звездой, захватывается компактным объектом N, вблизи которого формируются потоки, движущиеся со скоростями $\sim 82\,000$ км/с. Газовые струи описывают конус вокруг оси OO' за 164 дня. Когда газ движется вдоль направления AA' , смещение спектральной линии максимально и мы видим линии на

длинах волн $\lambda_{\pm} = \lambda_0 \frac{1 \pm \cos \varphi_1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ (момент A на

рис. 2). В положении BB' газ движется перпендикулярно лучу зрения, и смещение обусловлено только поперечным эффектом Доплера: $\lambda_+ = \lambda_- = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ (момент B на рис. 2).

большая энергия, до 10% энергии покоя падающего вещества (напомним, что при термоядерных реакциях высвобождается только 0,7% энергии покоя). В результате система становится мощным источником

жет продолжаться долго; за время порядка 10^5 лет нормальная звезда потеряет существенную часть своей массы, истечение вещества из системы прекратится, и оптические выбросы исчезнут, но радио- и рентгеновская структура туманности могут существовать значительно дольше. Возможно, что когда-то столь же «уникальным» был и двойной рентгеновский источник Скорпион X-1, вблизи которого сейчас наблюдаются два симметричных облака, излучающих в радиодиапазоне.

В зависимости от способа образования струй можно предположить по крайней мере два механизма периодического изменения их направления. Если выбросы формируются у магнитных полюсов нейтронной звезды, то их направление может меняться, так как вследствие релятивистских эффектов прецессирует сама нейтронная звезда. Если струи формируются в центральных областях аккреционного диска, то их направление должно совпадать с направлением нормали к диску. Диск

¹ Сюняев Р. А., Шакура Н. И. Жизнь умирающих звезд (Совсем другая Вселенная). — Природа, 1975, № 10, с. 46.

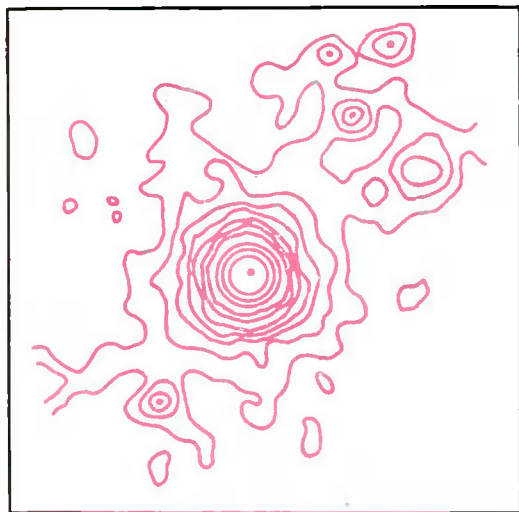


Рис. 4. Туманность W50 в рентгеновских лучах (вверху). Нанесены линии равной яркости. [Seward F., Grindlay J., Seaquist E., Gilmore W.— Nature, 1980, v. 287, p. 807.] Аналогичную структуру туманность имеет и в радиодиапазоне. Для сравнения (внизу) приведены радиоизображения двойных внегалактических радиисточников.

же будет менять ориентацию в пространстве, когда меняется направление вращательного момента вещества, перетекающего от нормальной звезды к нейтронной. Достаточно большой вращательный момент у этого вещества — необходимое условие дискового режима аккреции, а направление момента изменяется, если нормальная звезда прецессирует (например, под действием гравитационного притяжения со стороны второй компоненты). Эта картина, по-видимому, подтверждается данными недавних наблюдений, проведенных А. М. Черепашуком и его сотрудниками (ГАИШ)². Они обнаружили зависимость между амплитудой 13-дневной переменности и фазой 164-дневного периода. Если 13-дневные колебания блеска объясняются затмениями звезды диском, то в зависимости от ориентации диска глубина затмений будет меняться: когда диск повернут к нам ребром (точка В на рис. 2), затмений практически нет. Когда же диск максимально развернут к нам (точка А), глубина затмений также максимальна. По оценкам А. М. Черепашука, масса релятивистского объекта порядка десяти солнечных. Подобная прецессия диска, по-видимому, происходит и в двойной рентгеновской системе Геркулес X-1.

В описанной модели SS433 еще много пробелов и неясностей. Однако несомненно, что астрономы впервые столкнулись с новой стадией эволюции двойных рентгеновских систем. Эта стадия характеризуется высокой активностью системы, обусловленной очень большой скоростью перетекания вещества от нормальной звезды к релятивистской компоненте. В таком состоянии объект живет малое время, и, возможно, некоторые рентгеновские системы уже миновали эту стадию, перейдя в более спокойное состояние.

Сейчас главная проблема заключается в том, чтобы объяснить, как возникают выбросы. Подобная трудность существует и при построении теории активных внегалактических объектов, например, квазаров. Однако SS433 дает уникальную возможность вблизи изучать процессы, аналогичные тем, что происходят — в значительно больших масштабах — далеко за пределами нашей Галактики. Поэтому, возможно, именно SS433 даст нам ключ к пониманию природы квазаров — самых грандиозных явлений во Вселенной.

² Черепашук А. М. и др.— Астрон. циркуляр, 1980, № 1145—1147.

Ионные каналы постсинаптической мембраны

П. Д. Брежестовский, В. Л. Дунин-Барковский, Т. В. Потапова



Петр Дмитриевич Брежестовский, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института физиологически активных веществ АН СССР. Занимается исследованием рецепторов и ионных каналов хемовозбудимых мембран.



Виталий Львович Дунин-Барковский, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Института проблем передачи информации АН СССР. Занимается исследованием нейронных сетей и электрических свойств клеточных мембран. Автор монографии: Информационные процессы в нейронных структурах. М.: Наука, 1978.



Татьяна Васильевна Потапова, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Межфакультетской проблемной НИЛ им. А. Н. Белозерского Московского государственного университета. Занимается изучением проницаемости поверхностных и контактных клеточных мембран. Соавтор коллективной монографии: Высокопроницаемые контактные мембраны. М.: Наука, 1981.

Язык, на котором нервная система сообщает свои команды органам-исполнителям, — электрические импульсы. Местом передачи команды с нервного волокна на регулируемую клетку служит синапс — участок близкого контакта окончания нерв-

ного волокна с телом клетки. Время перехода возбуждения через синапс столь коротко, что довольно долго этот процесс считался чисто электрическим. Однако в 1921 г. Отто Леви в изящном эксперименте показал, что в передаче нервного возбуж-

дения участвует химическое соединение.

Леви поместил два лягушачьих сердца в сообщающиеся сосуды: стоило одному сердцу замедлить частоту сокращений в ответ на раздражение своего нерва, как второе сердце через короткий интервал времени тоже реагировало замедлением. Возникло естественное объяснение: в процессе раздражения нерва из первого сердца выделилось какое-то вещество, которое изменило работу второго сердца. Этим веществом-посредником оказался ацетилхолин.

Первые опыты Леви стали уже достоянием историков. С тех пор обнаружено множество химических соединений — медиаторов, участвующих в передаче возбуждения от одной клетки к другой. К ним относятся ацетилхолин, дофамин, норадреналин, глутаминовая и гамма-аминомасляная кислоты и другие вещества. В этой статье пойдет речь только об ацетилхолине и только о действии его на постсинаптическую мембрану — участок поверхности исполнительской клетки в месте контакта с нервным волокном.

В настоящее время ясно, что живые клетки воспринимают и передают сигналы с помощью рецепторов — сложных белковых молекул, входящих в состав клеточных мембран. Ацетилхолиновые рецепторы наиболее тщательно изучены и физиологически, и биохимически. Обширные результаты, полученные при их изучении, проливают в целом свет на проблему взаимодействия химических веществ с мембранными белками, воспринимающими и передающими сигналы.

Для дальнейшего рассказа нам необходимо вспомнить некоторые основные свойства постсинаптической мембраны, активируемой ацетилхолином. Рассмотрим строение синапса на примере мышечного волокна лягушки (рис. 1). Отросток двигательного нервного клетки — мотонейрона, достигнув мышцы, разветвляется и образует «розетку» примерно из десяти веточек над складчатым желобком поверхности мышечного волокна постсинаптической мембраны.

В нервном волокне напротив каждой складочки мышечного волокна имеется скопление везикул — пузырьков диаметром около 300—500 Å. Большинство физиологов считает, что каждый пузырек содержит примерно 10 тыс. молекул ацетилхолина, который выделяется в межклеточное пространство, называемое синаптической щелью. Этот процесс регулируется электрическим полем и ионами кальция.

В состоянии покоя порции ацетилхолина («кванты») выделяются самопроизвольно примерно с частотой 1 квант в секунду. Нервный импульс вызывает одновременный выброс очень большого числа квантов ацетилхолина. Эта наиболее распространенная сейчас точка зрения не единственная: ряд авторов полагает, что ацетилхолин выделяется не из пузырьков, а просто из цитоплазмы нервного окончания. Мы не будем углубляться в эту дискуссию, так как цель нашего рассказа — описать события, проис-

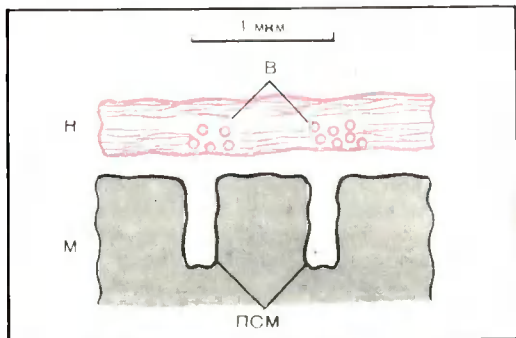


Рис. 1. Структура нервно-мышечного синапса. Н — нервное волокно, М — мышечное волокно, ПСМ — складки постсинаптической мембраны, В — везикулы с ацетилхолином.

ходящие уже после того, как ацетилхолин достиг постсинаптической мембраны (неважно, как выделился и откуда взялся — в конце концов, его можно подвести к мышечному волокну с помощью микропипетки).

Зарегистрировать реакцию постсинаптической мембраны на ацетилхолин можно в электрофизиологическом эксперименте, схема которого изображена на рис. 2. В мышечное волокно вблизи синапса вводят микроэлектрод — конический стеклянный капилляр, заполненный концентрированным раствором электролита. Сопротивление такого электрода при диаметре кончика менее 0,5 мкм — около 10 Мом. Кончик электрода как бы «вживляется» в мышечную клетку и может находиться в ней несколько часов. Раствор электролита в капилляре электрически связан со входом усилителя, что позволяет регистрировать разность потенциалов между внутренней и внешней средой мышечного волокна.

Выделившийся ацетилхолин взаимодействует с рецепторами, расположенными на постсинаптической мембране, и увеличивает ее проницаемость для ионов. Другими словами, ацетилхолин открывает специальные поры, называемые ионными каналами, и уменьшает разность потенциалов между двумя сторонами мембраны. Для мышечной клетки потенциал покоя составляет около 90 мВ, квант медиатора вызывает сдвиг потенциала примерно на 0,5 мВ. В момент прихода нервного импульса

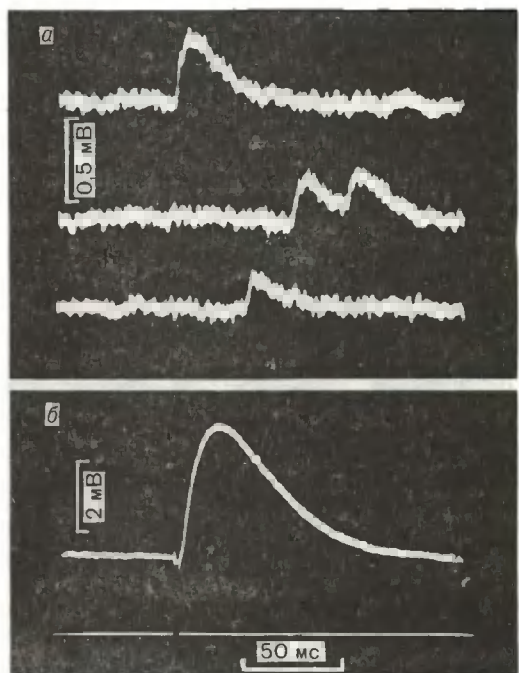
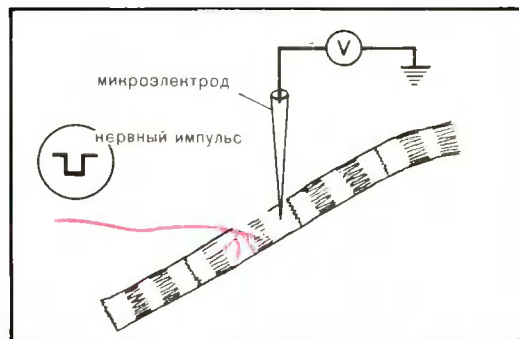


Рис. 2. Схема регистрации электрических ответов постсинаптической мембраны: а — миниатюрные потенциалы, б — вызванный потенциал.

са в течение 0,1 мс выделяется 100—150 квантов медиатора, и мембранный потенциал сдвигается уже на 30—40 мВ: такое изменение потенциала приводит к генерации электрического импульса, бегущего вдоль по мышечному волокну и вызывающего его сокращение.

Анализ электрических сигналов, соответствующих спонтанному выделению ацетилхолина и возбуждению нервного волокна, дал огромную информацию о свойствах синапса и механизмах его работы. Так было доказано, что медиатор увеличивает проницаемость постсинаптической мембраны в основном для ионов натрия и калия, что в активации одного ионного канала участвует, по-видимому, не менее двух молекул ацетилхолина, что после взаимодействия с медиатором рецептор некоторое время находится в пассивном состоянии, что существуют вещества-блокаторы, избирательно «экранирующие» рецепторы постсинаптической мембраны от ацетилхолина. Однако долго не могли решить, как оценить работу одиночного канала, как охарактеризовать реакцию, вызываемую одной, двумя или несколькими молекулами медиатора? Микроэлектродная техника позволяет надежно регистрировать электрические сигналы амплитудой не менее 100 мкВ, а элементарная реакция постсинаптической мембраны должна быть в сотни раз меньше, как показывают простые расчеты. Поэтому, чтобы оценить работу одиночного ионного канала, потребовались новые, оригинальные подходы.

ИНФОРМАЦИЯ ИЗ ШУМА

В марте 1970 г. Нобелевский лауреат в области медицины сэр Бернард Катц положил на стол редактора лондонского журнала "Nature" статью с названием «Мембранный шум, создаваемый ацетилхолином», написанную в соавторстве с Р. Миледи. Из уважения к маститым авторам статья была принята, но с вежливой просьбой не присылать больше работ такого рода. «Если все экспериментаторы начнут исследовать регистрируемые ими шумы и артефакты, то мой журнал либо придется переименовать в «Шум», либо закрыть совсем», — заявил редактор. Он не мог предполагать, что эта работа открывает целое направление исследований и через несколько лет уже десятки статей, опубликованных в самых авторитетных журналах, будут посвящены анализу мембранных шумов.

В опытах с внутриклеточными микроэлектродами Катц и Миледи обратили вни-

мание, что при активации постсинаптической мембраны наблюдается не только сдвиг мембранного потенциала, но и увеличиваются его колебания относительно среднего уровня. Записи мембранного потенциала мышечной клетки при локальном нанесении ацетилхолина в область постсинаптической мембраны с помощью микропипетки показали, что синаптический потенциал сопровождается значительным увеличением амплитуды шума. Катц и Миледи предположили, что этот шум отражает случайные вариации в числе открытых каналов, и попытались проанализировать его статистическими методами.

Анализ шумов удачно применяли еще в начале века для объяснения явлений, происходящих при работе электронных ламп. Было показано, что появление шума связано с независимой работой большого количества элементарных носителей (или проводников) тока. Теоретический анализ параметров шума (например, связи среднего значения и дисперсии тока) позволяет оценить эффективность элементарного носителя тока. В электронной лампе им оказался электрон, а в биологических мембранах — независимые работающие ионные каналы.

Анализируя амплитуду ответа клетки, дисперсию и частотные характеристики шума, можно оценить сопротивление одиночного канала и среднее время, когда канал открыт. Мы не будем здесь излагать, как рассчитывать эти параметры: желающие могут узнать подробности из специальных работ¹. Катц и Миледи рассчитали, что элементарная реакция соответствует открытию одиночного ионного канала сопротивлением около 10^{10} ом примерно на 1 мс, это изменяет потенциал постсинаптической мембраны на 0,5 мкВ.

С помощью нового метода Катц и Миледи исследовали различные воздействия на постсинаптическую мембрану. Оказалось, что аналоги ацетилхолина, обладающие разной способностью активировать постсинаптическую мембрану, открывают ионные каналы на различное время. Например, карбохолин — аналог ацетилхолина, который устойчив к действию ацетилхолинэстеразы (фермент, расщепляющий свободный ацетилхолин), — менее эффективно, чем ацетилхолин, изменяет мембранный потенциал постсинаптической мембраны

и открывает ионные каналы на время, в 3—4 раза меньшее, чем ацетилхолин. А вот, скажем, суберилдихолин, — вещество, активирующее постсинаптическую мембрану сильнее ацетилхолина, — открывает каналы на более долгое время, чем ацетилхолин. В свое время мы, анализируя особенности потенциалов постсинаптической мембраны при изменении концентрации внеклеточного калия², пришли к выводу о более длительной работе ионных каналов постсинаптической мембраны при действии суберилдихолина и низких температур. Катц и Миледи получили прямое подтверждение нашего предположения³.

В дальнейшем, используя более совершенную регистрацию токов, американские исследователи Р. Андерсон и Дж. Стивенс показали, что амплитуда тока через одиночный канал составляет 1—5 пА. Миниатюрный ток, возникающий при выделении одного кванта ацетилхолина из нервного окончания, составляет несколько наномпер, следовательно, миниатюрный ток представляет собой одновременный ответ примерно 1 тыс. ионных каналов.

Итак, благодаря анализу мембранных шумов были определены временные параметры и проводимость индивидуальных ионных каналов, подсчитано количество ионов, проходящих через ионную пору. С этого времени появилась возможность проводить количественные расчеты, касающиеся действия медиаторов, оперируя конкретными физическими величинами. Однако метод позволяет рассчитывать параметры одиночных каналов на основании некоторых допущений, которые сами по себе не очевидны. Наиболее принципиальны из этих допущений следующие:

ионные каналы работают независимым образом;

каждый канал работает по принципу «все или ничего».

Точность оценки амплитуды и времени элементарного ответа существенно зависит от того, насколько верны эти предположения. Доказать или опровергнуть их справедливость можно было лишь путем непосредственной регистрации работы одиночных каналов.

¹ Katz B., Miledi R.— J. Physiol., 1972, v. 224, p. 665; Neher E., Stevens C.— Ann. Rev. Biophys. Bioeng., 1977, v. 6, p. 345.

² Дунин-Барковский В. Л., Ковалева С. А., Магазаник Л. Г., Потапова Т. В., Чайлахян Л. М.— Биофизика, 1969, т. 14, с. 465; Bregestovski P. D., Chailachjan L. M., Dunin-Barkovski V. L., Potapova T. V., Veprintsev B. N.— Nature, 1972, v. 236, p. 453.

³ Katz B., Miledi R.— J. Physiol., 1973, v. 230, p. 707.

ОДИНОЧНЫЕ КАНАЛЫ

Если аналитические оценки верны, и ток, протекающий через один канал, равен 1—5 пА, то обычными электрофизиологическими приемами его зарегистрировать невозможно: столь слабый сигнал будет глубоко замаскирован шумами самой мембраны, амплитуда которых на 1—2 порядка выше. Преодолеть эту трудность можно было бы, уменьшив площадь мембраны: известно, что величина внутренних шумов мембраны пропорциональна ее площади. Попытки зарегистрировать работу постсинаптической мембраны мелких клеток не увенчались успехом, поскольку для регистрации такого мембранного потенциала нужен микроэлектрод с диаметром кончика много меньше половины микрона. Однако сопротивление такого тонкого электрода становится слишком высоким, что приводит к резкому росту уже микроэлектродных шумов.

В 1976 г. западногерманские исследователи Е. Нейер и Б. Сакман предложили новый подход: внеклеточную регистрацию потенциала от очень маленького участка мембраны⁴. Пипетка диаметром 1—3 мкм с тщательно отполированными краями, заполненная солевым раствором, плотно прижималась к поверхности мышечного волокна. Ацетилхолин подавали прямо в солевой раствор внутри пипетки. В этом опыте впервые удалось зарегистрировать непосредственно работу одиночного ионного канала, управляемого медиатором (рис. 3).

Оказалось, что каналы действительно работают по принципу «все или ничего»: генерируют прямоугольные импульсы тока одинаковой величины (амплитудой 1—3 пА) и различной длительности, от 1 до 100 мс. Переход из закрытого состояния в открытое и обратно происходит почти мгновенно. Таким образом, характеристики работы одиночных ионных каналов совпали с расчетными оценками, полученными методом анализа шумов.

Дальнейшее развитие метода Нейера и Сакмана позволило исследовать и другие виды мембран. Удалось зарегистрировать работу активируемых ацетилхолином одиночных каналов культивируемых мышц цыпленка и крысы, активируемых глутаматом ионных каналов мышечных волокон саранчи, а также электровозбудимых мемб-

ран гигантского аксона кальмара и мышц крысы.

И все же, несмотря на успехи в исследовании электрических свойств активируемой постсинаптической мембраны, многие стороны ее работы оставались неясными. Самые точные оценки электрических параметров одиночных каналов ничего не говорили о свойствах ацетилхолинового рецептора, о том, каким образом ацетилхолин, присоединяясь к мембранному белку, открывает путь для ионов через мемб-

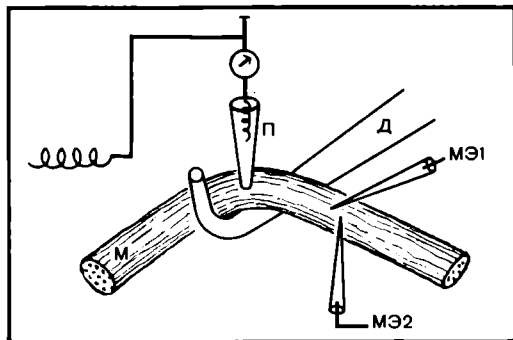


Рис. 3. Регистрация токов через одиночные каналы, регулируемые ацетилхолином. М — мышечное волокно, П — пипетка с ацетилхолином, Д — механический держатель, МЭ1 и МЭ2 — микроэлектроды.

рану. Еще в конце 50-х годов Т. М. Турпаев (Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР) предположил, что рецептор ацетилхолина — это белок. Высказывались идеи, что эта огромная молекула пронизывает постсинаптическую мембрану и как бы «выстилает» дорогу для ионов. Однако основные знания о свойствах ацетилхолинового рецептора были получены биохимиками лишь в последнее десятилетие, когда удалось отделить рецептор от других мембранных фракций и исследовать его «в пробирке».

СПАСИТЕЛЬНЫЕ ЯДЫ

В 60-х годах выяснилось, что яды многих змей, парализующие дыхательную мускулатуру жертвы, — это белки, отдельные фракции которых прочно и с высокой специфичностью связываются с пре- и постсинаптическими мембранами. Оказалось также, что некоторые из них не участвуют

⁴ Neher E., Sakmann B. — Nature, 1976, v. 260, p. 799.

ни в каких этапах нервно-мышечной активности за исключением одного — они необратимо связываются с холинорецепторами. Можно отделить мембраны клеток, можно растворить окружающие холинорецептор внутримембранные молекулы, а связь яда с рецептором сохранится. Это свойство сделало белки змеиных ядов идеальным инструментом для анализа структуры холинорецептора. К тому же оказалось, что эти белки довольно легко сделать «видимыми», введя в них радиоактивные атомы иода или водорода или присоединив флуоресцирующие агенты. Появилась возможность определить локализацию рецепторов в мембране: яд связывается с рецептором, а радиоавтографическая обработка делает видимыми входящие в состав яда радиоактивные атомы. Оказалось, что в синапсах моторных мышц позвоночных животных и в хеморецептивных мембранах электрических органов электрических рыб — до 10 тыс. рецепторов на 1 мкм^2 площади мембраны! При такой плотности упаковки рецепторов для других белковых молекул в мембране почти не остается свободного места.

Рецепторные молекулы благодаря прочности связи с ядом удалось выделить в чистом виде с помощью аффинной хроматографии. Для этого получали комплекс радиоактивно меченного яда с декстраном, заполняли таким комплексом хроматографическую колонку и пропускali через нее гомогенат мембран, содержащих холинорецепторы. Молекулы рецепторов, связавшись с ядом, задерживались в колонке, а остальные вещества проходили сквозь колонку и вымывались. Впервые удалось таким способом выделить ацетилхолиновые рецепторы из электрического органа ската.

Оказалось, что холинорецептор, действительно, как и предполагали ранее, представляет собой огромную белковую молекулу массой около 250 тыс. Д (если сравнить ее с молекулой воды, то соотношение будет примерно таким же, как между человеком и тараканом). При определенных условиях эту гигантскую молекулу можно расчленить на пять составных частей — субъединиц. Недавно сразу в нескольких лабораториях удалось получить электронные микрофотографии постсинаптической мембраны электрического органа ската. На фотографии (рис. 4) четко выявляются пятилепестковые розетки диаметром около 70 А. Плотность розеток — примерно 10 тыс. на 1 мкм^2 . По-видимому, это и есть не что иное, как молекулы холинорецепторов. Известно, что две самых легких

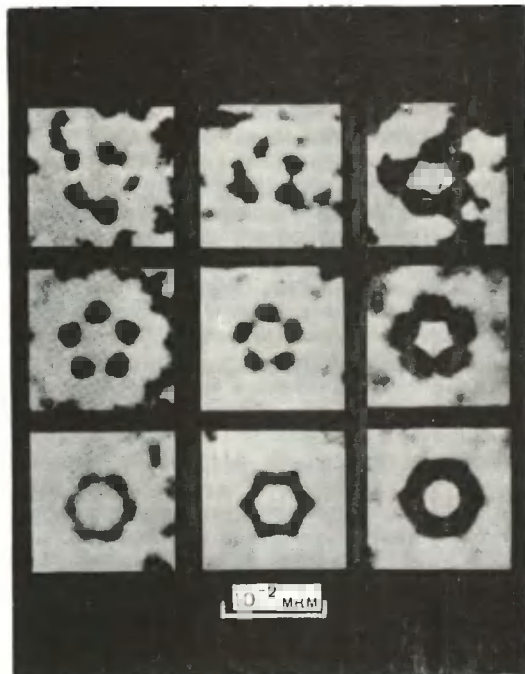


Рис. 4. Электронные фотографии отдельного рецептора из мембран электрического органа ската. Вверху — фотографии отдельного, произвольно выбранного ацетилхолинового рецептора, на которых видна пятилучевая симметрия. В середине — четкое изображение пяти субъединиц, полученное наложением 5 копий верхнего изображения с поворотом на $1/5$ полного угла каждой копии относительно следующей. Внизу — смазанное изображение, полученное при использовании 6 копий, что подтверждает наличие пяти субъединиц в холинорецепторе.

По Е. А. Барнару и др., 1980 г.

субъединицы (по 40 тыс. Д) содержат участки, связывающие ацетилхолин. Функции остальных субъединиц пока не выяснены.

Недавно в лабораториях Ж. П. Шанже (Франция) и М. Рафтери (США) удалось расшифровать последовательность более 20 аминокислот в полипептидной цепи одной из субъединиц ацетилхолинового рецептора. По-видимому, в ближайшее время эта структура будет расшифрована полностью. К сожалению, даже полное знание аминокислотной последовательности не поможет понять, как взаимодействие ацетилхолина с рецептором приводит к открытию ионного канала.

Немногим более 10 лет назад Р. Карлин и Ж. П. Шанже выдвинули гипотезу, что холинорецептор работает по типу регуляторных ферментов. Особенность этого

класса белков состоит в том, что небольшое изменение в конформации фермента в результате присоединения некоторых молекул («эффекторов») резко меняет его активность. Не может ли ацетилхолин играть роль эффектора, т. е., присоединяясь к рецептору, так менять его трехмерную структуру, что пронизывающий насквозь мембрану участок молекулы рецептора становится проницаемым для ионов?

Еще в 60-х годах Карлин обнаружил, что для нормальной работы ацетилхолинового рецептора важны дисульфидные (S—S) связи внутри молекулы. Разрыв этих связей дитиотрептолом уничтожает чувствительность рецептора к ацетилхолину, регенерация S—S-связей возвращает чувствительность. В лаборатории Б. Н. Вепринцева (Институт биофизики АН СССР) изучали роль дисульфидных связей, сравнивая действие ацетилхолина, некоторых его аналогов и знаменитого яда кураре. Как и у ядов змей, точка приложения яда кураре в организме — синапсы: он преимущественно связывается с холинорецепторами, но в отличие от ацетилхолина не вызывает при этом изменения проницаемости постсинаптической мембраны. Оказалось, что препараты постсинаптической мембраны, обработанные ацетилхолином, теряют чувствительность к дитиотрептолу, в то время как кураре такого действия не оказывает. Возникло предположение, что изменение проницаемости постсинаптической мембраны под действием ацетилхолина связано с конформационными сдвигами молекулы рецептора, «прячущими» S—S-связи в глубь молекулы, кураре же не защищает дисульфидные связи от восстановления, потому что не вызывает таких изменений в рецепторе. В дальнейших опытах с аналогами ацетилхолина оказалось, что способность каждого вещества активировать постсинаптическую мембрану точно соответствует его способности защищать мембрану от действия дитиотрептола⁵.

Таким образом, дисульфидные связи необходимы для нормальной работы ацетилхолинового рецептора, причем их положение в работающем рецепторе изменяется. Еще более убедительные доказательства конформационных изменений ацетилхолинового рецептора при активации были получены Ф. Баррантесом в Геттингене.

Известно, что некоторые мембранные белки обладают собственной флюо-

ресценцией, а изменения конформации таких белков, как правило, меняют интенсивность флюоресценции. Этим свойством и воспользовался Баррантес. Он обнаружил, что на мембранных фрагментах постсинаптической мембраны электрического органа ската аналоги ацетилхолина (суберилдихолин и карбахолин) гасят собственную флюоресценцию внутренних мембранных белков. В то же время вещества, связывающиеся с ацетилхолиновым рецептором, но не активирующие ионные каналы (например, змеиный яд α -бунгаротоксин), не меняют флюоресценции⁶.

Итак, элементарный электрический акт, создающий на постсинаптической мембране сдвиг потенциала около 0,5 мкВ, видимому, отражает конформационные изменения гигантской белковой молекулы, размеры которой достаточны, чтобы «прошить» насквозь постсинаптическую мембрану. Запускает всю цепь событий медиатор.

Последние сомнения в том, что ионные каналы неразрывно связаны с гигантскими белковыми молекулами — рецепторами ацетилхолина, исчезли после удачных экспериментов по реконструкции ацетилхолин-чувствительных каналов на искусственных мембранах.

РЕКОНСТРУКЦИЯ

Искусственные мембраны из липидов — липосомы — стали уже привычным инструментом биологов и химиков. Но до самого последнего времени не удавалось получить искусственные мембраны, в которых липиды образовали бы прочные комплексы с белками, образующими ионные каналы в природных мембранах. Отдельные эксперименты, в которых какая-то доля исследуемого белка встраивалась в липидную пленку, так что проницаемость искусственной мембраны можно было изменять ацетилхолином, тонули в море экспериментальных неудач. И не только методика встраивания была практически невоспроизводимой, но и сами реконструированные каналы слабо походили по своим параметрам на природные образования. Первый серьезный успех в этой области был достигнут лишь в 1980 г.

За несколько лет до этого удалось получить работающие липосомы, состоящие из липидов соевых бобов и ацетилхолиновых рецепторов. Такие липосомы об-

⁵ Bregestovski P. D., Iljin V. I., Jurchenko O. N., Vepintsev B. N., Vulfins E. A. — *Nature*, 1977, v. 270, p. 71.

⁶ Barrantes F. I. — *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 1976, v. 72, p. 479.

ладали способностью пропускать потоки ^{22}Na под влиянием веществ, активирующих холинорецептор (обычно в таких опытах используют карбохолин). Эти результаты вселили надежду, что выделение ацетилхолиновых рецепторов не затрагивает важнейших центров, регулирующих проницаемость. Но насколько близки свойства реконструированного рецептора к природному? Опыты с измерением потоков меченых ионов ничего не говорили о кинетике работы отдельного рецептора. Необходима бы-

Одна группа встроила в искусственную мембрану (липидную пленку из соевых бобов) очищенные природные ацетилхолиновые рецепторы, другая — фрагменты природных постсинаптических мембран. В обоих случаях карбохолин изменял проницаемость получившихся ансамблей.

Схема эксперимента по реконструкции холинорецептивной мембраны довольно проста (рис. 5). Сначала в два отсека камеры, имеющей посередине перегородку с узким отверстием в ней ($2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$),

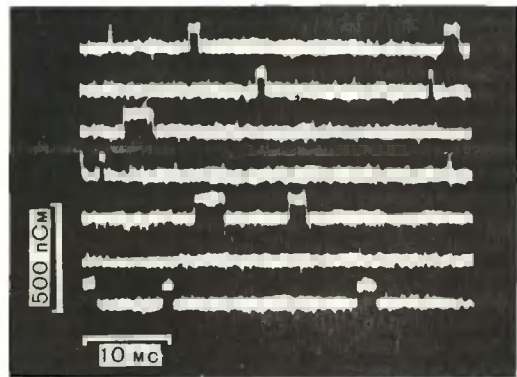
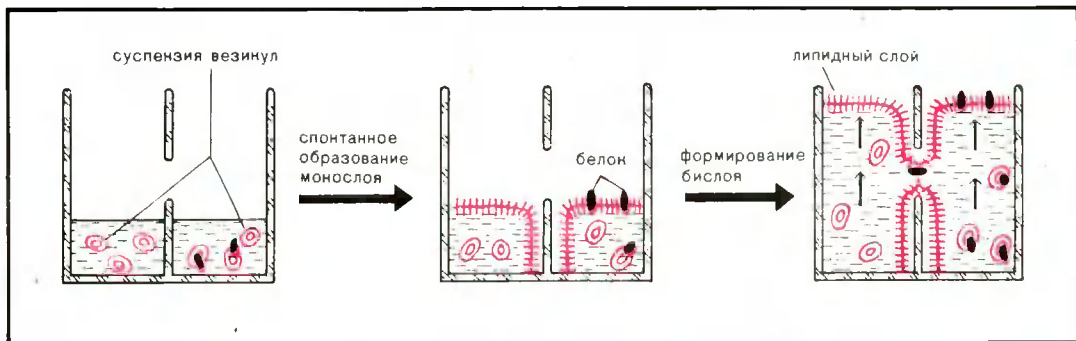


Рис. 5. Реконструкция искусственной постсинаптической мембраны. На схеме — три последовательных этапа образования бислоя с включением ацетилхолиновых рецепторов. На осциллограмме — результаты одного из опытов по регистрации электрических откликов симметричного бислоя с малой плотностью рецепторов. Видны отклики одиночных каналов, вызванные взаимодействием отдельных рецепторов с молекулами карбохолина.

ла электрическая регистрация работы отдельных каналов. Эта задача и была решена в 1980 г., когда параллельно в двух группах — в США и в Швейцарии — удалось реконструировать работающий ацетилхолиновый рецептор на плоской липидной пленке⁷.

наливают суспензии, содержащие смесь липидных везикул и везикул с ацетилхолином. На поверхности раздела фаз в каждом отсеке формируется монослой липидов с вкраплениями ацетилхолиновых рецепторов. Но монослой — это еще не модель природной мембраны: следующий этап эксперимента — формирование двухслойной липидной пленки. Достигается это следующим образом: уровень жидкости в отсеках повышается, и в тот момент, когда он поднимается выше уровня узкого отверстия в перегородке, моно-

⁷ Schindler H., Quast U. — Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1980, v. 77, p. 3052; Nelson N., Anholt R., Lindstrom L., Montal M. — Ibidem, p. 3057.

слои «схлопываются» и в области отворстия формируется двухслойная липидная пленка с встроенными в нее белками. Это и есть искусственная модель постсинаптической мембраны. Несложная эта схема была эффективной лишь при тщательном соблюдении начальных условий: использовали липидные везикулы диаметром 60 нм и контролировали содержание ацетилхолиновых рецепторов в исходных везикулах по связыванию змеиного яда. Контролировалась также активность ацетилхолиновых рецепторов или фрагментов постсинаптических мембран после выделения их из органов: измеряли проницаемость ацетилхолиновых везикул для ^{22}Na под действием карбохолина. Такой строгий контроль и обеспечил успех эксперимента: в модели были функционально активными 25% включившихся ацетилхолиновых рецепторов!

Разработанный метод позволяет получать постсинаптические мембраны с разной плотностью ацетилхолиновых рецепторов (достаточно изменить пропорцию липидных и ацетилхолиновых везикул в камере), а также асимметричные мембраны — если в один из отсеков камеры налить суспензию только липидных везикул, а в другой — смешанную суспензию, то и формирующийся бислой будет содержать ацетилхолиновые рецепторы, обращенные активными центрами лишь в одну сторону.

Искусственная постсинаптическая мембрана обладает электрической емкостью обычной двухслойной липидной пленки: около $0,7 \text{ мкФ/см}^2$ — и практически, как и следует липидной пленке, не пропускает ионы. При активации ацетилхолиновых рецепторов проводимость такой пленки резко увеличивается. Предварительная блокада рецепторов змеиным ядом или кураре препятствует такому повышению проводимости (как и природных постсинаптических мембран). В контрольных опытах на асимметричных моделях активаторы и блокаторы ацетилхолиновых рецепторов действовали только с одной стороны — со стороны отсека, в котором при формировании постсинаптической мембраны были ацетилхолиновые рецепторы.

Активация реконструированных постсинаптических мембран с низкой плотностью ацетилхолиновых рецепторов позволила оценить параметры одиночных ионных каналов. Каналы оказались избирательными в отношении ионов натрия и калия почти в такой же степени, как природные образования. При подборе соответствующих условий проводимость каналов и время

нахождения их в открытом состоянии также близки к параметрам природных мембран.

Итак, можно утверждать, что ацетилхолин взаимодействует с активным центром белковой макромолекулы, состоящей из нескольких субъединиц. В результате этого взаимодействия происходят конформационные изменения, приводящие к скачкообразному открытию на миллисекундные времена ионных пор сопротивлением порядка 10^{10} ом . За время элементарного акта через канал проскакивает примерно 10^4 ионов натрия и калия, которые изменяют мембранный потенциал клетки примерно на $0,5 \text{ мВ}$. Чтобы вызвать распространяющийся потенциал действия, необходимо активировать одновременно около 10^4 ионных каналов.

Какие еще остаются проблемы? Пока только в общих чертах ясно, как устроен активный центр холинорецептора. Неизвестно, как осуществляется избирательное прохождение ионов через канал и зависит ли эффективность работы постсинаптической мембраны от внутриклеточных процессов? Над этими и другими вопросами продолжают работать исследователи в лабораториях разных стран мира.

Трудно сказать, на каком участке исследований холинорецепции удастся существенно продвинуться вперед. До сих пор наступление шло широким фронтом с использованием всего арсенала современной техники биологического эксперимента, и совершенно очевидно, что достигнутые успехи обусловлены именно объединением усилий специалистов разных профилей в решении одной проблемы.

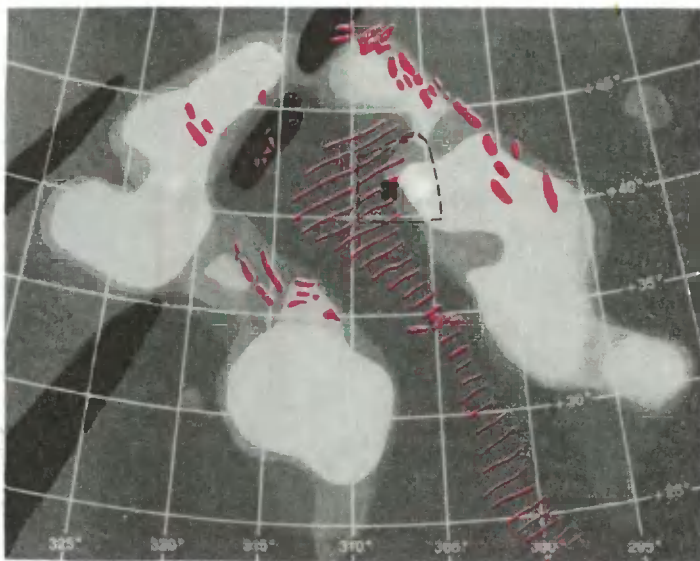
Гигантский пузырь горячего газа в галактической межзвездной среде

В. С. Имшенник,
доктор физико-математических наук

Институт экспериментальной и теоретической физики
Москва

При обработке измерений рентгеновского фона с борта «НЕАО-1» (американской специализированной астрономической обсерватории высоких энергий) был открыт чрезвычайно протяженный ($13 \times 18^\circ$) диффузный источник мягкого рентгеновского излучения, расположенный в созвездии Лебедя, — гигантский пузырь Лебедя, — гигантский пузырь Лебедя (от англ. Cygnis Superbubble)¹. Центр источника приблизительно совпадает со звездой γ Лебедя, источник включает знаменитую звезду α Лебедя (или Денеб); кроме того, внутри него или поблизости находится несколько хорошо известных рентгеновских источников, в числе которых Лебедь X-1, Лебедь X-2 и Петля Лебедя — остаток Галактической сверхновой, взорвавшейся 18 000 лет назад. Он частично заслонен от нас плотными облаками пыли и газа, известными под названием Большой Расселины (Great Rift).

Этот источник гигантских размеров удален от нас на 6000 св. лет, его диаметр равен 1300 св. лет (т. е. толщине диска Галактики). Рентгеновское излучение от него создается горячим, полностью ионизованным межзвездным газом с температурой около $2 \cdot 10^6$ К. Газ заполняет весь огромный объем сверхпузыря, плотность частиц в нем 10^{-22} см⁻³, так что полная внутренняя энергия газа составляет 10^{52} эрг (т. е. в 20 раз больше, чем выделяется при вспышке типичной сверхновой). Для сравнения, в Петле Лебедя газ имеет сходную температуру, около



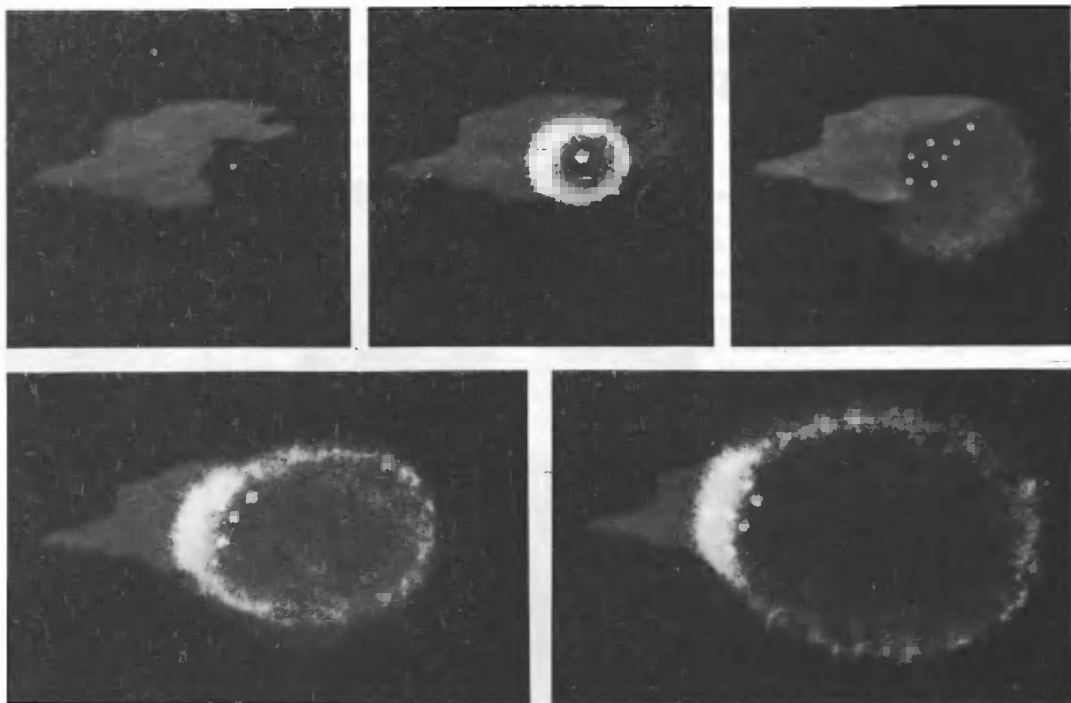
Карта (в галактических координатах) с основными деталями гигантского пузыря Лебедя. Серым цветом показаны области диффузного рентгеновского излучения; цветными линиями — нити волокнистой туманности; крестиком — положение ассоциации молодых горячих звезд ОВ 2, которая погружена в радиоисточник Лебедь X (показан пунктирной линией).

$3 \cdot 10^6$ К, хотя размеры остатка сверхновой и его полная энергия намного ниже соответствующих характеристик гигантского пузыря. Отсюда сразу возникает предположение, что своим происхождением этот пузырь обязан гигантскому взрывному процессу, превосходящему своими масштабами взрыв сверхновой звезды.

Прежние оптические и радиоастрономические наблюдения этой хорошо изученной области неба подтверждают образование здесь большого объема, заполненного очень горячим разреженным газом. Так, около десяти лет назад при наблюдениях на длине волны α — линии водорода

($\lambda = 6563 \text{ \AA}$) была установлена нитевидная структура газовых туманностей. Нити (вытянутые клочковатые туманности) почти однозначно отождествлялись астрофизиками с фронтом ударной волны, распространяющейся в межзвездной среде. Теперь оказалось, что при наложении этих фотографий на полученную с помощью «НЕАО-1» рентгеновскую карту этой области нити совпали с внешней границей рентгеновского источника. Совсем недавно при радиоастрономических наблюдениях на длине волны нейтрального водорода ($\lambda = 21 \text{ см}$) была обнаружена так называемая супероболочка, расположенная вне края рентгеновского источника. Дело в том, что в области фронта ударной волны, если он распространяется из центра гипотетического взрыва и расширяет область горячей плазмы, должен находиться межзвездный газ, содержащий заметную долю нейтрального водорода. Ведь именно проходя через фронт ударной волны, межзвездный весьма холодный газ с температурой либо 10^2 К (H I-области), либо 10^4 К (H II-

¹ Cash W., Charles Ph.—
Sky and Telescope, 1980,
№ 6, p. 455.



Стадии образования гигантского пузыря (теоретическая модель): вверху, слева и в центре — массивная звезда быстро эволюционирует и взрывается как сверхновая, создавая ударную волну, которая, распространяясь в соседнем массивном межзвездном пылевом облаке, вызывает образование новых звезд (вверху, справа); как только эти звезды, в свою очередь, проэволюционируют и взорвутся (внизу, слева), их общая взрывная волна создаст огромный пузырь горячего газа в пространстве; таким образом, звезды постепенно «съедают» пылевое облако, рождая все большее число новых звезд; внизу, справа — процесс продолжается как мощный ветер сверхновых; образующиеся друг за другом поколения звезд превращают пузырь в сверхпузырь.

области) и пыль нагреваются до очень высоких температур, определяемых силой ударной волны.

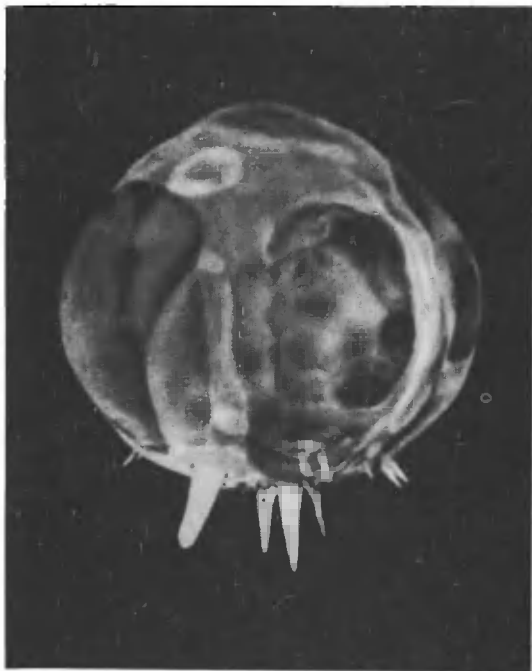
С помощью оптических и радионаблюдений установлены и другие важные детали изучаемого объекта. Почти в центре гигантского пузыря располагается исключительно мощная звездная ассоциация OB 2, окруженная зна-

менитым радиоисточником Лебедь X, открытым в начале 50-х годов, диаметр которого 500 св. лет. Ультрафиолетовое излучение горячих O-звезд ассоциации и их звездный ветер вполне обеспечивают энергию, выделяемую радиоисточником. Однако этих источников энергии недостаточно для питания сверхпузыря в целом.

В вопросе энергетики гигантского пузыря мы, вслед за авторами обсуждаемой статьи, переходим с почвы твердо (или почти твердо) установленных фактов к интересным, но во многих отношениях неподтвержденным теоретическим гипотезам. Можно предположить, что гигантский пузырь возник в результате цепной реакции взрывов сверхновых, поскольку единственный взрыв суперсверхновой с достаточной большой энергией, порядка 10^{54} эрг, несовместим с наблюдаемыми свойствами сверхпузыря. Этим свойствам гораздо лучше соответствуют происшедшие в разное время взрывы около 100 сверхновых со средней энергией взрыва около $5 \cdot 10^{50}$ эрг. Как можно представить себе столь высокую концентрацию вспышек сверх-

новых в небольшом объеме Галактики (в настоящее время сверхпузырь занимает 1/2500 объема Галактики)? По мнению американских астрофизиков, происходит нечто вроде цепной реакции этих вспышек. Чтобы понять это, нужно указать на непосредственную связь плотных газово-пылевых облаков Большой Расселины со сверхпузырем. Выше уже говорилось, что расположенные от нас на расстоянии 4500 св. лет, они заслоняют центр гигантского пузыря и OB 2-ассоциацию звезд. Создается впечатление, что сама ассоциация находится на краю Большой Расселины, причем ее звезды образовались из вещества этой громадной газовой-пылевой туманности (вообще говоря, ее вещества хватило бы на образование 10^6 массивных звезд).

На этом и основывается сценарий образования и развития сверхпузыря, предложенный В. Кешем и Ф. Чарлзом. Если использовать результаты теории, разработанной другими исследователями для объяснения обычных пузырей очень горячего газа, наблюдаемых вокруг O-звезд (их диаметр около 150 св. лет), то время существо-



Два пузыря, образовавшиеся при распространении ударной волны, но один возник за миллисекунды, а второй — за тысячелетия. Слева — мгновенная фотография взрыва атомной бомбы; справа — фотография туманности NGC 2359, образовавшейся в результате действия звездного ветра от горячей звезды Вольфа — Райе.

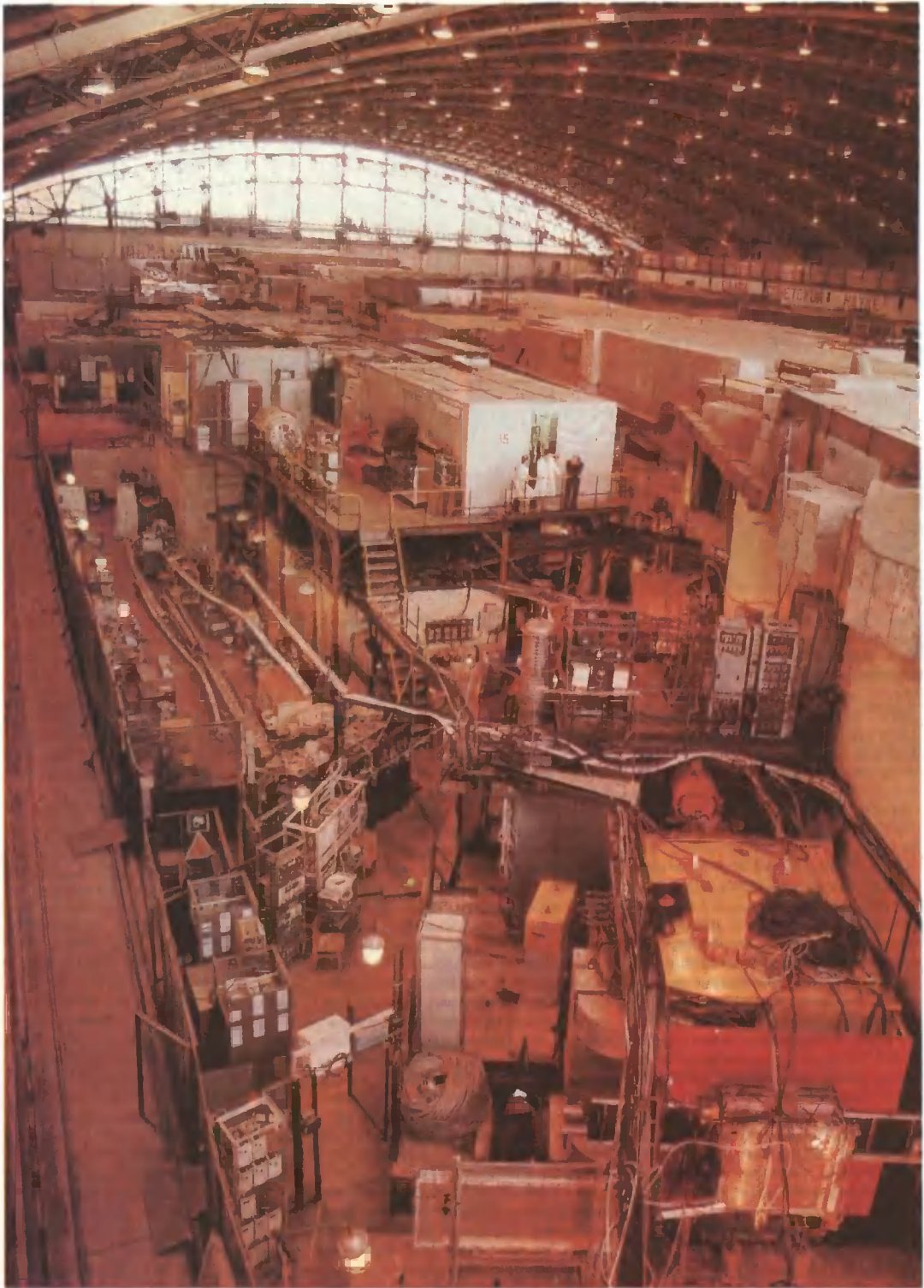
в том числе массивных горячих О-звезд. Характерное время полной ядерной эволюции таких звезд уступает времени жизни сверхпузыря — оно меньше 10^6 лет; по истечении этого времени звезды должны закончить свое существование вспышками сверхновых, которые, в свою очередь, вызывают рождение следующего поколения О-звезд, и так далее. Энергия взрывов сверхновых все время добавляется к энергии сверхпузыря. В итоге в Расселине постоянно будут образовываться новые звезды, а то время как вне ее будет расти гигантский пузырь. Таким образом, согласно гипотезе Кеша и Чарлза, рождение звезд и вспышки сверхновых связываются воедино в феномене сверхпузыря.

вания сверхпузыря составляет $3 \cdot 10^6$ лет. Обычные пузыри формируются под действием звездного ветра, явления, качественно подобного солнечному ветру, но количественно далеко превосходящего последний. В случае гигантского пузыря роль звездного ветра переходит к последовательно происходящим вспышкам сверхновых, создающих эффективный поток газа от центра к периферии с типичной скоростью оболочек сверхновых порядка 10 000 км/с. Первая сверхновая, вспыхнувшая вблизи газово-пылевой туманности или в ее пределах, будет способствовать развитию по соседству гравитационного коллапса газово-пылевого облака и рождению новых,

Имеется по крайней мере еще два объекта такого типа: это туманность Джамы (Gum nebula) в Парусе и комплекс Орион—Эридана (Orion—Eridanus complex), связываемый с петлей Барнарда (Barnard's Loop). Положение этих двух объектов довольно близко к нашему положению в Галактике. Поэтому сверхпузырей, т. е. областей с горячим газом, тем-

пература которого составляет несколько миллионов градусов, может быть весьма много, так что они займут не менее 10% объема галактического диска. В результате их вклад в энергетику межзвездной среды может составить более половины ее полной энергии (по оценкам, концентрация энергии внутри сверхпузыря в пять раз выше, чем вне его), и современная теория межзвездной среды потребует существенного пересмотра.

Мы уже упоминали о тесной связи областей рождения звезд со сверхпузырями, т. е. о том, что взрыв сверхновых способствует образованию звезд, так как сжатие газа и пыли в распространяющихся ударных фронтах дает начальный толчок основному процессу рождения звезд — гравитационному коллапсу газово-пылевых облаков межзвездной среды. Поэтому в рамках гипотезы о цепной реакции взрывов сверхновых, создающей феномен сверхпузыря, вполне разумен смелый вывод Кеша и Чарлза: «Возможно, что Солнце и Земля были образованы на краю гигантского пузыря 4,5 млрд лет назад».



Ускорители нового поколения и их задачи

И. Н. Арутюнян,
научный редактор отдела физики
Журнал «Природа»

МИКРОСКОПЫ МИКРОМИРА

Основным инструментом при изучении микромира служат ускорители, в которых элементарные частицы, обычно электроны или протоны, под действием электромагнитного поля приобретают огромную энергию. На ускорители возложены две задачи: они используются как «микроскопы» с невиданно большой разрешающей способностью и играют роль «фабрик» для производства новых частиц.

Хорошо известно, что, пользуясь обычным микроскопом, мы не разглядим объектов, размеры которых меньше длины волны освещающего их света. Этому мешают дифракционные явления. Минимальное расстояние, разрешаемое с помощью микроскопов, работающих в видимом диапазоне, составляет около 10^{-4} см. Ускорители позволяют использовать для «освещения» изучаемых объектов частицы высоких энергий. Согласно квантовой механике, частица имеет волновые свойства, характеризующие ее длиной волны де Бройля, которая тем короче, чем выше энергия частиц E (для ультрарелятивистских частиц $\lambda = hc/E$). Если E измерять в ГэВ, то выраженная в сантиметрах длина волны частицы есть $\lambda = (1,24/E) \cdot 10^{-13}$ см. Например, на Серпуховском ускорителе (У-70) протоны имеют энергию 76 ГэВ и соответствующая длина волны составляет примерно $1,6 \cdot 10^{-15}$ см — в сто раз меньше диаметра протона. Казалось бы, используя такие частицы, мы сможем «разглядеть», какова структура объекта на расстояниях, сравнимых с их длиной волны.

Однако это не так: зависимость разрешающей способности «микроскопа»-

ускорителя от энергии пучка частиц определяется не просто значением λ , а величиной $d = h/q$, где q — импульс, переданный изучаемому объекту. Дело в том, что когда мы изучаем взаимодействие частиц, падающей и покоящейся, нам важно знать, куда и насколько отклонился падающий пучок, т. е. основную роль играет не абсолютная величина импульса налетающих частиц, а его изменение в процессе взаимодействия с изучаемым объектом. Чтобы вычислить это изменение, удобно перейти в систему отсчета, связанную с центром масс взаимодействующих частиц. Тогда, используя законы релятивистской кинематики, можно получить для переданного импульса следующее выражение:

$$q = \sqrt{2(p')^2(1 - \cos \theta)},$$

где p' и θ — импульс и угол рассеяния налетающих частиц в системе центра масс. В таком случае разрешающая способность равна

$$d = h/q = h/2p' \sin \theta/2.$$

При рассеянии частиц высоких энергий $2p' \approx E'/c = \sqrt{2ME^-}$ (E' — полная энергия взаимодействующих частиц в системе центра масс, E — энергия частиц в пучке, M — масса частиц мишени), а максимальный угол наблюдения $\theta \approx \pi$. В этом случае $d = h/\sqrt{2ME^-}$. Если на Серпуховском ускорителе объектом изучения являются протоны ($Mc^2 \approx 1$ ГэВ), то расстояние, разрешаемое с помощью такого «микроскопа», примерно в шесть раз больше длины волны де Бройля падающих частиц.

Попытаемся продолжить нашу аналогию с микроскопом. При изучении макрообъектов ($M \rightarrow \infty$) система центра масс совпадает с лабораторной: $p' = p \approx E/c = h/\lambda$. Кроме того, в объектив микроскопа попадают не все рассеянные изучаемым объектом частицы, а лишь находящиеся в конусе с углом раствора 2α (это угол, под которым виден объектив микроскопа из точки, где

Экспериментальный зал Серпуховского ускорителя.
Установка «Гиперон».

Фото А. М. Степанца.

Стандартной единицей измерения энергии в физике элементарных частиц является электронвольт — энергия, приобретаемая частицей с зарядом электрона при прохождении разности потенциалов в один вольт. Используют мегаэлектронвольты ($1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$), гигаэлектронвольты ($1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$) и тераэлектронвольты ($1 \text{ ТэВ} = 10^{12} \text{ эВ}$). Связь между этими энергетическими единицами и обычными выражается соотношением $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$. Например, протоны на ускорителе лаборатории им. Э. Ферми в Батавии имеют энергию 0,8 эрг, что всего лишь равно кинетической энергии пылинки весом 0,2 мг, движущейся с очень небольшой скоростью — 1 м/с. Однако ускоренный пучок содержит $2,65 \cdot 10^{13}$ протонов, так что его полная энергия составляет $2,12 \cdot 10^{13} \text{ эрг}$. А это уже энергия снаряда весом в 40 кг, летящего со скоростью звука.

находится объект). Таким образом, предельный угол θ для обычных микроскопов равен α . Получаем тогда $d \approx \lambda / 2 \sin \alpha / 2$, что при малых углах α , характерных для микроскопов, использующих ускоренные частицы (электроны), совпадает с известной из оптики формулой $d = \lambda / \sin \alpha$ для наименьшего разрешаемого расстояния. Наличие апертурного множителя $1 / \sin \alpha$ весьма существенно. Для лучших оптических микроскопов $\alpha \approx 90^\circ$ и $d \approx \lambda$, но для электронных микроскопов не удается создать линз с большой апертурой, в результате чего наименьшее расстояние, разрешаемое с помощью таких приборов, больше длины волны де Бройля частиц, «освещающих» исследуемый объект.

ФАБРИКИ НОВЫХ ЧАСТИЦ: ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, РАЗМЕРЫ, СТОИМОСТЬ

Электроны и нуклоны (протоны и нейтроны) образуют атомы, из которых состоит окружающее нас вещество. Они и были открыты первыми. С тех пор количество известных элементарных частиц выросло почти до 350. Несколько частиц были обнаружены в космических лучах, а все остальные — в опытах на ускорителях. Сейчас очевидно, что, не изучив свойств

всего «зоопарка» элементарных частиц, было бы чрезвычайно трудно продвинуться в нашем понимании строения и свойств материи дальше атомной физики и отдельных элементов теории атомного ядра. При этом увеличение энергии сооружаемых ускорителей всегда способствовало развитию наших представлений о фундаментальных законах природы.

Следует отметить, что долгое время изучалось взаимодействие ускоренных частиц лишь с неподвижной мишенью. В этом случае на рождение новых частиц расходуется относительно малая доля накопленной энергии: вторичные частицы, образовавшиеся в результате такого взаимодействия, должны двигаться так, чтобы суммарный импульс системы сохранялся. На это и уходит большая часть энергии E налетающей частицы, а на рождение новых частиц — количество энергии, определяемое соотношением $E' = c\sqrt{2ME}$. Полную энергию частиц в системе центра масс E' для простоты мы будем называть энергией столкновения, в отличие от энергии E частиц в пучке. Видно, что энергия столкновения растет гораздо медленнее энергии пучка. Если мы изучаем взаимодействие протонов, ускоренных до энергии $E = 76 \text{ ГэВ}$ (Серпуховской ускоритель), с водородной мишенью (т. е. с неподвижными протонами), то энергия столкновения E' составляет около 12,3 ГэВ. На крупнейшем из ныне действующих ускорителей (Национальная ускорительная лаборатория им. Э. Ферми, Батавия, США) протоны ускоряются до энергии 500 ГэВ, т. е. почти в 7 раз больше, чем на Серпуховском ускорителе, а энергия столкновения при этом возрастает лишь в 2,5 раза ($E' \approx 31,6 \text{ ГэВ}$).

Очевидно, что избежать такой напрасной «потери» энергии можно, если производить вторичные частицы покоящимися. Именно так и происходит, когда сталкиваются движущиеся навстречу друг другу пучки частиц с одинаковыми импульсами — встречные пучки. Импульс такой системы равен нулю, и вся энергия может идти на образование новых частиц. В этом случае $E' = 2E$: например, при взаимодействии двух встречных протонов с энергиями по 500 ГэВ энергия столкновения равна 1 ТэВ. Чтобы добиться того же при неподвижной протонной мишени, нужен ускоритель на энергию 500 ТэВ!

Казалось бы, колоссальный выигрыш в энергии столкновения должен автоматически привести к «вымиранию» ускорителей с неподвижной мишенью. Однако такое заключение было бы слишком поспешным.

Помимо энергии, существует еще одна важная характеристика ускорителей, которая служит мерой количества событий, происходящих при взаимодействии частиц за определенное время. Если вернуться к аналогии с микроскопом, то речь идет о степени освещенности изучаемого объекта. Для ускорителей с неподвижной мишенью такой характеристикой является интенсивность ускоренного пучка: количество частиц, вылетающих в 1 с или, поскольку большинство ускорителей работает в импульсном режиме, содержащихся в одном импульсе (сгустке ускоренных частиц). У крупнейших протонных ускорителей интенсивность составляет около 10^{12} протонов/с (или 10^{13} протонов/имп.), а у электронных она равна 10^{12} — 10^{13} электронов/с (10^{11} электронов/имп.). Кроме того, количество наблюдаемых актов взаимодействия зависит также от свойств мишени.

В ускорителе со встречными пучками один из них служит мишенью для другого. Плотность частиц в такой «мишени» для современных установок примерно равна 10^8 — 10^9 см $^{-3}$, что существенно меньше плотности частиц в обычной (твердой или жидкой) мишени (10^{22} — 10^{23} см $^{-3}$). Соответственно чрезвычайно мала вероятность регистрации какого-нибудь физического процесса. Для повышения плотности частиц применяются накопительные кольца, в которых ускоренные частицы накапливаются в течение многих циклов ускорения. Высокий вакуум обеспечивает большое время существования пучков в таких установках (сотни часов), что позволяет проводить длительные эксперименты. В сущности, накопительные кольца во многом аналогичны кольцевым ускорителям, но обладают рядом технических особенностей.

Эффективность ускорителей на встречных пучках, с точки зрения числа происходящих событий, характеризуется особой величиной — светимостью L : число событий исследуемого физического процесса, происходящих в единицу времени, равно произведению светимости L на эффективное сечение σ этого процесса. Подчеркнем, что светимость (ее размерность см $^{-2}$ с $^{-1}$) является характеристикой ускорителя и не зависит от изучаемых с его помощью объектов. В современных ускорителях достигнуты светимости 10^{30} — 10^{31} см $^{-2}$ с $^{-1}$. Можно легко оценить число происходящих в единицу времени событий. Сечение процесса примерно равно квадрату радиуса действия обуславливающих его сил. Известно, что для сильных взаимодействий это примерно 10^{-13} см, а для сла-

бых 10^{-16} — 10^{-17} см, соответственно $\sigma \approx 10^{-26}$ — 10^{-34} см 2 . В результате, для произведения σL получаем значение в пределах от сотни событий в секунду до нескольких событий в сутки.

Заметим, что понятие светимости можно ввести и для обычных ускорителей, хотя здесь она уже будет зависеть и от свойств мишени. В этом случае число происходящих событий есть NJ , где N — число частиц мишени в области взаимодействия, J — поток частиц из ускорителя, равный отношению интенсивности пучка I к площади его поперечного сечения S . Величину NJ , таким образом, можно рассматривать как аналог светимости. Оценим ее, например, для ускорителя в Батавии ($I = 3 \cdot 10^{12}$ протонов/с). Если пучок протонов падает на мишень длиной x с плотностью частиц ρ , то объем области взаимодействия есть Sx , а число частиц в нем N равно ρSx . Тогда $L = \rho x I$. Подставляя типичные значения этих величин ($\rho \approx 10^{23}$ см $^{-3}$, $x \approx 30$ см), получаем, что светимость в данном случае равна 10^{37} см $^{-2}$ с $^{-1}$ — в миллион раз больше, чем на установках со

«ПРИРОДА» ОБ УСКОРИТЕЛЯХ

Котов В. И., Петухов В. А. ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ. 1961, № 6, с. 7.

Владимирский В. В. ЖЕСТКАЯ ФОКУСИРОВКА. 1962, № 5, с. 34.

УСКОРИТЕЛИ БУДУЩЕГО. Статьи, выступления участников Международной конференции в Дубне акад. В. И. Векслера, Е. Макмиллана (США), акад. А. Л. Минца, профессоров В. В. Владимирского, В. П. Дзелепова, А. К. Вальтера, А. А. Коломенского, В. Павловского (СССР), В. Вайскопфа (Швейцария), М. Сетвака (Чехословакия), Е. Куранта (США). 1964, № 1, с. 33.

Чувильо И. В. СОЗДАТЕЛЬ МОЩНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ (60 лет со дня рождения академика В. И. Векслера). 1967, № 3, с. 80.

Герштейн С. С., Логунов А. А., Суляев Р. М. САМЫЙ МОЩНЫЙ В МИРЕ УСКОРИТЕЛЬ. 1967, № 11, с. 12.

Алиханьян А. И. ЭЛЕКТРОННЫЙ УСКОРИТЕЛЬ АРУС НА 6 МИЛЛИАРДОВ ЭЛЕКТРОНВОЛЬТ. 1968, № 11, с. 2.

Коломенский А. А. СОВРЕМЕННЫЕ УСКОРИТЕЛИ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ. 1975, № 4, с. 46.

Буднер Г. И. ЭЛЕКТРОННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ. 1978, № 5, с. 34.

встречными пучками. Можно сказать, что такая фабрика новых частиц имеет гораздо большую производительность.

Еще одно преимущество ускорителей с неподвижной мишенью — это возможность получения пучков «вторичных» частиц: нейтрино, мюонов, пионов и других. Это обстоятельство позволяет изучать с их помощью взаимодействия разнообразных частиц, в то время как на установках со встречными пучками можно исследовать лишь один тип столкновений (протон-протонные, электрон-электронные и т. п.). Наконец, опыт показал, что при создании более мощных установок обычные ускорители можно использовать в качестве инжекторов: ускорять в них частицы и лишь затем направлять эти частицы для последующего ускорения в установку со встречными пучками, сооруженную поблизости. Таким образом, ускорители с неподвижной мишенью и на встречных пучках взаимно дополняют друг друга, поэтому проектирование и сооружение двух этих типов установок ведется параллельно.

Не касаясь научных и технических проблем, возникающих при проектировании и строительстве ускорителей различных систем¹, остановимся лишь на факторах, определяющих их размеры. Если измерять энергию E в ГэВ, а напряженность магнитного поля B , используемого для искривления траектории пучка, в теслах ($1 \text{ Т} = 10^4 \text{ Гс}$), то для радиуса ускорителя, выраженного в километрах, справедливо соотношение $R = E/300 B$. Следовательно, энергию можно повысить, либо увеличивая размеры кольца, либо используя более сильное магнитное поле. Конечно, очень заманчиво увеличивать энергию ускорителя, не изменяя его радиуса: для этого нужно использовать сильные магнитные поля. Однако, как известно магнитное насыщение железа происходит при $B = 1,5 - 2 \text{ Т}$. Дальнейшего повышения магнитного поля можно добиться, применяя для обмоток электромагнита сверхпроводящие материалы. Несмотря на высокую стоимость, сложность изготовления и эксплуатации, сверхпроводящие магниты имеют целый ряд преимуществ. Во-первых, они дают возможность использовать в ускорителях поля с напря-

женностью около 5 Т и более. Кроме того, их использование должно привести к уменьшению расхода электроэнергии, что удешевит эксплуатацию ускорителя.

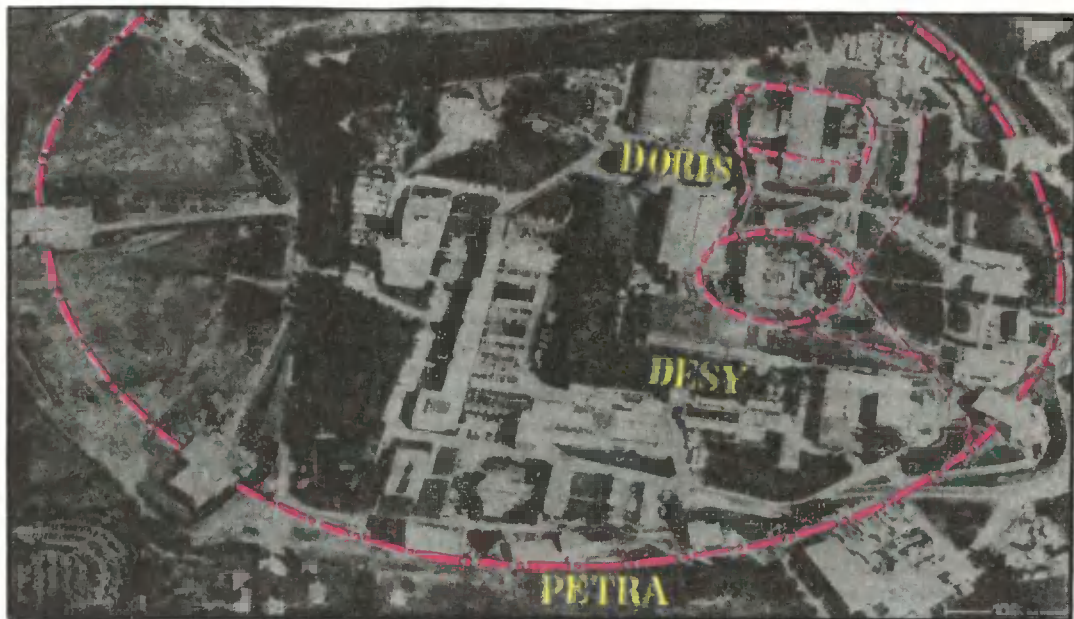
Все сказанное относится как к протонным, так и к электронным циклическим ускорителям. Однако в электронных ускорителях мы встречаемся еще с одной проблемой. Дело в том, что любая частица, движущаяся по окружности, теряет энергию на так называемое синхротронное излучение, мощность которого пропорциональна четвертой (I) степени отношения E/m и обратно пропорциональна квадрату радиуса орбиты. Электрон примерно в 2 тыс. раз легче протона, и при его движении в кольце ускорителя радиационные потери особенно велики. При большой энергии электрона основная часть мощности ускоряющей системы будет затрачиваться не на ускорение, а на компенсацию потерь вследствие синхротронного излучения. Единственная возможность уменьшить такие потери — это увеличить радиус орбиты электрона. В результате размеры электронных ускорителей растут примерно как квадрат энергии частиц и заметно превышают размеры протонных ускорителей на ту же энергию.

Все современные ускорители — это огромные, чрезвычайно сложные приборы. Их строительство и эксплуатация требуют немалых финансовых и материальных затрат. Так, строительство первой очереди установки IEP в ЦЕРНе (о ней пойдет речь ниже) обойдется в 900 млн швейцарских франков. При этом потребляемая установкой электрическая мощность составит около 200 МВт (для сравнения: мощность Днепрогэс — 560 МВт). Отметим, кстати, что в 1978 г. общие затраты электроэнергии на функционирование одного лишь ЦЕРНа составили 0,06% потребления энергии всей Западной Европы. Ясно, что ни одна страна в мире не может позволить себе роскошь строить ускоритель без твердой уверенности в том, что он поможет сделать существенный шаг в познании законов микромира.

ЧТО МЫ ХОТИМ УЗНАТЬ?

Чтобы понять, какие ускорители требуются в начавшемся десятилетии, надо представить себе, что мы знаем об элементарных частицах и что хотим проверить. Теоретические модели и гипотезы о взаимодействиях и структуре элементарных частиц дают оценки, используемые при выборе параметров проектируемых и строящихся ускорителей.

¹ Подробнее об этих проблемах см.: Колосенский А. А. Физические основы методов ускорения заряженных частиц. М.: Изд-во МГУ, 1980; Бережной В. А., Васильев В. А. Развитие ускорителей на сверхвысокие энергии в СССР. — В сб.: Труды XIV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий, Дубна, 1980. Издание ОИЯИ, Д2-81-158, 1981, с. 445.



Вид с воздуха западногерманской лаборатории DESY. Контурами показаны кольца уже действующих ускорителей. Проектируемая установка HERA будет находиться там же, в тоннеле на глубине 15 м. По своим размерам она будет примерно вдвое превышать самую большую из показанных установок — PETRA. Фото DESY.

Итак, обратимся к основным представлениям теории элементарных частиц, которые сформировались к настоящему времени². Мы знаем, что фундаментальными частицами, из которых построены адроны (сильновзаимодействующие частицы), являются кварки. Вместе с лептонами (частицами, не участвующими в сильных взаимодействиях) они образуют несколько групп (их называют поколениями)³. Первому из них: u - и d -кваркам, составляющим нуклоны, электрону e и соответствующему нейтрину ν — мы обязаны существованием окружающего нас вещества. После-

дующие поколения были открыты в экспериментах по физике высоких энергий. Второе поколение полностью заполнилось лишь после открытия J/ψ -частиц. В него входят мюон μ , мюонное нейтрино ν_μ , странный и очарованный кварки s и c . Третье поколение содержит тяжелый t -лептон с массой 1,8 ГэВ, t -нейтрино ν_t и кварки b и t . Строго говоря, еще не доказано с достоверностью, что нейтрино, испускаемое при распаде t -лептона, отлично от уже известных видов нейтрино; не увенчались пока успехом и поиски частиц, в которые входит t -кварк. По-видимому, масса этого кварка больше 18 ГэВ и энергия столкновения в существующих ускорителях недостаточна для его рождения.

Пока неясно, должны ли существовать следующие поколения фундаментальных частиц и если да, то сколько их. Есть лишь оценки на основе космологической теории Большого взрыва, согласно которым число таких поколений не должно быть слишком велико (не более 3—4). Лептоны четвертого поколения могут иметь массу около 10—15 ГэВ, а кварки — около 100—200 ГэВ. В таком случае их можно получить лишь на установках со встречными протон-протонными (pp) или протон-антипротонными (p $\bar{p}$) пучками с энергией столкновения в несколько сот ГэВ.

Кварки взаимодействуют между собой, обмениваясь безмассовыми частицами со спином, равным единице, — глюонами. Наблюдение так называемых трехструйных

² О существующих теориях и перспективах развития физики высоких энергий см.: Окунь Л. Б. Современное состояние и перспективы физики высоких энергий. — Усп. физ. наук, 1981, т. 134, вып. 1, с. 3, а также цикл статей в «Природе» за 1979—1981 гг.

³ С точки зрения теории Великого синтеза (объединяющей электрослабые и сильные взаимодействия), каждое из этих поколений отличается друг от друга только массой.

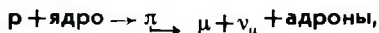
событий в процессе аннигиляции встречных электронов и позитронов интерпретируется как косвенное указание на существование глюонов. Теория взаимодействия кварков и глюонов — квантовая хромодинамика (КХД) — предсказывает существование глюония — необычной частицы, состоящей из 2—3 глюонов, и частиц с «валентным» глюоном, например $b\bar{b}g$.

Кроме того, для проверки существующих теорий важно знать закономерности распределения кварков в адроне. Такие данные также могут быть получены при изучении pp -и $p\bar{p}$ -столкновений.

Исключительно важны также эксперименты по рассеянию электронов на протонах. Электрон, не имеющий согласно нынешним представлениям внутренней структуры, исключительно удобен как снаряд, «прощупывающий» протон. Осуществление встречных электрон-протонных (ep) соударений при энергии столкновения в несколько сот ГэВ примерно в 2100 раз увеличит точность определения эффективного сечения взаимодействия этих частиц.

Это позволит проверить справедливость некоторых предсказаний квантовой хромодинамики.

Сооружение ускорителей с неподвижной мишенью, в которых протоны будут ускоряться до энергии в несколько ТэВ, даст возможность получать пучки вторичных частиц высоких энергий. Одним из наиболее интересных направлений исследований в этой области является изучение взаимодействия нейтрино с нуклонами. Дело в том, что уже при достигнутых энергиях наиболее детальные сведения о структуре нуклонов получены именно в опытах с пучками нейтрино. Нейтрино участвуют лишь в слабых взаимодействиях, так что в таких опытах картина взаимодействия в меньшей степени осложнена вторичными явлениями, чем, например, в экспериментах по прямому рассеянию протонов. На самых больших в настоящее время ускорителях получены пучки протонов с энергией около 400—500 ГэВ. С их помощью, благодаря цепочке реакций



«ПРИРОДА» О ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЯХ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Волошин М. Б. СПЕКТР ЧАРМОНИЯ. 1979, № 1, с. 47.

Смондырев М. А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОДЕЛИ ВАЙНБЕРГА — САЛАМА. 1979, № 4, с. 93.

Азимов Я. И., Хозе В. А. ТЯЖЕЛЫЕ КВАРКИ И ЛЕПТОНЫ. 1979, № 5, с. 9.

Кобзарев И. Ю. ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1979 г. ПО ФИЗИКЕ — С. ВАЙНБЕРГ, Ш. ГЛЭШОУ, А. САЛАМ. 1980, № 1, с. 84.

Шехтер В. М. КВАРКИ. 1980, № 2, с. 53.

Долгов А. Д. ОТКРЫТИЕ ГЛЮОНА. 1980, № 2, с. 105.

Ансельм А. А. В ПОИСКАХ ЕДИНОЙ ТЕОРИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ. 1980, № 6, с. 9; № 7, с. 63.

Салам А. ПОСЛЕДНИЙ ЗАМЫСЕЛ ЭЙНШТЕЙНА: ОБЪЕДИНЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ И СВОЙСТВ ПРОСТРАНСТВА — ВРЕМЕНИ. 1981, № 1, с. 54.

можно получить нейтрино с энергией $E \approx 200$ ГэВ. Тогда, в соответствии с выписанной выше формулой, для энергии столкновения таких нейтрино с протонами получаются значения порядка 20 ГэВ. Вспоминая аналогию с микроскопом, мы находим, что разрешающая способность в этом случае примерно $6 \cdot 10^{-15}$ см. Характерное расстояние между кварками в нуклоне по порядку величины равно его размеру ($\sim 10^{-13}$ см). Таким образом, уже при достигнутых разрешениях мы можем как бы «видеть» кварки каждый в отдельности. Тем более это будет справедливо при вводе в строй новых ускорителей.

И, конечно, всех волнует вопрос, действительно ли кварки «заперты» в адронах. Теоретики склонны считать, что да (поиски свободных кварков при доступных сейчас энергиях пока не увенчались успехом). Если же кварки все-таки существуют в свободном состоянии, то они должны рождаться при столкновении встречных электрон-позитронных (e^+e^-) пучков. Никто, правда, не может оценить массу свободных кварков, если они вообще существуют, так что неизвестно, какая энергия столкновения необходима для их рождения.

За прошедшее десятилетие мы узнали почти все о слабых взаимодействиях, если ...справедлива теория Глэшоу — Вайнберга — Салама, объединившая слабые и

электромагнитные взаимодействия. Множество следствий этой теории были блестяще подтверждены в различных экспериментах. Однако прямым подтверждением теории было бы обнаружение переносчиков слабых взаимодействий — промежуточных бозонов $W^\pm$ и Z^0 с массами 78 ГэВ и 89 ГэВ соответственно.

Кроме того, следует проверить механизм возникновения масс у промежуточных бозонов за счет спонтанного нарушения симметрии, т. е. на опыте доказать суще-

ств в $p\bar{p}$ - и e^+e^- -соударениях. И, наконец, надо установить, являются ли промежуточные бозоны квантами калибровочных полей. Если, как предсказывает теория, это так, то должны существовать вполне определенные взаимодействия между $W^\pm$ и Z^0 . Для их изучения нужны реакции, в которых рождаются сразу несколько промежуточных бозонов, например, $e^+ + e^- \rightarrow W^+ + W^-$. Это повышает необходимую нам энергию столкновения до нескольких сот ГэВ.

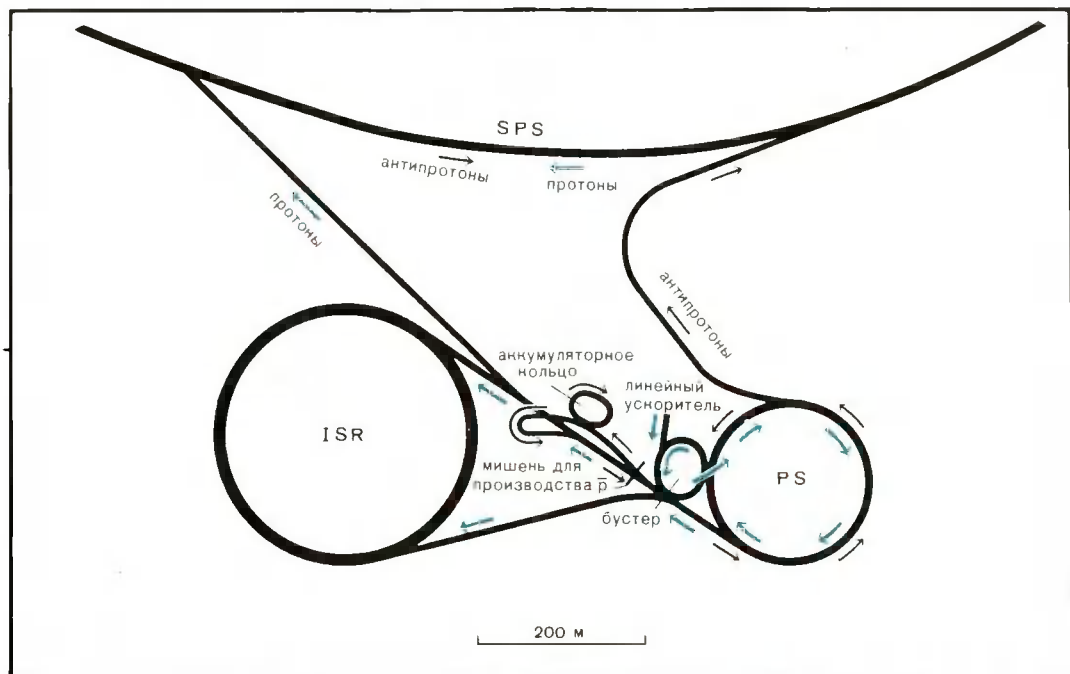


Схема установки для осуществления $p\bar{p}$ -столкновений, введенной в строй в ЦЕРНе. Источником протонов служит протонный синхротрон PS. При бомбардировке протонами специальной мишени образуются антипротоны, которые накапливаются в так называемом накопительном кольце. Затем пучки протонов и антипротонов [также предварительно ускоренные в PS] инжектируются в кольца действующих ускорителей ISR и SPS для проведения экспериментов на встречных $p\bar{p}$ -пучках. Энергия столкновения частиц в SPS — 540 ГэВ.

ствование бесспиновых частиц — так называемых мезонов Хиггса, необходимых для того, чтобы этот механизм «действовал». Четкого предсказания для их массы, к сожалению, теория не дает: считается, что она может быть от нескольких ГэВ до 1 ТэВ. При соответствующей энергии столкновения мезоны Хиггса также должны рождаться

До сих пор речь шла о явлениях, более или менее прямо следующих из существующих теорий. Вполне естественно, что теоретики способны предугадать далеко не все, и, увеличивая энергию столкновения частиц, мы всегда должны быть готовы к неожиданностям.

Уже сейчас в опытах с космическими лучами зарегистрированы одиночные события, которые получили экзотические названия: «Одинокая звезда Техаса», «Андромеда», «Кентавр»⁴. Возможно, они указывают

⁴ См. Вернов С. Н., Добротин Н. А., Фейнберг Е. Л. Физика элементарных частиц в области энергий, недоступных для ускорителей. — Природа, 1973, № 7, с. 31; Cosmic events. — CERN Courier, 1977, v. 17, p. 289.

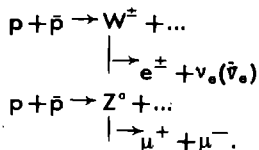
на существование сверхтяжелых частиц с массами 150—200 ГэВ. Могут обнаружиться и совсем необычные частицы, вроде тяжелого нейтрального лептона или магнитного монополя.

Ясно одно — необходимо детальное изучение процессов, происходящих при энергиях столкновения от 100 ГэВ до нескольких ТэВ. Доступные сейчас энергии составляют около 60 ГэВ. Какие же возможности появятся в этом десятилетии?

НОВЫЕ УСКОРИТЕЛИ — КАКИМИ ОНИ БУДУТ?

Мы остановимся лишь на крупнейших установках, расположив их по датам предполагаемого ввода в строй.

В июле этого года начала работать установка на встречных рр-пучках, сооруженная в ЦЕРНе — рр-collider. Интересная особенность установки — максимальное использование уже имеющихся в ЦЕРНе больших ускорителей. Их сейчас три. Первый — протонный синхротрон PS на энергию 28 ГэВ — был построен в 1959 г. В 1971 г. начала работать установка ISR, в которой энергия каждого из встречных протонных пучков была доведена до 31 ГэВ (соответственно энергия столкновения 62 ГэВ — максимальная на протяжении последнего десятилетия). И, наконец, в 1976 г. был введен в строй протонный синхротрон SPS на энергию 400 ГэВ. Все эти установки стали составной частью новой со встречными рр-пучками. Ускоренный на PS пучок протонов направляют на неподвижную мишень, а рожденные при этом антипротоны накапливаются в специальном антипротонном аккумуляторном кольце. После формирования интенсивного пучка антипротоны возвращаются в PS для предварительного ускорения до 26 ГэВ. Затем их «переправляют» в SPS, после чего туда же инжектируется и протонный пучок из PS. Протоны и антипротоны, вращаясь в противоположных направлениях, ускоряются до энергий 270 ГэВ. Энергия столкновения при их взаимодействии, таким образом, около 540 ГэВ. Эксперименты запланировано проводить одновременно в двух залах на глубине 60 м и 27 м по пяти экспериментальным программам, две из которых предназначены для поиска промежуточных бозонов в реакциях:



Сечение этих реакций при данной энергии составляет около $3 \cdot 10^{-33}$ см². На установке должно быть получена светимость 10^{30} см⁻²с⁻¹, так что можно ожидать рождения примерно 250 промежуточных бозонов в сутки.

Кроме того, планируются эксперименты по поиску монополя, изучению полных сечений и множественного рождения частиц в рр-столкновениях. Накопительные кольца ISR также будут использованы для изучения рр-взаимодействий, но только при более низких энергиях.

Следующая установка, Tevatron, должна быть сооружена к 1984 г. в Батавии недалеко от Чикаго в Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми. В настоящее время эта лаборатория располагает протонным синхротроном на энергию 500 ГэВ (FNAL PS). Под его кольцом в том же туннеле предполагается соорудить новое кольцо, оснащенное сверхпроводящими магнитами. Их применение в два раза повысит напряженность магнитных полей, управляющих движением частиц в ускорителе. В результате, сохранив прежние размеры установки, можно будет довести ее до 1 ТэВ. Следует подчеркнуть, что создание кольца сверхпроводящих магнитов — весьма нелегкая задача в чисто техническом плане: в частности, нужно охладить до 4,5 К почти 1000 магнитов, расположенных по окружности длиной 6,3 км. Для этого понадобится целая река жидкого гелия: холодильные установки лаборатории будут вырабатывать около 4000 литров в час.

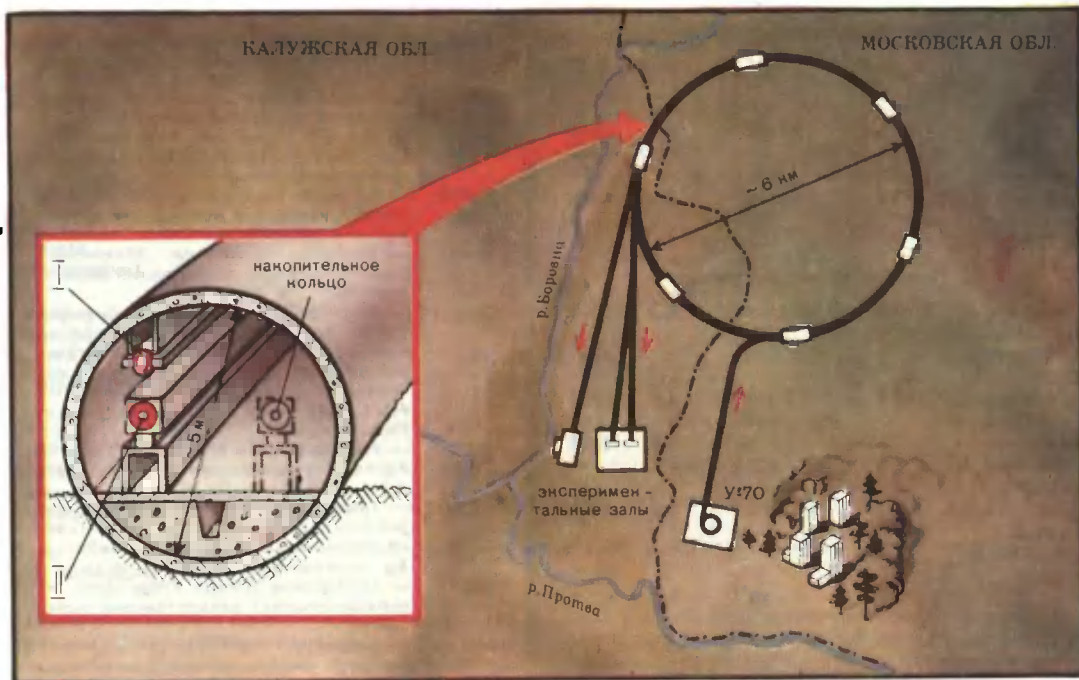
Наличие двух ускорителей — старого на 500 ГэВ и нового на 1 ТэВ — даст возможность осуществить различные столкновения встречных пучков. Наиболее удобной представляется схема, когда сталкиваются протоны и антипротоны, одновременно ускоренные в сверхпроводящем кольце до энергии 1 ТэВ. В этом случае энергия столкновения достигнет рекордной величины 2 ТэВ. Программа исследования рр-столкновений во многом будет опираться на опыт программы ЦЕРНа и станет ее естественным продолжением. В то же время Tevatron будет использоваться и в опытах с неподвижной мишенью. Протоны, ускоренные до 1 ТэВ, дадут начало пучкам нейтрино, мюонов и γ -квантов для различных экспериментов.

Канадские физики предлагают построить электронный ускоритель на 10 ГэВ (проект CHEER) с тем, чтобы сталкивать ускоренные в нем электроны с протонами из установки Tevatron. Энергия столкнове-

ния в таком случае составит 200 ГэВ при светимости $10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. По оптимистическим прогнозам проект может быть осуществлен к 1985 г. Тогда СНЕЕР станет первой установкой на встречных ер-пучках (в ФРГ существует похожий проект HERA с предполагаемой датой завершения 1988 г.). До сих пор ер-соударения изучали в опытах с неподвижной протонной мишенью. Чтобы достичь в них такой же, как на СНЕЕР энергии столкновения, нужен электронный синхротрон на энергию 20 ТэВ,

будет состоять из двух переплетенных колец, но в четыре раза больших и сделанных из сверхпроводящих магнитов.

Предполагаемая схема работы установки такова: сначала протоны, ускоренные до 30 ГэВ, инжектируются в нее из существующего ускорителя (АGS), потом в течение короткого времени оба кольца ISABELLE работают как протонные синхротроны, ускоряя частицы до максимальной энергии 400 ГэВ; затем протоны циркулируют с постоянной энергией, сталкива-



План ускорительно-накопительного комплекса Института физики высоких энергий. Слева на рисунке показано поперечное сечение туннеля УНК и относительное расположение в нем различных элементов комплекса: I ступени — ускорителя на 600 ГэВ, II ступени — сверхпроводящего кольца на 3 ТэВ и предполагаемого накопительного кольца.

создание которого в земных масштабах попросту невозможно.

Взаимодействие встречных ер-пучков предполагается изучать в Брукхейвенской национальной лаборатории (США), где к 1986 г. намечено построить установку ISABELLE с энергией столкновения частиц до 800 ГэВ. Подобно европейской ISR она

ясь в шести местах пересечения колец, где будут установлены приборы экспериментаторов. Отличительной чертой установки будет ее высокая светимость: $L=10^{33} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ (в 10 раз больше светимости любого другого ускорителя на встречных пучках и в 30 раз больше светимости ее предшественницы, знаменитой ISR).

Будут строиться ускорители на встречных e^+e^- -пучках — в настоящее время, пожалуй, самые совершенные инструменты для изучения микромира. В дополнение и развитие научных программ, которые проводятся на лишь недавно построенных установках PETRA (Гамбург, ФРГ) и PEP (Станфорд, США), планируются ис-

Крупнейшие действующие ускорители

Название, место расположения	Энергия частиц, ГэВ	Интенсивность, частиц/м.п. [светимость, см ⁻² с ⁻¹]	Периметр или длина, км	Год запуска
Линейные электронные ускорители				
Станфорд (Калифорния, США)	22	$8,3 \cdot 10^{11}$	3	1966
Орсэ (Франция)	2,1	10^{12}	0,36	1959
Харьков (СССР)	2	$1,7 \cdot 10^{11}$	0,24	1965
Электронные синхротроны				
Итака (Нью-Йорк, США)	12	10^{11}	0,78	1967
DESY, Гамбург (ФРГ)	7,5	$5 \cdot 10^{11}$	0,3	1964
АРУС, Ереван (СССР)	6	$7 \cdot 10^{10}$	2,2	1967
Протонные синхротроны				
FNAL PS, Батавия, (Иллинойс, США)	500	$2,65 \cdot 10^{13}$	6,3	1972
SPS, Женева (Швейцария)	400	$2,5 \cdot 10^{13}$	6,9	1976
У-70, Протвино (СССР)	76	$5,3 \cdot 10^{12}$	1,5	1967
AGS, Брук-хейвен (Нью-Йорк, США)	33	$9 \cdot 10^{12}$	0,8	1960
PS, Женева (Швейцария)	28	$6 \cdot 10^{12}$	0,6	1959
Ускорители на встречных e^-e^+-пучках				
PETRA, Гамбург (ФРГ)	19	$1,6 \cdot 10^{31}$	2,3	1978
PEP, Станфорд (Калифорния, США)	18	$4 \cdot 10^{30}$	2,2	1980
CESR, Итака, (Нью-Йорк, США)	8	$3 \cdot 10^{30}$	0,77	1979
ВЭПП-4, Новосибирск (СССР)	7	$3 \cdot 10^{28}$	0,36	1979
Ускорители на встречных pp-пучках				
ISR, Женева (Швейцария)	31	$1,2 \cdot 10^{32}$	0,942	1971

Установкам, используемым в физике высоких энергий, обычно стараются дать по возможности благозвучные названия (иногда это — женские имена: Арус, Изабелла, Гера, Дззи...). В то же время они являются аббревиатурами, в расшифровке которых содержится указание на тип установки.

АРУС	— АРмянский УСкоритель
ВЛЭПП	— Встречные Линейные Электрон-Позитронные Пучки
ВЭПП	— Встречные Электрон-Позитронные Пучки
У-70	— Ускоритель на 70 ГэВ
УНК	— Ускорительно-Накопительный Комплекс
AGS	— Alternating Gradient Synchrotron (англ. — сильнофокусирующий синхротрон с изменяющимся градиентом)
BPS	— Beijing Proton Synchrotron (англ. — пекинский протонный синхротрон)
CESR	— Cornell Electron Storage Ring (англ. — корнеллское электронное накопительное кольцо)
CHEER	— Canadian High Energy Electron Ring (англ. — канадское кольцо электронов высоких энергий)
DESY	— Deutsches Elektronen Synchrotron (нем. — немецкий электронный синхротрон)
FNAL PS	— Fermi National Accelerator Laboratory Proton Synchrotron (англ. — протонный синхротрон Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми; в литературе также часто употребляют FNAL main ring — главное кольцо FNAL)
HERA	— Hadron-Electron Ring Anlage (нем. — адрон-электронная кольцевая установка)
ISABELLE	— Intersecting Storage Accelerator (англ. — пересекающиеся ускорительно-накопительные [кольца] + belle — фр. прекрасная)
ISR	— Intersecting Storage Rings (англ. — пересекающиеся накопительные кольца)
LEP	— Large Electron-Positron [Ring] (англ. — большое электрон-позитронное [кольцо])
PEP	— Proton-Electron-Positron [Storage Ring] (англ. — протон электрон-позитронное [накопительное кольцо]; pep — бодрость духа, сила)
PETRA	— Positron-Electron Ring Accelerator (англ. — позитрон-электронный кольцевой ускоритель)
PS	— Proton Synchrotron (англ. — протонный синхротрон)
pp-collider	— установка со встречными pp-пучками (от англ. — collide — сталкивать)
SLC	— SLAC Linear Collider (англ. — установка с линейными встречными e^-e^+ -пучками в Станфорде)
SPS	— Super Proton Synchrotron (англ. — синхротрон на сверхвысокую энергию)
TRISTAN	— Transposable Ring Intersecting Storage Accelerators in Nippon (англ. — взаимозаменяемые ускорительно-накопительные кольца в Японии)

Проектируемые и сооружаемые ускорители

Название проекта, местонахождение	Уско- ряе- мые ча- стицы	Энергия частиц, ГэВ	Интенсивность, част./мм.п. (светимость, $\frac{1}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$)	Пери- метр или длина*, км	Срок предпо- лагаемого ввода в строй	Перспективы		
						Уско- ряемые частицы	Энергия пучков, ГэВ	
УНК, Протвино (СССР)	p	3000	$6 \cdot 10^{14}$	20,7	1990	pp	3000	3000
	pp	600	$10^{30} - 10^{32}$			ер	20	3000
Tevatron, Батавия (Иллинойс, США)	p	1000	$5 \cdot 10^{13}$	6,3		pp	3000	3000
	pp	1000	10^{30}		1984	pp	1000	1000
ISABELLE, Брукхейвен (Нью-Йорк, США)	pp	400	10^{33}	3,77	1986	pp	400	400
						ер	20	400
p-p collider, Женева (Швейцария)	pp	270	10^{30}	6,9	1981	pp	400	400
BPS, Пекин (КНР) ВЛЭПП*	p	50	10^{13}		1987[1]	p	200[1]	
Новосибирск (СССР)	e^+e^-	100	100 $10^{32} - 10^{33}$	2×1	1988	e^+e^- (при общей длине 2×3 км)	300	300
LEP, Женева (Швейцария)	e^+e^-	50	50 10^{32}	27	1987	e^+e^-	100	100
SLC*, Станфорд (Калифорния, США)	e^+e^-	50	50 10^{30}	3,9	1984			
TRISTAN, Цукуба (Япония)	e^+e^-	30	30 $10^{31} - 10^{32}$	3	1986	ep pp pp	30 300 300	300 300 300
HERA, Гамбург (ФРГ)	ep	30	820 $3,5 \cdot 10^{31}$	6,5	1988			
CHEER, Батавия (Иллинойс, США)	ep	10	1000 10^{32}	6,3	1985			

* — линейные ускорители

следования на еще более грандиозной установке LEP в ЦЕРНе. Сердцем установки станет большое кольцо с длиной окружности 27 км, сооруженное в тоннеле под горным массивом Юра на франко-швейцарской границе. Существует вариант использования имеющихся синхротронов PS и SPS в системе инжектора. В кольце первого из них позитроны, полученные в специальной мишени, и электроны предполагается ускорять до 3,5 ГэВ, а в SPS — уже до 22 ГэВ. Лишь после этого густки электронов и позитронов будут вводиться в главное кольцо установки, где после достижения ими максимальной энергии экспериментаторы смогут изучать e^+e^- -столкновения, происходящие в восьми прямолинейных секциях кольца LEP. На первом этапе сооружения установки, который намечено завершить к 1987 г., энергия каждого пучка будет доведена до 50 ГэВ, соответственно энергия столкновения — до

100 ГэВ. В последующие годы эти параметры предполагается удвоить. Светимость достигнет $10^{32} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, что позволит получать более 20 тыс. Z^0 -бозонов в день. По-видимому, именно на установках ISABELLE и LEP будет окончательно решена судьба теории электрослабых взаимодействий.

В СССР принято решение построить в Протвино при Институте физики высоких энергий ускорительно-накопительный комплекс (УНК) — двухступенчатый ускоритель протонов с максимальной энергией 3 ТэВ. Первая ступень представляет собой протонный синхротрон на энергию до 600 ГэВ, в котором будут использоваться магниты обычного типа. Ускорение до максимальной энергии будет происходить во второй ступени с помощью кольцевого сверхпроводящего магнита. Обе ступени будут расположены в общем тоннеле с длиной окружности около 20 км. В качестве инжектора планируют использовать существ-

вующий ныне ускоритель У-70, повысив его интенсивность до $5 \cdot 10^{13}$ протонов/имп. Такая двухступенчатая система даст возможность получать интенсивные пучки протонов (около $6 \cdot 10^{14}$ протонов/имп.) и создать без специального накопительного кольца встречные пр-пучки с энергией столкновения 2,6 ТэВ и светимостью $10^{32} - 10^{33} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$.

Проектирование УНК ведется с учетом будущего развития. Размеры тоннеля выбраны таким образом, чтобы в дальнейшем в нем можно было расположить еще и сверхпроводящее накопительное кольцо и сталкивать пучки протонов уже с энергией 3 ТэВ каждый. В результате энергию в пр-столкновениях можно будет довести до 6 ТэВ. Кроме того, первую ступень можно будет, в принципе, использовать для накопления электронов и осуществления ер-соударений с энергией столкновения около 490 ГэВ и светимостью $10^{32} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$. Рассматривается также возможность встречных протон-антипротонных пучков (с энергией по 3 ТэВ каждый). В целом, ускорительно-накопительный комплекс, основные элементы которого должны быть введены в строй к 1990 г., позволит проводить физические исследования самого широкого диапазона.

Имеется также интересный проект для осуществления встречных e^+e^- -столкновений с помощью двух линейных ускорителей (установка ВЛЭПП в Новосибирске). На установке ВЛЭПП будут использованы интенсивные ускоряющие поля, так что энергия, приобретаемая частицей на длине 1 м, достигнет величины 100 МэВ. Первая очередь ВЛЭПП будет состоять из направленных навстречу друг другу ускорителей длиной 1 км каждый, с энергией пучков 100 ГэВ. Не прекращая экспериментов, ускорители можно будет удлинять, соответственно повышая энергию пучков. В перспективе намечено довести длину ускорителей до 3 км при энергии 300 ГэВ, так что энергия столкновения будет равна 600 ГэВ при светимости $10^{32} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$.

В ускорительном центре Станфордского университета (SLAC) также обсуждается проект получения встречных e^+e^- -пучков (SLC) с помощью уже существующего там линейного ускорителя, энергия которого будет повышена до 50 ГэВ. Предполагается, бомбардируя мишень пучком электронов из ускорителя, получать позитроны, ускорять их в том же линейном ускорителе до 50 ГэВ и лишь затем направлять пучки электронов и позитронов в пристроенные к этой установке две дуги с магнитами. В них частицы, пройдя на-

встречу друг другу около 0,9 км, будут сталкиваться с энергией 100 ГэВ. Такая система (кстати, по-видимому, она будет сравнительно недорогой) позволит получать до 150 промежуточных Z^0 -бозонов в час.

Заканчивая обзор ускорителей 80-х годов, следует подчеркнуть, что речь шла исключительно о реальных проектах, часть которых уже осуществляется. В литературе обсуждаются также более абстрактные проекты так называемых Очень Больших Ускорителей. Будут ли какие-нибудь из них рассматриваться через 10 лет как проекты к осуществлению, определится, в частности, результатами предстоящих в текущем десятилетии экспериментов.



Обзор сооружаемых и проектируемых ускорителей подготовлен по следующим материалам: Балбеков А. И., Васильев А. А. и др. Ускорительно-накопительный комплекс ИФВЭ. — В сб.: Элементарные частицы и атомное ядро, 1979, т. 10, вып. 3, с. 568; Березной В. А., Васильев А. А. Развитие ускорителей на сверхвысокие энергии в СССР. — В сб.: Труды XIV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий, Дубна, 1980. Издание ОИЯИ, Д2-81-158, с. 445; Агеев А. И. и др. Ускорительно-накопительный комплекс ИФВЭ (состояние работ). Препринт ИФВЭ 80-96. Серпухов, 1980. Pan ofsky W. Needs versus means in high-energy physics. — Physics Today, 1980, June, p. 24, а также журналам «CERN Courier»: 1978, v. 18, № 12; 1979, v. 19, № 9; 1980, v. 20, № 1, 3—6; 1981, v. 21, № 1, 3, 6.

Подледниковые озера Антарктиды

В. В. Богородский,
член-корреспондент АН СССР

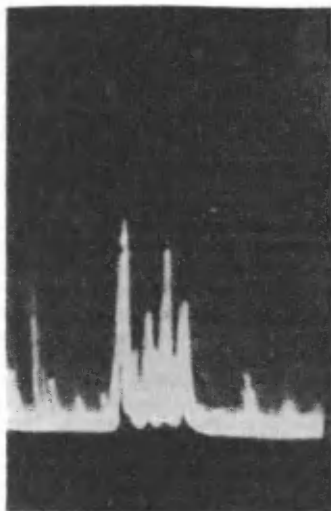
А. Н. Шереметьев

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

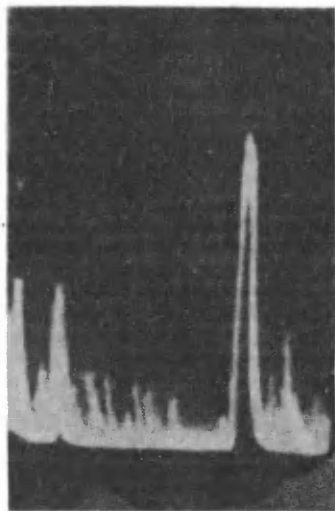
Радиолокационный метод, разработанный и внедренный в практику геофизических исследований советскими учеными, показал, что толщина антарктического ледника достигает 4000 и более метров. В нем сосредоточено более 24 млн км³ льда или приблизительно 62% всех запасов пресной воды Земли. Но вода в Антарктиде встречается и в ее основном состоянии — жидком. Известно, что антарктические озера располагаются, как правило, в прибрежной зоне в «оазисах». Термин «антарктический оазис» употребляется для обозначения лишенных ледяного покрова участков суши, окруженных ледниками. Часть озер, расположенных в таких оазисах, освобождается ото льда в летнее время, другие находятся подо льдом круглый год. Некоторые из прибрежных озер имеют площадь поверхности более 10 км² и достигают глубины свыше 100 м. Озера, несмотря на свою небольшую биологическую продуктивность (исключая те, что тесно связаны с морем), все же являются очагами жизни в оазисах.

Большой интерес представляют подледниковые озера, находящиеся в центральных областях Антарктиды. Исследование таких озер поможет понять природу образования и развития антарктического ледяного щита, рассчитать его термогидродинамические характеристики. Но если толщина льда над такими озерами может достигать нескольких тысяч метров, как их найти?

Решению этой задачи помогает активная радиолока-



Форма радиолокационных сигналов, отраженных от шероховатой поверхности ложа ледника (слева) и от поверхности подледникового озера (справа).

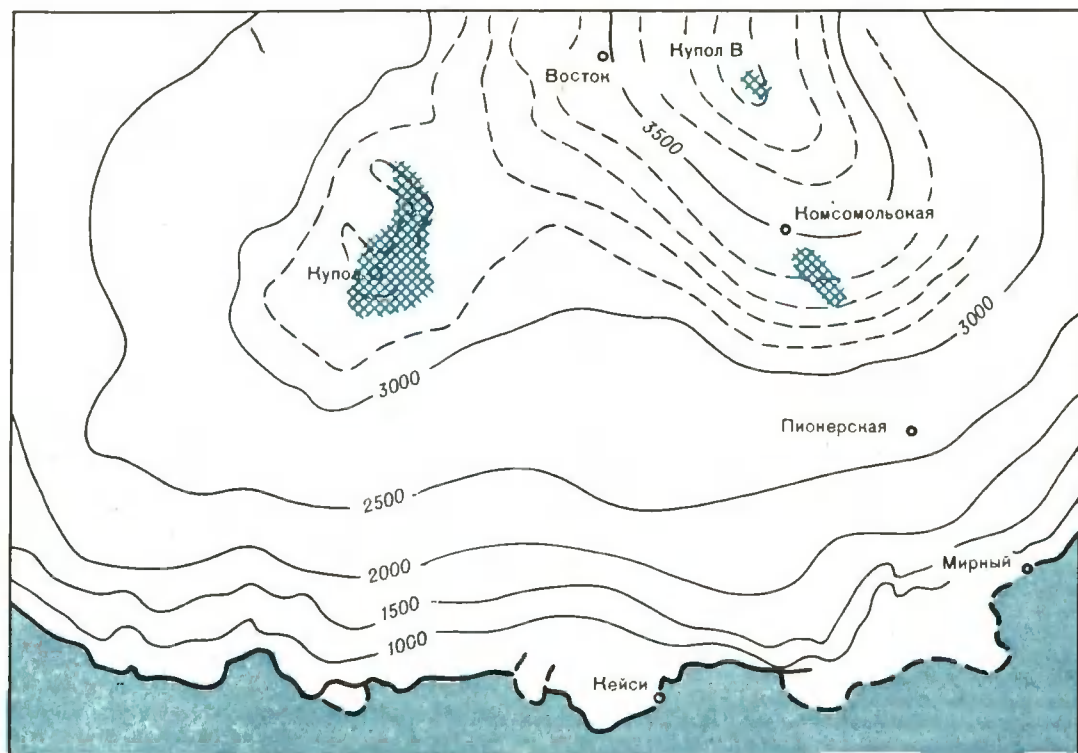


ция, уже много лет успешно применяемая учеными СССР, США и других стран в антарктических исследованиях для определения толщины и скорости движения ледникового покрова. Методика обнаружения скопления воды у ложа ледника была разработана в отделе физики льда и океана Арктического и антарктического научно-исследовательского института Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Ложе ледника имеет волнообразный рельеф, и сигнал, отраженный от такой поверхности, представляет собой группу импульсов. При движении радиолокатора относительно ложа амплитуды импульсов в группе изменяются из-за интерференции сигналов, отраженных от различных участков ложа. Сигнал же, отраженный от гладкой поверхности озера,

представляет собой одиночный импульс. Амплитуда этого импульса в несколько раз больше, чем при отражении от волнообразного ложа при одной и той же толщине ледника и зависит от степени шероховатости отражающей границы и разницы коэффициентов отражения радиоволн от границ раздела лед — вода и лед — горная порода. Таким образом, радиолокационный метод позволяет определить, есть ли вода у ложа ледника.

Как образуется эта вода? Ледниковый покров Антарктиды находится в постоянном движении, растекаясь от центральных областей к периферии — береговой черте океанов. При трении льда о коренное ложе выделяется большое количество тепловой энергии. Кроме того, Земля, как всякое нагретое тело, излучает тепло. Согласно закону Стефана — Больцмана, количество излучаемого телом тепла прямо пропорционально четвертой степени его абсолютной температуры. Причем распределение излучаемого тепла по поверхности Земли не везде одинаково: вспомним районы вулканической деятельности, гейзеры Исландии и Камчатки.



Расположение подледниковых озёр, обнаруженных методом радиолокационного зондирования в Восточной Антарктиде.

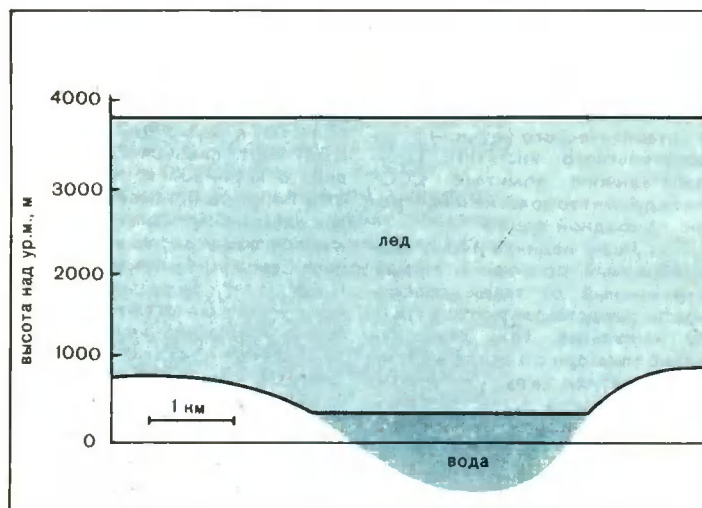


подледниковые озера



высота над ур. м., м

Вертикальный разрез ледника над озером в районе купола «В».



Среднее значение теплового потока для большинства районов земной коры близко к $6 \cdot 10^{-2}$ Вт/м², что, как показали измерения в Антарктиде, примерно в 1,5 раза меньше тепла, выделяемого у ложа ледника. Оказывается, этого количества тепла (геотермального и выделяемого при движении льда) достаточно для растопления нижнего слоя льда в Антарктиде.

Расчеты, выполненные в разное время советскими и зарубежными учеными на основе решений уравнений теплопроводности и теплового баланса, показали, что центральная часть антарктического ледникового покрова находится в условиях, когда температура у ложа близка к температуре таяния льда. Сопутствующим условием таяния является давление: так, при толщине ледника в 3 тыс. м (среднее значение для центральных районов Антарктиды) давление у ложа примерно 270 атм., а температура плавления льда составляет $-2,0^{\circ}\text{C}$. Измерения температуры в скважинах, пробуренных в ледниковом щите,

показали, что температура у ложа близка к нулю, в то время как температура у нижней границы деятельного слоя¹ может достигать -50°C в центральных районах Антарктиды и -10°C в прибрежных.

Правильность теоретических расчетов была проверена, оставалось экспериментально обнаружить подледниковые озера. Первое подтверждение теории было получено в январе 1968 г. при бурении ледника у станции Бэрд. На глубине 2164 м бур достиг горных пород, а у самого ложа была обнаружена вода, которая под давлением поднялась на 50 м.

Самолетные радиолокационные измерения толщины ледникового покрова Антарктиды, которые проводились Полярным институтом им. Р. Скотта (Англия), позволили обнаружить ряд подледниковых озер в районе купола «С». Озера были распознаны по увеличению амплитуды отраженного сигнала.

При изучении ледникового покрова советские антарктические экспедиции также зафиксировали воду у ложа ледника. Так, радиолокационное зондирование озера Стокового вблизи станции Молодежная позволило определить границы озера, заходящего далеко под ледник. Бурение подтвердило результаты зондирования. В 1979—1980 гг. для измерения скорости движения и толщины ледникового покрова были предприняты походы по трассе Мирный — Комсомольская — купол «В». Радиолокационные измерения толщины ледника по трассе похода позволили определить наличие воды у ложа в районе станции Комсомольская и у купола «В». У станции Комсомольская отражения от воды были получены на 9 участках протяженностью от 0,2 до 3 км.

У подножия купола «В» обнаружено 2 подледниковых озера. Одно — в точке с координатами $94^{\circ}34'$ в. д. и $76^{\circ}45'$ ю. ш. Координаты другого озера — $94^{\circ}50'$ в. д. и $77^{\circ}05'$ ю. ш. Это озеро было исследовано подробно.

Толщина слоя воды, оцененная по уклону ложа, составляет более пятисот метров. Площадь озера 30 км^2 . Толщина ледника над ним 3560 м. Верхний слой воды в озере находится под давлением 320 атм.; температура плавления льда при таком давлении составляет $-2,4^{\circ}\text{C}$. Особенность физического состояния жидкости в этом озере заключается в том, что весь объем воды от верхней до нижней границы находится под большим давлением и при отрицательной температуре. Заметим, что теоретические расчеты температурного поля в теле ледника, выполненные для района маршрута Мирный — Комсомольская — купол «В», показали, что у ложа непосредственно в районе купола и на 200-километровом участке севернее станции Комсомольская лед тает. Именно на этих участках радиолокатор зафиксировал отражение от воды. Значение теплового потока у основания ледника при расчетах принималось равным $6,8 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2$. По аналогии с куполом «С» купол «В» также должен быть окружен озерами, которые располагаются в котловинах вокруг него. Для их обнаружения необходимо провести детальную радиолокационную съемку подледного рельефа на большой площади.

Считается, что такие озера образовались примерно одновременно с возникновением мощного антарктического ледникового покрова, т. е. миллионы лет назад. Так как лед у ложа ледника содержит некоторое количество моренного материала, то необходимым условием существования подледных озер является низкая эрозионная и динамическая активность ледника, так как в противном случае озера оказались бы заполненными мореной, вытесняющей при «донном» таянии. Эти условия наиболее характерны как раз для центральных районов Антарктиды вблизи ледоразделов и центров растекания. Часть озер может соединяться между собой тонкой пленкой воды или каналами. По таким каналам, по-видимому, имеющимся в руслах выводных ледников, вода из центральных районов может выноситься в океан.

Представляет интерес и вопрос о возможности существования простейших форм жизни в подледниковых озерах. Антарктический лед, образовываясь из снега и фирна, содержит в себе большое количество пузырьков воздуха. По мере проседания льда в направлении ложа пузырьки опускаются вместе со льдом, при этом давление воздуха в пузырьках повышается. Дойдя до зоны таяния у ложа, почти весь воздух, находящийся под давлением в сотни атмосфер, растворяется в воде. Вместе с воздухом до воды доходят и мельчайшие частички органического вещества — пыльца, споры растений. Такие частички, найденные на поверхности в центральных областях Антарктиды (по-видимому, занесенные воздушными массами), могут служить источником пищи для простейших организмов. Такие организмы могли сохранить свою жизнедеятельность еще до времен, когда антарктический материк не был покрыт льдом, ведь все условия для их существования и развития были и есть.

В последнее время дискутируется вопрос о захоронении радиоактивных отходов в центре Антарктиды. По мысли авторов этого проекта, контейнеры с радиоактивными отходами должны довольно быстро протаять до ложа и оставаться там в течение тысяч лет, пока не будет найдено радикальное средство их обезвреживания. При проведении такого проекта в жизнь необходимо считаться с наличием таяния у ложа ледника, так как возможен вынос водой радиоактивных веществ в океан. Кроме того, большие захоронения радиоактивных веществ могут привести к нарушению теплового баланса ледникового покрова, что вызовет резкое поднятие уровня Мирового океана.

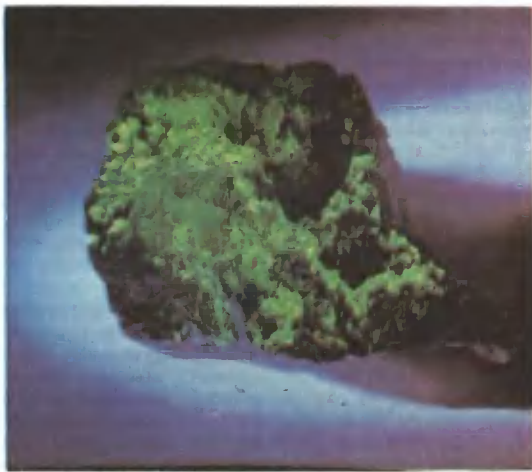
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Богородский В. В. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДНИКОВ. Л.: Гидрометеоиздат, 1968.

Зетиков И. А. ТЕПЛОЙ РЕЖИМ ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА

АНТАРКТИДЫ. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.

¹ Верхний слой ледника толщиной 12—15 м, в котором еще наблюдаются годовые колебания температуры.



Люминесцентные индикаторы геосфер

А. М. Портнов, Б. С. Горобец



Александр Михайлович Портнов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Центральной геолого-геофизической экспедиции Центрального научно-исследовательского геолого-разведочного института Министерства геологии СССР. Занимается аэрогеофизическими методами поисков рудных месторождений, а также отдельными вопросами геологии, геохимии и минералогии. В «Природе» опубликовал статью: Глубинные конгломераты: месторождения золота, урана, алмазов (1980, № 7).



Борис Соломонович Горобец, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного института минерального сырья Министерства геологии СССР. Исследует люминесценцию минералов и методы ее применения в геологии и обогащении минерального сырья.

В затемненной комнате вспыхивает ртутная кварцевая лампа, и в образцах горных пород загораются разноцветные огоньки — точки, пятна, каемки. Так проявляется фотолюминесценция минералов — их способность светиться под действием невидимых глазу ультрафиолетовых лучей.

Шеелитовая руда (Кти-Теберда, Кавказ) — вверху, слева. Голубая люминесценция шеелита, обусловленная группой $[WO_4]^{2-}$, служит основным диагностическим признаком этого минерала.

Урановая слюдка в куске породы — вверху, справа. Зеленая люминесценция группы $[UO_2]^{2+}$ — основной диагностический признак вторичных минералов урана.

Циркон (Вишневые горы, Урал) — в середине. Желтая люминесценция, вызванная примесью тита-

Феномен люминесценции связан с присутствием в минералах элементов-люминогенов, имеющих в электронной структуре недостроенные оболочки. При взаимодействии люминогенов с другими компонентами кристаллической решетки некоторые электронные орбиты остаются неза-

на, — основной диагностический признак этого минерала.

Кальцит с апатитом из щелочного массива Вишневые горы (Урал): внизу слева — образец при естественном освещении, внизу справа — люминесцирующий образец. Оранжево-красное свечение кальцита вызвано Mn^{2+} , беловато-сиреневое апатита — Ce^{3+} и Eu^{3+} , бледно-голубой круг под образцом обусловлен люминесценцией бумаги.

Фото В. Н. Машатина

полненными, и по этой причине возникают локальные уровни излучения энергии в кристалле, входящие на оптический диапазон длин волн. Так образуются центры свечения, в которых при поглощении энергии электрон переходит с основного уровня на пустой, возбужденный, а затем возвращается, испуская фотон люминесценции. Из-за потери части энергии испускаемый фотон сдвинут в длинноволновую сторону спектра. Поэтому для возбуждения видимой люминесценции приходится использовать источник ультрафиолетовых лучей.

Подавляющее большинство люминогенов представлено металлами переходных групп, у которых имеются недостроенные электронные оболочки: это элементы группы железа, лантаноиды, молибден, вольфрам, уран. Люминогены могут быть либо собственными для данного минерала, т. е. входить составной частью в его формулу, либо, значительно чаще, присутствовать в виде небольшой примеси (примерно от 10^{-4} до 1%).

Каждый люминоген сообщает о себе излучением с определенным спектром. Если спектр люминесценции природного минерала сравнить со спектрами его синтетических аналогов, содержащих примеси известных люминогенов, то можно установить, почему природный минерал светится. На цветном развороте солнечного спектра мы приводим интервалы, где яркость свечения люминогенов, встречающихся в минералах, наибольшая.

По виду спектра можно определить валентность элемента-люминогена и, как правило, место его в кристаллической решетке минерала-хозяина. Поэтому люминесцентно-спектральный минералогический анализ дает уникальную информацию о присутствии, приблизительном количестве и форме вхождения в минералы многих редких и рассеянных элементов. Этот анализ экспрессен, высокоинформативен и очень нагляден, так как обычно люминесценция может восприниматься невооруженным глазом, а не только электронным прибором — нечастое преимущество среди физических методов анализа. Все это делает люминесценцию одним из важных методов, применяемых минералогами и технологами при поисках и оценке месторождений полезных ископаемых.

Но сначала необходимо разобраться, какие минералы способны люминесцировать, а какие — нет. Почему, например, в минералах встречаются только «свои» определенные люминогены, а другие сильные люминогены в них никогда не наблю-

даются? Почему у одного и того же минерала из разных месторождений отдельные люминогены то никак не проявляются, то играют подавляющую роль?

Ясно, конечно, что способность к люминесценции и ее разнообразные проявления должны зависеть от состава минерала и условий его образования. Но как именно? Попробуем в самых общих чертах набросать картину люминесцирующего минерального мира.

Способные к люминесценции минералы должны хотя бы в незначительной степени пропускать видимые или ультрафиолетовые лучи своего люминогена. Таким свойством, в принципе, обладают диэлектрики и многие полупроводники (правда, последние не способны пропускать ультрафиолетовые лучи), но не обладают металлы и близкие к ним соединения. Дело в том, что у металлов — нулевая запрещенная зона энергий электронов E_g ¹. Как известно из физики, чистый кристалл прозрачен для света с энергией примерно E_g и ниже, тогда как свет с энергией выше E_g поглощается или отражается даже в тончайших пленках кристалла. Таким образом, чистые диэлектрики, а также полупроводники с E_g выше чем примерно 1,5 эВ (что соответствует фотонам на красном краю видимого спектра с длиной волны около 800 нм) прозрачны для возникающей в них люминесценции.

Подавляющая часть минералов представлена, как известно, кислородсодержащими и галогенидными соединениями. Разделим их соответственно на одинаковым катионам. Именно катионы металлов чаще всего являются либо люминогенами (собственными или примесными), либо гасителями люминесценции в минералах. Причем примесные элементы замещают только вполне определенные элементы, близкие по ионному радиусу и заряду (см. табл.). В большинство минералов земной коры входят такие катионы, как алюминий, кремний, кальций, магний, железо, которые, хотя сами не люминесцируют, но жестко определяют разрешенный набор примесных катионов-люминогенов в минералах.

От чего же зависит реализация в природе того или иного варианта из набора люминесцентных свойств минерала,

¹ Подобно атому, кристалл имеет разрешенные и запрещенные энергетические уровни электрона, только в атоме они дискретные, а в кристалле расплываются в зоны. Ширина запрещенной зоны, расположенной между последней заполненной электронами и свободной зоной разрешенных энергий, определяет основные оптические свойства чистого кристалла.

допустимого физикой твердого тела и кристаллохимией?

Апатит и флюорит из глубинных горных пород светятся почти одинаковым фиолетово-синим цветом. Апатит же из менее глубинных пород дает желто-розовое, а флюорит обычно желто-зеленое свечение. Значит, состав люминогенов и условия минералообразования в разных геосферах заметно различаются между собой, и минералы сохраняют память о них.

Чтобы разобрать вопрос более детально, кратко остановимся на тех слоях, которые формируют верхнюю часть литосферы. Как известно, наша планета в разрезе неоднородна и состоит из ряда геосфер, последовательно сменяющих друг друга. О сверхглубинных слоях имеется лишь самое общее представление, однако с верхней частью разреза — земной корой — геологи встречаются постоянно. В самом верху земной коры залегают осадочно-метаморфические породы; под ними — так называемый гранитный слой, характерный для континентальных плит; еще ниже располагается слой, условно названный базальтовым, этот слой выходит на поверхность литосферы на огромных пространствах океанических впадин. В среднем мощность земной коры под континентами составляет 35—40 км, под океанами — 5—10 км. Земную кору подстилает мантия, представленная плотными темноцветными породами с высоким содержанием железа и магния.

На залитой солнечным светом стороне Луны мы видим темные низменности — «океаны» и «моря» нашего спутника, где преобладает базальтовый слой, и светлые возвышенности — «континенты», обогащенные легкими элементами. Наверное, что-то похожее наблюдалось бы из космоса и на Земле, не будь у нее многочисленных экранов — атмосферы, гидросферы, биосферы.

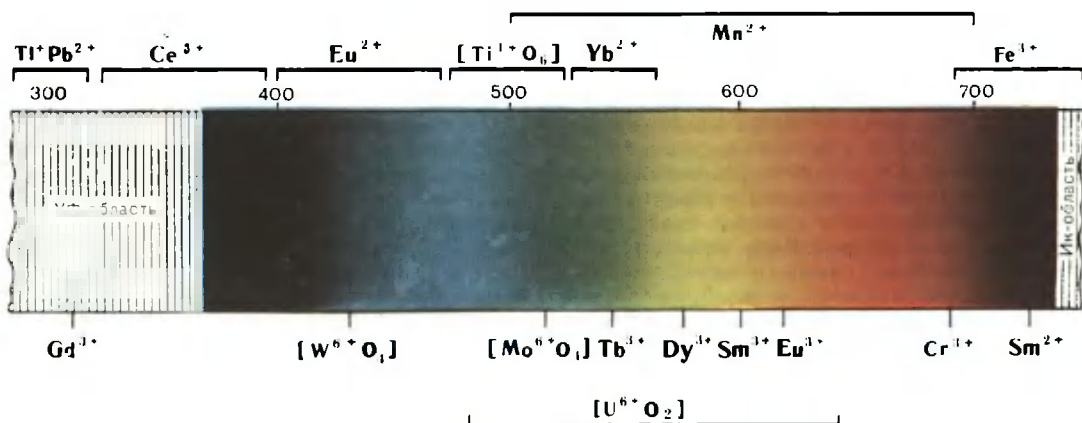
Действительно, железистые породы, связанные с мантией Земли и ее базальтовым слоем, обычно имеют черный или темно-серый цвет, знакомый нам по черным плитам базальтовых мостовых или по темной лабрадоритовой облицовке некоторых зданий. В отличие от них розовые, красные и серые граниты, белый мрамор, желтоватый известняк передают светлую гамму красок тех геосфер, что расположены ближе к поверхности. Разумеется, эти слои постоянно взаимодействуют друг с другом. Потоки глубинной энергии активизируют верхнюю мантию и земную кору, вызывая их частичное перемешивание, вне-

дрение расплавленных масс из нижних горизонтов в более высокие. При этом возникают зоны концентрации отдельных элементов — месторождения.

Различные типы рудных месторождений формируются за счет активизации различных слоев, и вопрос о том, с каким именно слоем они связаны, до сих пор является предметом геологических дискуссий. Рудоотложение — это один из наиболее сложных геологических процессов, который, в конечном счете, неизменно связан с переносом отдельных элементов и их концентрацией. Установлено, что зоны рудоотложения формируются лишь в довольно узких интервалах термодинамических и физико-химических условий, а главными факторами являются температура, давление, кислотность-щелочность среды и окислительно-восстановительный потенциал. Наиболее трудно оценить именно два последних фактора, так как они зависят от ряда величин, не поддающихся точному учету: фазового состава среды, активности входящих в нее компонентов, степени замкнутости системы и т. д. Между тем важно знать, хотя бы качественно, как менялись кислотность-щелочность среды и ее окислительно-восстановительный потенциал. И здесь на помощь приходит люминесценция минералов. Оказывается, люминесценция может отражать и активность кислорода, и кислотность-щелочность среды, так как многие люминогены являются чувствительными индикаторами процессов минералообразования.

Люминесцентная печать мантии Земли проступает в относительно немногих безжелезистых минералах. Из них наиболее часто встречается апатит. Он имеет фиолетово-сиреневый цвет свечения: так проявляют себя люминогены Ce^{3+} и Eu^{2+} , преобладающие в апатите из мантийных пород. Обычно редкоземельные элементы (TR) встречаются в трехвалентном состоянии TR^{3+} , но европий значительно легче других переходит в двухвалентную форму. Из редкоземельных элементов только он (и, возможно, еще иттербий) способен восстанавливаться до двухвалентного иона в земной коре.² Голубое свечение Eu^{2+} чаще

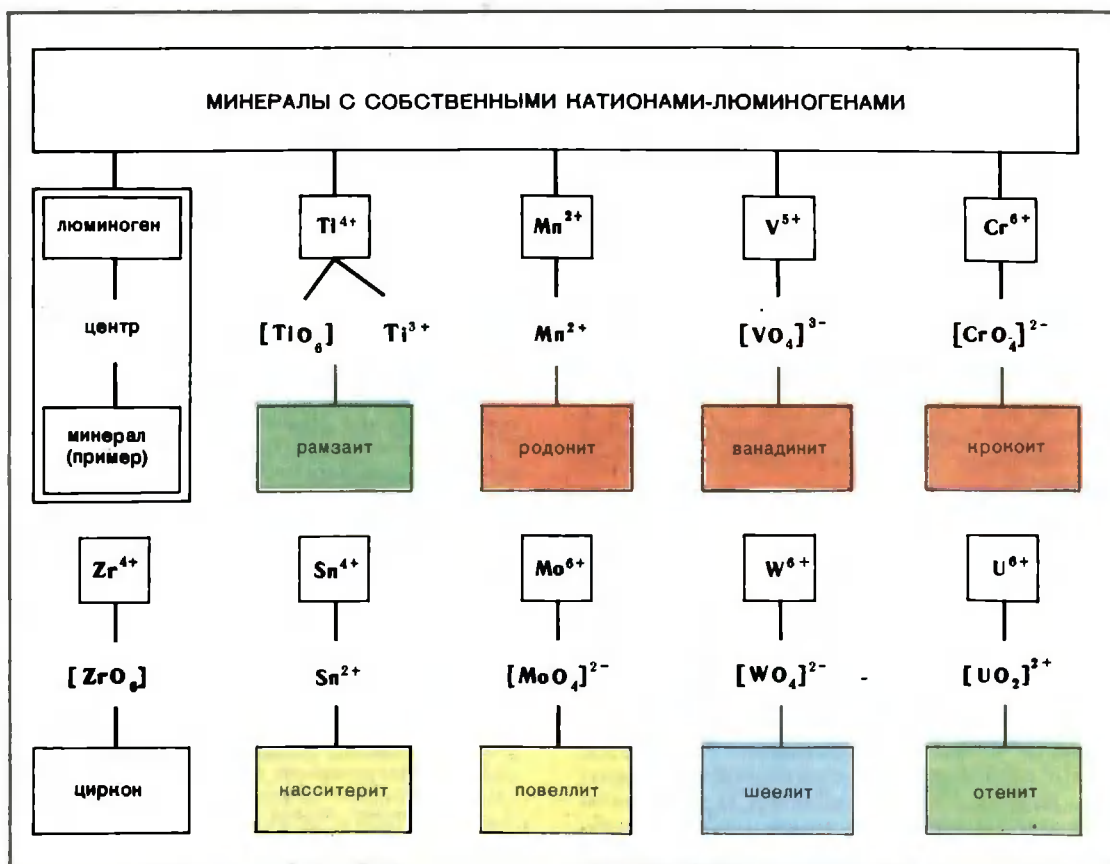
² Строго говоря, надо еще убедиться, что восстановление не происходит в самом кристалле за счет воздействия радиоактивных излучений. Но в этом случае в апатите и флюорите обязательно появляется также темно-красное свечение двухвалентного самария, более распространенного в этих минералах, чем европий. Восстановление Sm^{3+} в жидкой фазе в условиях земной коры невозможно. Ниже мы учитываем это обстоятельство, хотя и не оговариваем его каждый раз.



Положение максимумов длин волн (в нм) катионов-люминогенов в спектрах свечения минералов. В различных кристаллических решетках максимумы либо

смещаются в указанных интервалах (Mn^{2+} , Eu^{2+} и др.), либо почти не меняют своего положения (редкие земли, Cr^{3+}).

МЕТАЛЛЫ, ПРЕОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ.



Алмазы из различных месторождений — внизу. Разноцветная люминесценция обусловлена многообразными формами вхождения азота в кристаллическую структуру алмаза.

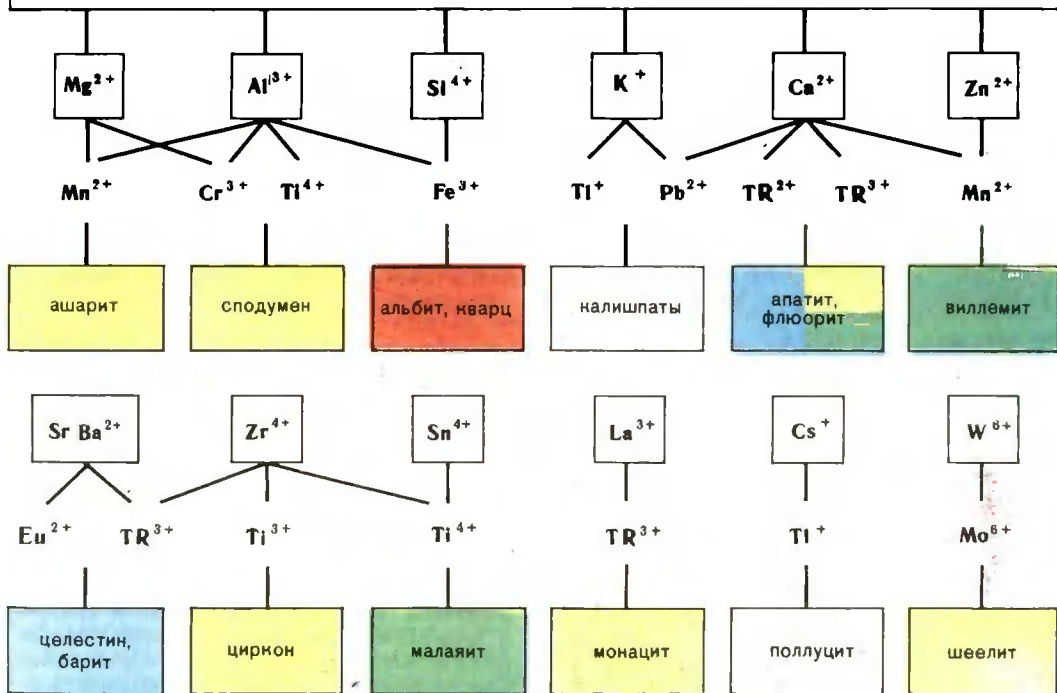
Из кн.: Gleason S. Ultraviolet guide to minerals. N. Y., 1960.

все это свидетельствует о восстановительных условиях минералообразования. Фиолетовое свечение Ce^{3+} , преобладающее над линиями остальных редкоземельных элементов (самария, гадолиния, диспрозия, тербия, эрбия), говорит о повышенной щелочности расплава-раствора.

Итак, для производных мантии — алмазоносных кимберлитовых трубок и богатых редкими металлами карбонатитов и апатитоносных щелочных пород фотолюминесценция Eu^{2+} и Ce^{3+} указывает на резко восстановительную щелочную среду минералообразования. В некоторых более редких минералах из тех же пород выявляются и другие центры свечения, образованию которых благоприятствует восстановительная обстановка. К ним относятся ион титана Ti^{3+} и захватившая электрон молекула



МИНЕРАЛЫ С ПРИМЕСНЫМИ КАТИОНАМИ-ЛЮМИНОГЕНАМИ



серы S_2^- . В алмазе светится включенный в его структуру азот, ассоциированный с различными точечными дефектами. Поскольку мантия обогащена хромом, то этот элемент в форме Cr^{3+} иногда проявляется в свечении корунда, шпинели и хризоберилла, если он не погашен примесью железа.

Хотя в мантийных породах заметно повышено по сравнению с внешними геосферами содержание марганца — самого распространенного в природе катиона-люминогена, тем не менее оранжево-желтое или красное свечение Mn^{2+} наблюдается лишь в немногих глубинных минералах. Во-первых, это кальцит, решетка которого особо предрасположена к захвату ионов Mn^{2+} (чему благоприятствует также высокая температура минералообразования, например, в карбонатитах). Во-вторых, это сфалерит и цинковая шпинель — ганит, в которых Mn^{2+} замещает Zn^{2+} , а также литневые слюды щелочных пегматитов, где Mn^{2+} входит на место более «кислого» катиона Al^{3+} ; при указанных замещениях Mn^{2+} индицирует повышение щелочности среды.

В немногих способных светиться минералах из горных пород и месторождений, связанных с базальтовым слоем, как правило, преобладает фиолетово-синее свечение Eu^{2+} . Оно характерно для таких известных минералов, как апатит и флюорит, а также для боросиликата кальция — датолита. Свечение центра S_2^- в специфических минералах гаюине и нозеане указывает, что базальтоиды в значительной мере наследуют восстановительную среду мантии. Однако роль щелочей здесь заметно снижена. Редко и слабо проявляется люминоген Ce^{3+} , зато в кальциевых минералах возрастает роль желто-оранжевого люминогена Mn^{2+} , указывающего на тенденцию к возрастанию кислотности среды.

Физико-химические свойства среды резко меняются на границе между базальтовым и гранитным слоями. Соответственно меняются и люминесцентные индикаторы этих свойств. В минералах гранитоидов и связанных с ними многочисленных месторождений лития, бериллия, цезия, тантала, олова, вольфрама и других металлов чаще всего наблюдается свечение двух люминогенов — Mn^{2+} и Fe^{3+} . Любопытно, что содержание железа и марганца в гранитном слое в среднем значительно ниже, чем в мантии и базальтовом слое. Тем не менее желтое, оранжевое, красное, изредка зеленое свечение Mn^{2+} и темно-красное свечение Fe^{3+} свойственно многим десят-

кам минералов из гранитных пегматитов, грейзенов и скарнов, т. е. пород, возникших при взаимодействии высокотемпературных газово-водных растворов, отделившихся от гранитного расплава, с окружающими породами. Люминоген Fe^{3+} наиболее характерен для минералов, кристаллизующихся непосредственно из расплава. К ним относятся полевые шпаты — санидин, микроклин, амазонит, альбит, а также высокотемпературные минералы, такие как турмалин-эльбаит, берилл, фенакит и другие. Свечение Fe^{3+} обычно указывает на окислительные условия в гранитном расплаве. Люминесценция Eu^{2+} в апатите и флюорите из гранитного слоя встречается редко, но это не означает, что европия здесь меньше, чем в базальтовом слое или в мантии — просто этот элемент переходит в трехвалентную форму. А Eu^{3+} является слабым люминогеном и очень редко проявляется в минералах (исключение составляет шеелит). Прокаливая апатит и флюорит в восстановительной среде, можно вызвать голубое свечение Eu^{2+} , «стертой» окислительной средой минералообразования.

Почему в гранитном слое происходит столь резкий скачок окислительного потенциала? Откуда в таком количестве берется кислород при формировании гранитных выделок? Возможно, решающую роль играет увеличение активности кислорода при снижении давления в системе $C-H-O$; возможно, кислород заимствуется при гидролизе воды; некоторые исследователи большое значение придают перестройке кремнекислородных радикалов в минералах. Но несомненно, что столь распространенный красноватый или розоватый цвет гранитов объясняется прежде всего активностью кислорода, ведущей к интенсивному окислению железа в гранитном расплаве или в гранитизирующем высокотемпературном растворе.

Активность двухвалентного марганца при формировании многочисленных кальциевых и магниевых минералов растет с увеличением кислотности среды и содержания в ней кремнезема. Таким образом, люминесценция минералов из пород гранитного слоя отражает его главные физико-химические особенности — окислительную среду и общую повышенную кислотность.

Однако при высокотемпературных процессах минералообразования, кислород довольно быстро расходуется. В средних и низкотемпературных растворах, связанных с остывающими гранитными массивами, кристаллизуются флюорит и апатит, а также ряд более редких минералов, в которых

вновь появляется Eu^{2+} . Иначе говоря, высокотемпературная окислительная волна сменяется среднетемпературной восстановительной.

Геохимики обычно оценивают окислительно-восстановительный потенциал среды по соотношению окисной и закисной форм железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$). Считается, что преобладание той или иной формы указывает на окислительную или восстановительную обстановку минералообразования. Действительно, во многих мантийных породах закись железа преобладает над окисью, а при переходе к гранитоидам содержание последней возрастает. Однако эта эмпирическая закономерность сохраняется лишь до тех пор, пока в расплавах или растворах не появляются в больших количествах щелочи. Анализы показывают, что существует прямая зависимость между содержанием щелочей и окиси железа. Одновременно увеличивается концентрация ионов Fe^{3+} в породообразующих силикатах — пироксенах, амфиболах, слюдах. Между тем в ассоциирующих с ними кальциевых минералах резко выражена люминесценция Eu^{2+} . Такая картина характерна для многих типов щелочных пород и карбонатов. И наоборот, бывает, что в минералах кислых пород гранитного ряда содержание Fe^{2+} больше, чем Fe^{3+} , в ассоциирующих же с ними кальциевых минералах не наблюдается свечения Eu^{2+} . Чему верить — железу, или европию?

Третьей судьей выступает реликтовый газ, законсервированный в крохотных пузырьках, оставшихся при затвердевании горных пород. Анализ газов показал, что в глубинных мантийных и базальтоидных породах даже при обилии Fe_2O_3 преобладают неокисленные газы — водород, метан, окись углерода. Между тем в минералах гранитоидов и связанных с ними месторождений резко преобладает двуокись углерода — углекислота, сжатая огромным давлением и нередко представленная жидкостью. Значит, в гранитоидах кислород действительно присутствовал в таком количестве, что его хватило на окисление столь мощного восстановителя, как углерод.

Известно, что увеличение щелочности действует на процесс окисления железа существенно сильнее, чем на лантаноиды. Значит, при прочих равных условиях Fe^{2+} окисляется раньше, чем Eu^{2+} . Иными словами, железо, присутствующее в значительных количествах в щелочном расплаве, выступает по отношению к европию как восстановитель. Не исключено, что таковым

оно выступает и по отношению к углеводородам. Например, в нефелиновых сиенитах железо, окисляясь, образует эгирин и некоторые другие более редкие минералы, которые при анализе соотношения $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ дают резкий перевес в пользу окиси железа. По-видимому, европий в щелочных породах проявляет себя как более корректный индикатор, нежели соотношение $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$.

Итак, в минералах изверженных пород выявляется «антагонизм» наиболее распространенных и информативных люминогенов: Eu^{2+} и Fe^{3+} — как индикаторов окислительно-восстановительной обстановки, Ce^{3+} и Mn^{2+} — как индикаторов кислотности-щелочности среды. Двухвалентный европий наиболее характерен для минералов глубинных пород — ультрабазитов, кимберлитов, карбонатитов, нефелиновых сиенитов, сформировавшихся в относительно резких восстановительных условиях. Его «антагонист» — трехвалентное железо — характерно для окислительной среды гранитоидного магматизма. Свечение церия преобладает в кальциевых минералах, возникших в щелочной среде, обычно в глубинных породах. Свечение марганца в тех же минералах характеризует кислую среду, наиболее свойственную для пород гранитного слоя.

Даже по цвету люминесценции нескольких зерен минералов, извлеченных из горной породы или же найденных в шлихах из речных песков, можно судить о присутствии этих примесей и получить ценные сведения об условиях минералообразования и источниках сноса рыхлого материала.

Картина была бы неполной без упоминания о люминесцентных свойствах минералов самого верхнего слоя земной коры — осадочной толщи. В минералах этого слоя, возникших в условиях обилия кислорода, широко представлены люминогены высших валентностей: U^{6+} , Mo^{6+} , Cr^{6+} , V^{5+} . Желтовато-зеленое свечение уранил-иона $[\text{UO}_2]^{2+}$, входящего в десятки минералов из осадочных толщ, нередко позволяет установить места, где на поверхность выходит урановая минерализация. Появление свечения окисленных молибденовых и ванадиевых соединений, представленных зачастую малозаметными пленками, может помочь геологам в оценке характера рудопроявления. В галите из залежей каменной соли всегда можно обнаружить более или менее интенсивную ультрафиолетовую полосу люминесценции катиона серебра (Ag^+), свидетельствующую, что этот бла-

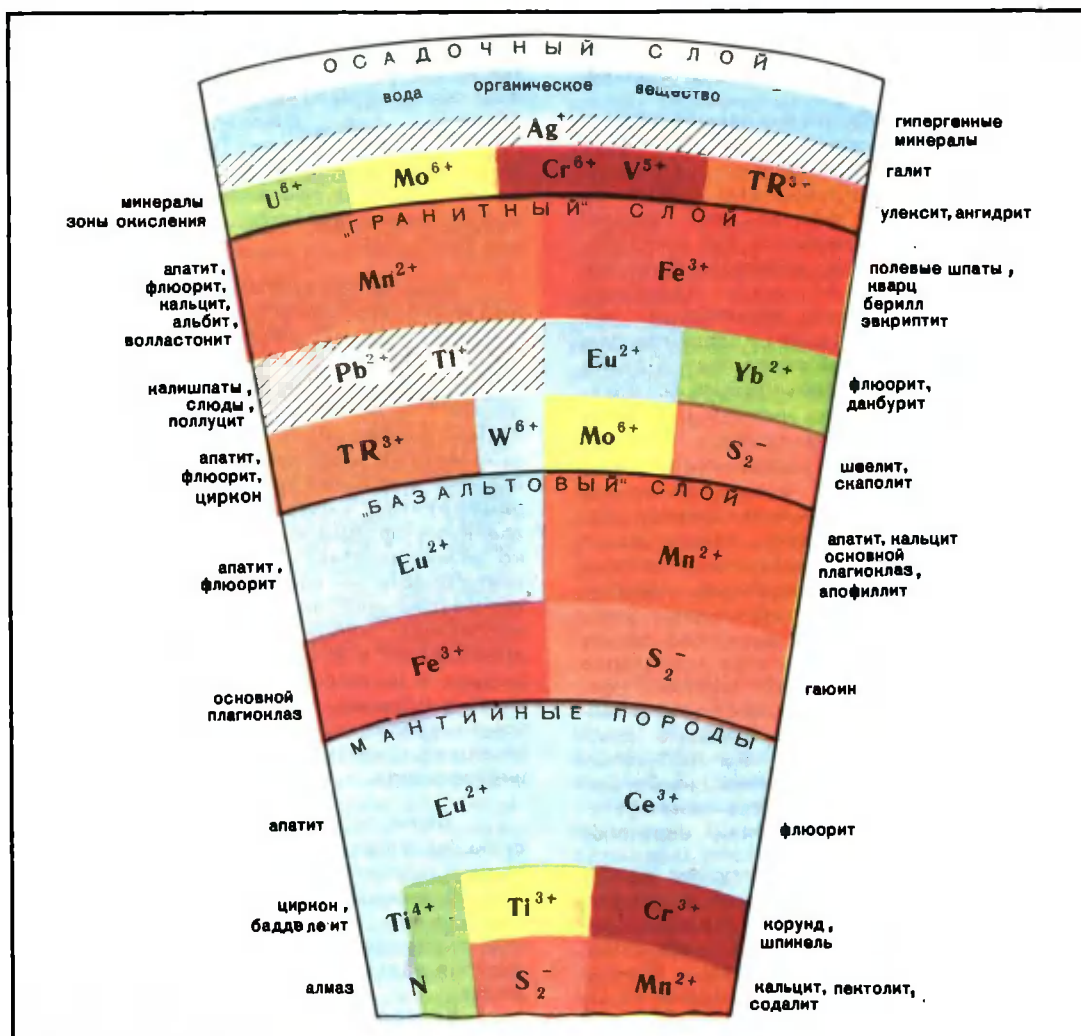


Схема распределения люминогенов в минералах геосфер. Штриховкой показана ультрафиолетовая люминесценция.

городный металл концентрировался в осадках древних высохших морей. Наряду с люминесценцией катионов в минералах осадочных пород широко представлено свечение сорбированного ими органического вещества и воды — главных соединений, характерных для самой верхней геосферы.

С миром неживой природы — горными породами и минералами — сталкиваются не только геологи, но и технологи-обогащители руд, географы, палеонтологи, строители, ювелиры, краеведы. И в ряде случаев люминесцентные печати геосфер способны помочь им в решении научных и производственных задач.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Марфуин А. С. СПЕКТРОСКОПИЯ, ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И РАДИАЦИОННЫЕ ЦЕНТРЫ В МИНЕРАЛАХ. М.: Недра, 1976.

Тарашан А. Н. ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ МИНЕРАЛОВ. Киев: Наукова думка, 1978.

Горобец Б. С. СПЕКТРЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ МИНЕРАЛОВ. М.: Изд. ВИМС Мингео СССР, 1981.

Портнов А. М., Горобец Б. С. ЛЮМИНОГЕНЫ — ИНДИКАТОРЫ РЕЖИМОВ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЗЕМНОЙ КОРЕ. — Доклады АН СССР, 1981, т. 261, № 2.

К столетию «Археологии России» А. С. Уварова

А. А. Формозов,

кандидат исторических наук

Институт археологии АН СССР
Москва

В 1981 г. исполняется 100 лет со дня выхода в свет двухтомного труда А. С. Уварова «Археология России. Каменный период». Обычно сводки такого рода появляются в итоге исследований не одного десятилетия. В данном случае было иначе.

Археология каменного века как особая научная дисциплина сложилась в середине XIX столетия. В России сведения о находках неолитических орудий начали публиковать с 1860-х годов. В 1871 г. обнаружили палеолитические изделия в Иркутске у военного госпиталя (их описал И. Д. Черский), а в 1873 — стоянку у с. Гонцы на Полтавщине (на нее обратил внимание учитель Ф. И. Каминский, а изучал ее геолог К. М. Феофилакт). В 1877 г. крестьяне с. Карачарова — имения самого А. С. Уварова неподалеку от Муром — заметили в обрыве оврага гигантские кости и показали их барину. Раскопав участок с костями, Уваров убедился, что останки мамонта сопровождалась кремневыми орудиями. Значит, в двух шагах от его дома расположена еще одна палеолитическая стоянка. Особенно «уражайным» для археологов был 1879 г. Тогда К. С. Мережковский доказал заселенность ряда крымских пещер в эпоху палеолита, а И. С. Поляков открыл палеолит на Дону в с. Костенки, чрезвычайно перспективном районе, где и сейчас работают советские археологи.

Таков в общих чертах был уровень знаний о древнейшем прошлом России, когда готовилась интересующая нас книга.

Во второй половине XIX в. имя Алексея Сергеевича Уварова (1825—1884) — председателя Московского археологического общества, почетного члена Академии наук — пользовалось большим уважением и громкой известностью. Сын министра народного просвещения и президента Академии наук графа С. С. Уварова, он получил хорошую гуманитарную подготовку. Перед юншей открывалась возможность быстрой карьеры на дипломати-

ческом поприще, но он рано увлекся археологией и уже в 1848 г. приступил к раскопкам. Начав с исследования античных городов в Северном Причерноморье, он вскоре переключился на русские древности. В 1851—1854 гг. под его руководством были проведены грандиозные по размаху раскопки во Владимирской губернии. Изученные курганы, по мнению Уварова, принадлежали летописному финскому племени меря. Потом Уваров отправился путешествовать по Европе, побывал в Греции и Италии, а с 1864 г. поселился в Москве. За последние два десятилетия своей жизни он проявил себя как блестящий организатор: основал Московское археологическое общество, успешно работавшее более полувека, был одним из создателей Исторического музея на Красной площади, инициатором знаменитых русских археологических съездов, которые проводились в разных городах страны.

Научные труды Уварова охватывают все разделы археологии. Первая его книга «Исследование о древностях Южной России и берегов Черного моря» (два тома, СПб, 1851) посвящена античным городам. Средневековые могильники охарактеризованы в монографии «Меряне и их быт по курганным раскопкам» (М., 1871)¹.

В XX в. авторитет Уварова как ученого заметно поубавился. В 1905 г. в статье «Владимирские курганы» А. А. Спицын отверг вывод их исследователя о мерянском происхождении этих памятников и приписал их славянам. Спицын подчеркивал, что материалы раскопок дефектны. 7000 курганов в страшной спешке под надзором старосты или священника копали одни крестьяне. Находки из разных пунктов

¹ Уваров А. С. Сборник материалов для биографии и статьи по теоретическим вопросам (мелкие заметки и труды), т. III. М., 1910, с. 3—172.



Алексей Сергеевич Уваров [1825—1884].

сваливали в кучу, смешивая вещи разных эпох.

Еще более резко отзывался об Уварове уже в послереволюционные годы А. В. Арциховский, в течение сорока лет возглавлявший кафедру археологии на историческом факультете Московского университета. В своем курсе истории археологии он говорил об Уварове как о барине-дилетанте, баловавшемся наукой, но принесшем ей больше вреда, чем пользы.

Когда Арциховский редактировал мою книгу «Очерки по истории русской археологии» (М., 1961), где я оценивал Уварова совершенно иначе, я спросил: «Почему Вы так его не любите?» «Достаточно того, что это отпрыск семьи, ненавидевшей Пушкина», — отмахнулся Артемий Владимирович. Но ведь сын за отца не отвечает, да и враг Пушкина — Сергей Семенович Уваров — фигура отнюдь не простая. Он был одним из образованнейших людей своего поколения, что признавали и его недоброжелатели, участвовал в дружеском литературном обществе «Арзамас» вместе с В. А. Жуковским, К. Н. Батюшковым, П. А. Вяземским, юным Пушкиным, декабристами М. Ф. Орловым, Н. И. Тур-

геньевым, Н. М. Муравьевым, общался с И. В. Гете, А. Гумбольдтом, а пост министра потерял не за чересчур суровые репрессивные меры, а за «либерализм».

Сын же его был человеком и иного склада и иного времени. В 1851 г., печатая свою первую книгу, он столкнулся с цензурными придирками: ему запретили переводить греческое слово «демос» словом «народ», а убитых римских императоров велели упоминать как «погибших». Во время поездки в Лондон в 1861 г. Уваров навещал А. И. Герцена, а потом переписывался с ним. Основатель Московского археологического общества хотел, чтобы двери на все научные заседания были открыты для широкой публики. Это резко отличало новую организацию, возникшую в шестидесятые годы, от аналогичного общества в Петербурге, учрежденного при Николае I с тех пор сохранявшего кастово-замкнутый аристократический характер.

Незачем гримировать А. С. Уварова под демократа или тем паче революционера, но не надо и отождествлять ученого с воинствующими реакционерами. Создание Исторического музея, Московского археологического общества и археологических съездов — бесспорная его заслуга перед русской культурой.

Спицын был прав, критикуя книгу «Меряне и их быт», но по прошествии более чем полувека любые исследования выглядят методически слабыми. Однако в этой книге немало ценных наблюдений. Последняя же, наиболее зрелая книга Уварова, безусловно, незаурядный труд. Познакомимся с ним. Итак:

«Граф А. С. Уваров. Археология России. I. Каменный период. Москва. 1881. В Синодальной типографии на Никольской улице».

На обложке — изображение разреза древнего погребения, найденного Уваровым на стоянке Волосово, под Муромом. Римская цифра I перед подзаголовком означает, что автор надеялся подготовить многотомную «Археологию России». Кажется, он приступил ко II части — «Бронзовый век», но смерть прервала его работу. Книга посвящена жене — Прасковье Сергеевне Уваровой (1840—1924) — тоже известному археологу.

В предисловии Уваров размышляет, не рано ли он взялся за итоговый труд по каменному веку — ведь изучение его в России едва начинается. Он думает, что дать систематический обзор собранного все же полезно — именно тогда выяснится, какие вопросы уже решены, а какими надо



Обложка книги А. С. Уварова «Археология России».

заняться в будущем. Всего двадцать лет назад о древнейшем прошлом человечества у нас не знали почти ничего, а теперь «количество новых материалов стало почти ежегодно накапливаться»². В первом варианте книги было описано 3102 предмета, а к моменту ее выхода этот раздел включал уже 6428 номеров, т. е. вырос более чем вдвое.

Первые главы — вводные. Тут рассмотрены народные представления о каменных орудиях — «громовых стрелах», намечены основные вехи в истории исследования каменного века России. Во второй главе выдвинуто важное исходное положение: каменный век (палеолит и неолит) — закономерный этап в развитии культуры, он был повсеместно, был, следовательно, и в России, хотя орудия в ту пору изготавливали не только из камня, но и из дерева,

кости, рога. В разных районах эта эпоха окончилась в разное время.

Другой его тезис — оббитые орудия не исчезли после появления полированных. Поэтому определять возраст любого древнего поселения надо по наиболее поздним типам изделий, как клад монет датируют не по самой ранней, а по самой поздней монете. Это полемика с геологом А. А. Иностранцевым. Описав выразительную археологическую коллекцию, собранную при строительстве Ладозских каналов, Иностранцев усомнился в периодизации каменного века. На некоторых стоянках, относящихся заведомо к послеледниковому времени, не было полированных орудий из камня, и на этом основании он утверждал, что иногда неолит предшествовал палеолиту. Знание археологии в полном объеме позволило Уварову найти убедительные контраргументы.

Уваров предполагал, что в Азии каменный век завершился раньше, чем в Европе. Если имеются в виду страны классического Востока — Месопотамия, Иран, Сирия, Палестина, то это верно, но на Севере и Востоке Азии орудия из камня были в ходу очень долго, гораздо дольше, чем в Европе.

Говоря об отложениях четвертичного периода, о ледниках, о лёссе, Уваров цитирует работы по геологии К. М. Теофилактова, А. А. Иностранцева, Н. А. Северцова, А. Л. Чекановского и — что особенно любопытно — П. А. Кропоткина. Создатель учения о ледниковом периоде числился тогда беглым государственным преступником. В 1876 г., бежав из госпиталей Петропавловской крепости, куда он был заключен за участие в революционном движении, «князь-бунтовщик» скрылся за границу. Несмотря на это, Русское географическое общество переслало Кропоткину за рубеж материалы его исследований в Сибири. Подчеркивал заслуги выдающегося географа и Уваров.

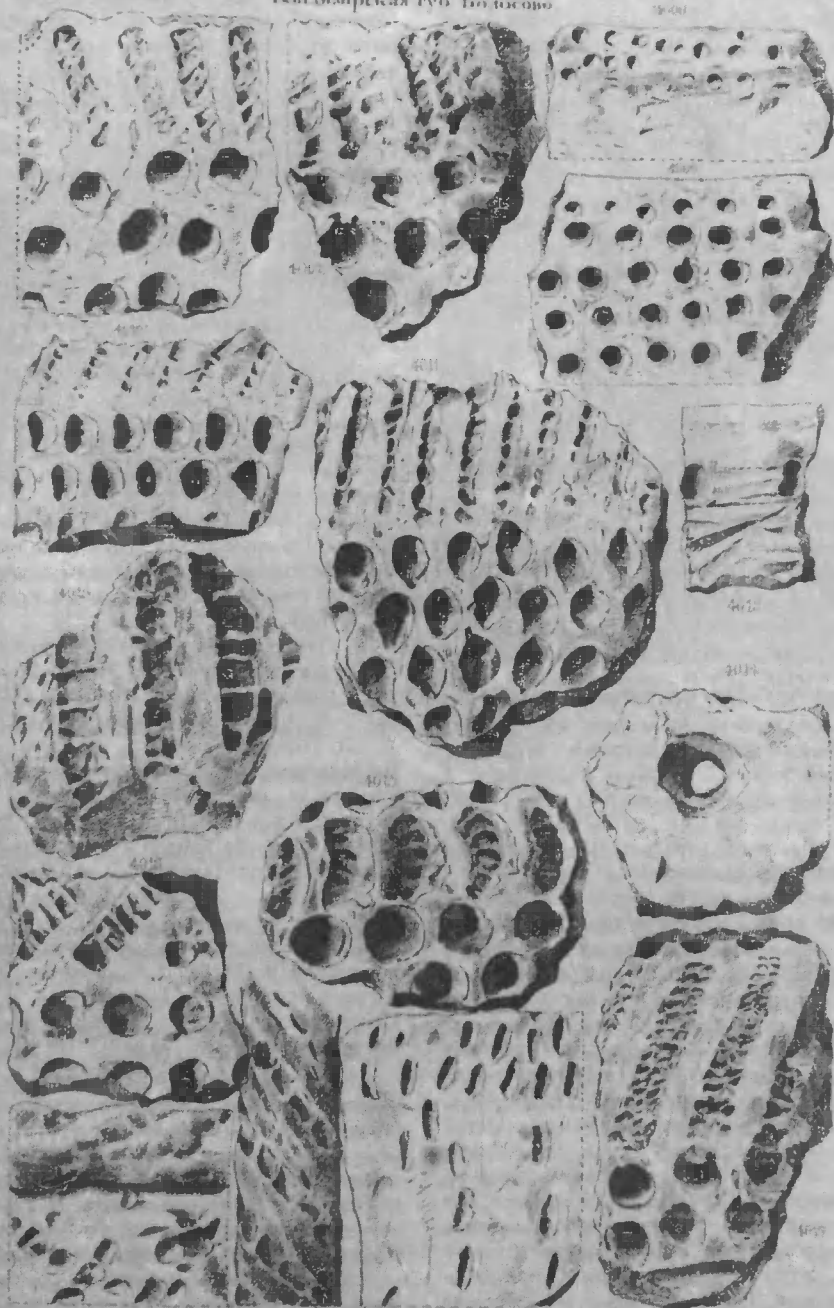
Специальная глава посвящена расселению людей по Земле из места их возникновения. Вслед за рядом авторитетов Уваров искал прародину человека в Азии, ссылаясь на предания многих народов и на соображения биологов о миграциях четвертичных животных. В связи с этим он привел в своей книге все, что ему удалось найти в зарубежных изданиях о каменном веке Китая, Японии, Индии, Египта.

Современная наука реконструирует распространение древнейших людей из центра возникновения иначе. Прародиной их была скорее Африка, чем Азия. Оттуда

² Уваров А. С. Археология России. I. Каменный период. М., 1881, с. 11.

Римская гора Восточная

18



Обломки глиняной посуды с орнаментом из стоянки Волосово близ Мурома. Эта и следующая таблица взяты из т. II книги А. С. Уварова «Археология России».

они проникли в Европу и в южную часть Азиатского материка. Сведения о каменном веке зарубежной Азии, собранные Уваровым, в основном касаются сравнительно поздних неолитических памятников и осветить вопрос о первоначальном расселении человека не могут.

В книге содержится обзор всех накопленных к 1880 г. фактов об эпохе палеолита в России, подробно изложены наблюдения Ф. И. Каминского и К. М. Теофилактова в Гонцах, В. Б. Антоновича — у Каменца-Подольского и тех, кто по приглашению Уварова побывал на раскопках в Карачарове, — И. С. Полякова, В. В. Докучаева, В. Б. Антоновича. Опубликованы разрезы отложений в Карачарове и Гонцах. Об еще не получивших отражения в печати открытиях Полякова в Костенках и Мережковско-го в Крыму Уваров уже слышал, но упомянул про это лишь мельком. Далее перечислены места, где были найдены кости крупных млекопитающих. Список был составлен Уваровым совместно с хранителем Зоологического музея Академии наук С. М. Герценштейном (1854—1894). Перелистать этот список сейчас археологу очень интересно. Как и предполагал Уваров, некоторые палеонтологические находки XVIII и первой половины XIX в. оказались связанными с палеолитическими стоянками. Так, находки костей на притоке Ангараы р. Белой заставляют вспомнить стоянку Мальта, изучавшуюся М. М. Герасимовым в 1928—1958 гг., «логовища мамонтов» в окрестностях Брянска — стоянки Тимоновка и Супонево к югу от этого города, находка останков пещерного медведя в Одессе — стоянку мустьерского времени Ильинка. Особенно ценны суммированные Уваровым и Герценштейном сведения о «костеносных» пещерах по рекам Чарышу и Ханхаре на Алтае. О них писал еще П. С. Паллас в 1770 г., но коллекции отсюда поступили в Академический музей уже в XIX в. Академик Ф. Ф. Брандт в 1871 г. издал их характеристику, отметив обильные останки вымерших зверей — мамонта,

носорога и других. Уваров высказал догадку, что это кухонные отбросы первобытного человека, и не ошибся: в 1954 г. в пещере на Чарыше найден палеолитический культурный слой³.

Уваровский список местонахождений четвертичной фауны не потерял своего значения и сейчас: он позволяет археологам получить представление о материалах, собранных за первые полтора столетия развития русской науки, причем сами находки, как правило, утрачены, а упоминания о них рассеяны по редким и малоизвестным изданиям.

В книге Уваров пытался обрисовать быт палеолитического человека, начав с проблемы жилья и пещерных стоянок. Он бывал на раскопках пещеры Выпустек в Моравии и сам пробовал шурфовать грот у Ореанды в Крыму. В 1868 г. швейцарский геолог Э. Фавр нашел в так называемой Язеновой пещере под Кутаиси какие-то кремни. Уваров посетил это место в 1879 г. и осмотрел другие гроты и навесы в том же районе. В XX в. здесь не раз проводились раскопки, и было выявлено до десяти стоянок как ранне-, так и позднепалеолитических.

В составленном Уваровым списке пещер России фигурирует пещера Шульган в Башкирии. Предполагается, что там жили люди каменного века. Шульган-таш, или Капову пещеру, знают теперь во всем мире. В 1959 г. А. В. Рюмин обнаружил в ней первые в СССР образцы палеолитической живописи.

Приведены данные и о крымских гротах и навесах, исследованных Мережковским, и о стоянках в Ежмановицкой и Мамутовой пещерах на реке Прондник неподалеку от Кракова, где и сейчас работают польские археологи. В коллекции из раскопок 1871 г. в Мамутовой пещере была кость с гравированным изображением рыбы — первый памятник палеолитического искусства, найденный в пределах тогдашней России.

Уваров понимал, что помимо ныне существующих пещер есть и разрушенные, погребенные, которые надо искать. Уже в наши дни такие пещеры раскопаны в Крыму и на Кавказе. Однако предположение Уварова, будто в неолите люди начали рыть искусственные пещеры, было ошибочным. Уваров следовал в этом вопросе за киевским историком Антоновичем, описавшим

³ Руденко И. И. — Материалы и иссл. по арх. СССР, 1969, № 79, с. 104.

Архангельская и Вологодская губ.

34



Каменные полированные декоративные молоты с головами животных на концах из Карелии и бывшей Архангельской губернии.

как неолитические жилища несколько коридорообразных ходов в лёссовых берегах Днепра, которые на деле были убежищами средневековых монахов.

Общий итог первых глав «Археологии России» таков: наша страна была заселена уже в палеолите, о чем свидетельствуют стоянки — Иркутский госпиталь, Карачарово, Гонцы. Люди тогда охотились на мамонта, владели огнем, еще не имели домашних животных. У них уже было развито эстетическое чувство.

Археологов прошлого столетия очень занимала проблема хиатуса — разрыва между палеолитом и неолитом. Затронул ее и Уваров. Он был убежден, что скачков в эволюции культуры не бывает, и отнес к этой переходной поре (мезолиту) множество стоянок. Собственно неолит характеризует, по его мнению, Фатьяновский могильник. В 1873 г. при строительстве Ярославско-Вологодской железной дороги были найдены каменные топоры, лепные горшки, черепа. Хозяин дороги — памятный в истории русского искусства С. И. Мамонтов — передал все это археологам. Вскоре в Фатьяново съездил И. С. Поляков, а за ним и другие ученые. Выяснилось, что тут разрушено большое древнее кладбище, содержавшее не только каменные, но и медные вещи. Сейчас мы уверенно можем датировать его бронзовым веком — II тыс. до н. э. Уваров о находках меди в Фатьянове знал, но не изменил из-за этого оценку могильника, называя его неолитическим. Это нельзя считать грубой ошибкой. В число неолитических культур включают фатьяновскую и некоторые современные археологи, полагая, что металл попал на Верхнюю Волгу извне, а аборигены изготавливали только каменные орудия.

Почти все другие местонахождения каменных изделий в России, по Уварову, отражают переход от палеолита к неолиту. Памятники, перечисленные им в главах XII—XIV, очень разные. С промежуточной мезолитической эпохой, действительно,

связаны находки К. С. Мережковского у Кизил-кобы в Крыму, Д. Я. Самоквасова на дюнах под Варшавой, П. П. Кудрявцева в Елином бору на Оке. Но гораздо больше в этом обзоре чисто неолитических стоянок, где найдена уже глиняная посуда (коллекции из Карелии и Тункинской котловины), и поселений того этапа бронзового века, когда камень оставался основным материалом для выделки орудий (Волосово и Плеханов бор на Оке). Стремясь доказать ранний возраст окских стоянок, Уваров ссылаясь на большие толщи песка, перекрывшие слои с находками. Он думал, что эти пласты намыты водой за долгие годы, и, следовательно, культурные слои очень древние. Периодизация Уварова несостоятельна, но не забудем, что она создана сто лет назад, в самом начале работы по изучению каменного века в России.

Зато частных наблюдений, оказавшихся верными, довольно много. В отличие от своих предшественников Уваров внимательно анализировал первобытную керамику. Он писал: «Замечается большое сходство как между волосовскими, так и между плехановскими сосудами и узорами. Только одно и то же племя и только в одну и ту же эпоху могло производить гончарные изделия с таким однородным характером»⁴. Современные археологи с этим вполне согласны: стоянки Волосово и Плеханов бор под Муромом относятся к одному времени — к III тыс. до н. э. и оставлены племенами одной — волосовской — культуры. Прав Уваров и указывая на сходство неолитических орудий и сосудов со стоянок бассейна Оки, Прионежья и Беломорья. Все они принадлежат к кругу культур с ямочно-гребенчатой керамикой.

Рассмотрены в книге и произведения первобытного искусства — статуэтки людей и животных из кремня с Оки и из Беломорья и полированные сверленные молоты с головами зверей на концах. Уваров опубликовал рисунки шести таких молотов. Он высказал предположение, что в послепалеолитическое время была известна и резьба по кости. Вскоре же костяные фигурки обнаружили Иностранцев в Приладожье и Кудрявцев в Волосове на Оке.

В обитателях Плеханова бора Уваров видел рыболовов и собирателей раковин, варивших пищу в глиняных сосудах и ведущих во многом иной образ жизни, чем охотники на мамонта в недалеко располо-

⁴ Уваров А. С. Археология России, с. 318.

женном Карачарове. Рыболовы должны были пользоваться лодками, предполагал Уваров. И действительно, в год выхода книги на Ладоге нашли первый неолитический челн. Однако Уваров ошибался, считая окские стоянки следами временных поселений (на зиму их жители будто бы уходили в какие-то пещеры).

Остановившись затем на наиболее совершенных полированных каменных орудиях, Уваров отмечал, что в таких стоянках, как Волосово, их очень мало. В коллекции же из Фатьянова преобладают изящные по очертаниям сверленные шлифованные топоры. С их появления Уваров и начинал неолитическую эпоху.

Подробно рассказано и о пяти могилах, раскопанных в Волосове. Черепа из этих погребений описали основоположник антропологии в России А. П. Богданов (1834—1896) и его ученик, будущий ректор Московского университета А. А. Тихомиров (1850—1931). Богданов измерил и черепа из Фатьянова, отличающиеся от волосовских. Это неудивительно — перед нами останки людей разного времени и разного происхождения.

Кроме антропологов в подготовке «Археологии России» участвовали и другие естествоиспытатели: Поляков определил кости животных из Волосова, Докучаев предоставил свои записи по геологии окских стоянок.

Таков первый том труда Уварова. Второй том представляет собой каталог предметов каменного века, найденных в России, с краткими описаниями, библиографическими справками и изображениями. Учено 6428 предметов. На 49 таблицах изображено 787 вещей. Это в основном каменные орудия; но показаны и сосуды из Волосова, Плеханова бора и Фатьянова.

На таблицах можно заметить отдельные случаи случайного попавшие туда поздние вещи. Многие каменные орудия, безусловно, относятся к бронзовому веку. И все же атлас очень ценен. Здесь воспроизведены наиболее интересные находки из опубликованных ранее (издания из Иркутского госпиталя, кремни из Тункинской котловины, молоты со скульптурными головами животных из Карелии). Но большую часть древностей в альбоме читатели увидели впервые. Некоторые из них были впоследствии утрачены, так что второй том книги Уварова превратился для археологов в первоисточник.

Наряду с публикациями и фондами музеев Уваров привлек материалы частных собраний: иркутского географа

И. А. Лопатина, профессора права Варшавского университета Д. Я. Самоковасова, ставшего потом крупным археологом, витебского помещика М. Ф. Кусцинского, киевских собирателей Я. Я. Волошинского и Т. В. Кибальчика, казанца А. Ф. Лихачева и др. Он и сам коллекционировал древности (после его смерти собрание было подробно описано и передано в Исторический музей).

Каталог памятников каменного века России, составленный Уваровым, отражает степень их изученности на 1880 г. Больше всего материалов накопилось из близкой к Петербургу Олонецкой губернии, Польши и Финляндии. Всего несколько предметов было зафиксировано на Кавказе, ни одного — в Бессарабии и Курской губернии (сейчас там открыты и палеолитические и неолитические стоянки). И все же за какие-нибудь двадцать лет собрано было очень много, в самых разных районах страны. Большой кремневый нож был прислан в 1864 г. из Александровска на Мангышлаке — места ссылки Тараса Шевченко; коллекцию из Тиманской тундры привез из геологической экспедиции А. А. Штуkenберг. Сообщается о каменных орудиях из низовьев Амура, только что освоенных русскими.

Как же мы оцениваем двухтомник А. С. Уварова сегодня? Его попытка дать исторический очерк каменного века России, пожалуй, не удалась. Слишком мало еще было раскопано стоянок (в лучшем случае десятки) на колоссальных просторах страны; слишком разрозненными и недостаточно документированными были сведения о большинстве других находок. Но как сводка, подводящая итог сделанному за 1860—1880-е годы, книга, несомненно, заслуживает признания. Обзор местонахождений костей мамонта и иных вымерших крупных животных, список пещер России, каталог археологических памятников оказались очень полезными и в известной мере сохранили свое значение до сих пор.

«Археология России» вызвала ряд откликов. «Журнал министерства народного просвещения» напечатал большую рецензию Д. Н. Анучина (1843—1923) — профессора Московского университета, основоположника физической географии России, большого знатока антропологии и археологии⁵. Он ограничился в основном пересказом содержания книги и отдельны-

⁵ Анучин А. Н. — Журнал Мин. нар. просв., 1882, февраль, с. 359.

ми дополнениями и поправками. Подчеркнуто значение открытий Полякова в Костенках и Мережковского в Крыму, слабо отраженных в монографии. Хорошо зная достижения французских археологов, Ануцин отстаивал преимущества периодизации палеолита, предложенной Г. Мортилье, перед всеми остальными, и жалел, что Уваров не принял ее во внимание. Идея автора о расселении человека в Европу из Азии не убедила рецензента. Не верил он и в искусственные пещерные жилища, разделяя вывод Полякова об использовании первобытными обитателями Русской равнины шалашей и землянок.

Иной характер носит еще более обширная рецензия создателя научного почвоведения Докучаева (1846—1903)⁶. Начинаясь и кончаясь комплиментарными фразами, по существу, она отрицательна, местами даже резка («хаос», «квазигипотезы», «величайшая путаница»).

Как ученый, Докучаев был, конечно, уровнем выше Уварова, но археологией он занимался лишь попутно с почвоведением, и в целом его рецензию нельзя считать ни бесспорной, ни объективной. Во многом прав был он, а во многом ближе к истине стоял Уваров.

Так же, как и Иностранцев, Докучаев полагал, что по типам изделий из камня определить возраст находок невозможно, ибо никаких закономерных стадий в развитии орудий не существует. Кремни из Карачарова казались ему невыразительными и были признаны им за дело рук человеческих только потому, что рядом лежали расколотые кости и угли. Это, разумеется, неверно, и тут выводы Уварова остались непоколебленными.

Серьезные другие возражения. Докучаев отверг гипотезу о приходе людей из Азии в Европу. По его мнению, использованные Уваровым построения биологов о расселении четвертичных животных нуждаются в подтверждении, а описанные в книге каменные орудия из Азии не палеолитические, а неолитические. В найденных на берегах Оки морских раковинах Уваров усмотрел свидетельство древней торговли. Докучаев дал справку, что раковины были местными, но не из современных водоемов, а из отложений юрского периода, т. е. ископаемыми. Резонны слова рецензента о том, что искать следы пещерных жилищ на Русской равнине — пустая

затея. Люди искони жили здесь на открытом пространстве. Но заключение Докучаева, будто палеолитический человек не охотился на мамонта, а лишь собирал его кости или питался падалью, несостоятельно. Падалью брезгают даже антропоидные обезьяны, а данных об охоте палеолитических людей год от году накапливается все больше.

Особенно сурова оценка глав книги по четвертичной геологии, где, по мнению Докучаева, автор эклектически объединил взаимоисключающие взгляды разных исследователей, путанно трактовал лёсс и чернозем. Опираясь на собственные наблюдения 1879 г. на Оке, Докучаев доказал, что толща песка, перекрывшая культурные слои стоянок, не водного, как думал Уваров, а золотого происхождения. Это типичные дюны, песок, нанесенный ветром, и не за череду тысячелетий, а за сравнительно короткий отрезок времени. Все же и в этом наиболее обоснованном разделе рецензии есть слабые места: преуменьшена, например, роль ледникового периода в истории Земли.

Рецензия продемонстрировала дилетантизм Уварова в вопросах геологии, но не подорвала его авторитет как археолога. Сводкой «Археология России. Каменный период» продолжали и продолжают пользоваться. Археологи обращаются к ней как к справочнику, разыскивая сведения о находках изделий первобытного человека, отмеченных в прошлом. Для палеонтологов по-прежнему ценна глава с обзором находок костей четвертичных животных. Историки, геологи и антропологи не пройдут мимо содержащихся в первом томе наблюдений в области этих наук, сделанных как самим Уваровым, так и его помощниками — естествоиспытателями. Вот почему о столетии «Археологии России» А. С. Уварова стоит напомнить не только археологам, но и представителям естественных наук.

ПОПРАВКА

В № 7 «Природы» на с. 102 начало первого абзаца следует читать: Колючехвостый геккончик (*Alsophylax spinicauda*) — одна из самых маленьких ящериц.

⁶ Докучаев В. В. — Тр. С.-Петерб. общ.-ва естествоисп., 1882, т. III, вып. I.

Гравитационные эксперименты от Кавендиша до наших дней

В. Б. Брагинский



Владимир Борисович Брагинский, доктор физико-математических наук, заведующий отделением радиофизики физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, председатель Комиссии по гравитации АН СССР. Область научных интересов — квантовая теория измерений, гравитационно-волновая астрономия. Автор книг: *Физические эксперименты с пробными телами*. М.: Наука, 1970; *Измерение малых сил в динамических экспериментах*. М.: Наука, 1974.

В этом году исполнилось 250 лет со дня рождения Генри Кавендиша — выдающегося английского физика-экспериментатора. Г. Кавендиш впервые в лабораторном опыте измерил гравитационное притяжение двух масс. В этом же опыте им была определена и величина постоянной, входящей в закон всемирного тяготения И. Ньютона, которую удалось тогда вычислить с ошибкой всего в несколько процентов. Эта статья посвящена краткой истории гравитационных экспериментов со времен Кавендиша до наших дней и попытке предсказать будущее таких экспериментов на ближайшее десятилетие.

Гравитационное взаимодействие, как известно, проявляет себя весьма слабо, и поэтому довольно сложно реализовать новые более точные измерения гравитационных эффектов. В этом — основная причина того, что в истории экспериментальной физики относительно редко повторялись опыты Кавендиша. Можно несколько условно выделить два больших «периода» в исследовании гравитации. В первом периоде, который начался в XVIII в. с опытов Ньютона, в основном проверяли принцип эквивалентности (равенство инертной и гравитационной массы различных тел)¹,

обратную квадратичную зависимость силы от расстояния между точечными телами. Второй период начался в 1919 г., когда впервые предприняли попытку измерить отклонение светового луча в гравитационном поле Солнца. Этот период знаменателен развитием чисто релятивистских гравитационных экспериментов, в которых исследовались смещения спектральных линий, отклонение электромагнитных волн в поле тяготения и т. д. По сути дела, такие опыты проверяли справедливость выводов из общей теории относительности (ОТО).

ПРОВЕРКА ПРИНЦИПА ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

Чего же добились исследователи к началу предпоследнего десятилетия XX в.? Несмотря на экспериментальные трудности, в различных лабораториях мира систематически проводились опыты по проверке принципа эквивалентности.

На сегодня установлено равенство единице отношения инертной и гравитационной массы для любого физического тела с точностью до $1 \cdot 10^{-12}$. Показано, что «добавка» к массе планет, вызванная их собственным гравитационным полем (гравитационный дефект массы), также подчиняется принципу эквивалентности, по

¹ См.: Сморodinский Я. А. Принцип эквивалентности. — Природа, 1980, № 3, с. 58.

крайней мере, с относительной точностью около 1,5% (Дж. Вильямс и др., И. Шапиро и др., 1976). В лабораторных условиях, вплоть до расстояний порядка 10^3 см, установлено, что с точностью до 1% строго выполняется обратная квадратичная зависимость в законе Ньютона (В. И. Панов, В. Н. Фронтов, 1978).

Краткая история проверки принципа эквивалентности в лабораторных условиях представлена в таблице 1. Перечисленные в ней опыты производились в наземных лабораториях с обычными макроскопическими телами. Следует добавить, что подвергалась проверке справедливость равенства инертной и гравитационной массы не только обычных тел, но и свободных нейтронов (Л. Кестер, 1976). Отличия обнаружено не было, а относительная погрешность этих измерений не превысила $3 \cdot 10^{-4}$.

Таблица 1
Проверка принципа эквивалентности

Авторы	Метод	Достигнутая относительная точность
И. Ньютон (1686)	Маятник	$1 \cdot 10^{-3}$
Ф. Бессель (1832)	Маятник	$2 \cdot 10^{-3}$
Р. Этвеш (1922)	Крутильный маятник	$5 \cdot 10^{-9}$
Дж. Реннер (1935)	Крутильный маятник	$2 \cdot 10^{-9}$
Р. Дики и др. (1964)	Крутильный маятник	$1 \cdot 10^{-11}$
В. Б. Брагинский, В. И. Панов (1971)	Крутильный маятник	$1 \cdot 10^{-12}$

К проверке принципа эквивалентности примыкает серия опытов, в которых измерялось так называемое гравитационное красно-голубое смещение частоты. Этот эффект, вытекающий из ОТО, состоит в том, что частота электромагнитного излучения изменяется, если фотоны движутся в гравитационном поле из точки с одним гравитационным потенциалом в точку с другим гравитационным потенциалом. Относительный сдвиг частоты, согласно ОТО, должен составлять $\Delta f/f = \Delta\varphi/c^2$, где $\Delta\varphi$ — разность гравитационных потенциалов, c — скорость распространения света. Результаты этих опытов представлены в хронологическом порядке в таблице 2. Приведенные данные показывают, что с указанной точностью вплоть до четвертого знака принцип эквивалентности справедлив.

Таблица 2
Измерение красно-голубого смещения частоты

Авторы	Метод	Относительная погрешность измерений
Р. Паунд, Дж. Ребка (1960)	Свободное падение в поле Земли гамма-квантов из мессбауэровского источника	$5 \cdot 10^{-2}$
Р. Паунд, Дж. Снайдер (1965)	"	$1 \cdot 10^{-2}$
Р. Дженкинс (1969)	Кварцевые часы на спутнике «Геос-1»	$9 \cdot 10^{-2}$
Р. Вессо, М. Левин (1976)	Водородный стандарт на борту ракеты	$2 \cdot 10^{-4}$

УСПЕХИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Чисто релятивистские гравитационные эксперименты по проверке предсказаний ОТО начались с опыта, выполненного группой экспериментаторов во главе с А. Эдингтоном. Оказалось, что световой луч, проходящий вблизи края Солнца, меняет свою траекторию. Ученым удалось измерить это отклонение во время солнечного затмения. Согласно ОТО, величина углового отклонения должна составлять 1,75 угловой секунды (в ньютоновской теории такой эффект вдвое меньше). Этот опыт качественно подтвердил предсказание ОТО (его результаты $1,98 \pm 0,24$ угл. с). Последовавшая за ним серия аналогичных экспериментов в оптическом диапазоне не внесла никаких поправок в полученные результаты.

Качественный скачок в точности измерения этого эффекта произошел в 1969 г., когда начали регистрировать отклонение радиоволн, а не световых лучей. В этих исследованиях было использовано излучение яркого радиоисточника — квазара 3C279. Дальнейшее повышение точности измерений связано с использованием группы синхронно работающих радиотелескопов, разнесенных на несколько сотен километров. В опытах, выполненных в 1969 г., погрешность составляла около 8% (100% соответствуют 1,75 угл. с). В различных лабораториях с 1969 по 1976 г. эксперименты повторялись 12 раз. Улучшение методики регистраций на радиотелескопах позволило в 1976 г. довести ошибку измерений до 1% (Е. Фемалонт и Р. Шрабек). В пределах ошибки изме-

рений не было обнаружено отклонений от предсказания ОТО.

Еще большей точности удалось достигнуть в опытах по измерению задержки электромагнитного импульса в гравитационном поле Солнца. Этот эффект (по существу, «родственный» эффекту отклонения) есть также следствие ОТО. Для импульса электромагнитного излучения, направленного из района Марса в сторону Земли в положении дальнего соединения (Марс, Солнце и Земля находятся примерно на одной прямой), эффект задержки, согласно теории, составляет примерно $2 \cdot 10^{-4}$ с.

Обычная схема такого опыта выглядит следующим образом: мощный импульс электромагнитного излучения СВЧ-диапазона направляется наземной антенной радиотелескопа в сторону спутника. Ретранслятор, находящийся на борту спутника, вращающегося вокруг Марса, усиливает дошедший до него ослабленный сигнал и с помощью небольшой узконаправленной антенны «отсылает» его назад — в сторону радиотелескопа.

В первых измерениях в 1968 г. ошибка составила 8% (100% соответствует величина $2 \cdot 10^{-4}$ с). Затем такие опыты повторялись еще пять раз. Наивысшего разрешения удалось достигнуть в рамках программы «Викинг» (орбитальный модуль на круговой орбите Марса). В последней серии измерений в 1979 г. (И. Шапиро, Р. Ризенберг) ошибка составила 0,2%, и так же, как и в опытах по отклонению световых лучей, в пределах ошибки измерений не было обнаружено отклонений от теоретических предсказаний.

К перечисленным выше релятивистским гравитационным экспериментам по проверке ОТО следует отнести еще один. Он был выполнен в 1977 г. К. Элеем и его сотрудниками. Сущность этого эксперимента заключалась в сравнении темпа хода двух часов, находящихся в точках с разным гравитационным потенциалом. Согласно теории при разности высот 10 км вблизи поверхности Земли за 15 часов разница в их показаниях должна составить $5 \cdot 10^{-8}$ с. В качестве часов в этом эксперименте были использованы две группы рубидиевых стандартов частоты. Одна — в наземной лаборатории, вторая была помещена на борт относительно «тихоходного» самолета (скорость самолета около 400 км/ч). В течение 15 часов с помощью лазерных импульсов (длительностью около $3 \cdot 10^{-10}$ с) производилось сравнение показаний часов на Земле с часами на борту.

Так же, как и в предшествующих опытах, результат (в пределах погрешности) совпал с величиной, следующей из теории. Относительная ошибка измерений составила около 2%. Здесь уместно отметить, что «тихоходность» самолета в этом эксперименте играла известную роль, так как кроме эффекта ОТО на ходе часов сказывался и другой релятивистский эффект, пропорциональный отношению v^2/c^2 (он составлял в этом опыте $5 \cdot 10^{-9}$ с). Этот эффект имел другой знак, и его необходимо было вычитать.

Успехи, достигнутые в описанных выше гравитационных релятивистских экспериментах, во многом обусловлены великолепной инструментальной базой, созданной радиофизиками, и в первую очередь высокостабильными стандартами частоты, которые использовались и в синхронно работавших интерферометрах, и в опытах по задержке импульсов, и в сравнении хода часов. Действительно, относительная величина эффекта задержки² составляет примерно 10^{-7} . Столь малый в обычном понимании эффект можно измерять, располагая лишь такими часами (стабильным автогенератором), дрейф хода которых значительно меньше $1 \cdot 10^{-7}$. Сейчас в распоряжении радиофизиков есть автогенераторы с нестабильностью частоты $2 \cdot 10^{-6}$ за 10^{10} с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ

Завершая этот беглый исторический обзор, можно сказать, что сегодня на основании полученных экспериментальных данных и в пределах достигнутого разрешения нет оснований сомневаться в справедливости принципа эквивалентности (постулата, лежащего в основе ОТО) и в самой ОТО. Вместе с тем, согласно меткому выражению А. Эйнштейна, эксперимент не может подтвердить теорию, а может только ее опровергнуть. Это утверждение следует отнести и к самой ОТО. В настоящее время существует несколько релятивистских теорий гравитационного взаимодействия, конкурирующих с ОТО. Все эти теории предсказывают одни и те же численные величины в эффектах отклонения фронта электромагнитной волны в гравитационном поле, задержки электромагнитного импульса, в гравитационном

² Эта величина есть отношение задержки ($2 \cdot 10^{-4}$ с) к полному времени распространения электромагнитного импульса от Земли до спутника и обратно (примерно 10^3 с).

смещении частоты, составляющем $\Delta\Phi/c^2$ и т. п. Именно поэтому эти теории и конкурируют с ОТО. В некоторых из этих теорий есть свободные параметры, которые в ОТО равны либо нулю, либо единице.

Различие в предсказаниях начинается для более тонких эффектов, например для эффектов на уровне $\Delta\Phi^2/c^4$. Поэтому можно твердо надеяться, что релятивистские гравитационные эксперименты будут продолжены, во всяком случае, для того, чтобы выяснить, какая (или какие) из теорий не противоречит опыту. В качестве примера можно указать на возможность измерения эффекта задержки с точностью до следующего порядка малости. В таком опыте необходимо будет достигнуть временного разрешения в несколько наносекунд. (Напомним, что сейчас разрешение в опыте с задержкой составляет около половины микросекунды при полном времени «движения» электромагнитного импульса от Марса к Земле около полутора часа).

Сохранению интереса к обсуждению и уточнению постулатов и выводов ОТО способствует развитие радиолокационной космической техники, появление новой дорогостоящей инструментальной базы. Вместе с тем очевидно, что для следующего этапа развития теории гравитации еще нужны и новые опытные факты, которые не описываются известными теориями и, следовательно, являются «хлебом» для теоретиков.

Сказанное выше в полной мере относится и к упомянутому первому периоду, к проверке принципа эквивалентности. Такая проверка будет продолжаться до тех пор, пока экспериментаторы не обнаружат нарушения этого постулата ОТО. В настоящее время опубликовано несколько проектов новых экспериментов по уточнению принципа эквивалентности.

Чтобы оценить проблемы, связанные с реализацией этих проектов, вернемся к условиям опытов, выполненных в МГУ около 10 лет назад. Тогда необходимо было обнаружить малую разницу в ускорениях свободного падения на Солнце двух масс, размещенных на концах коромысла крутильного маятника. Ускорение свободного падения на Солнце с орбиты Земли составляет примерно $0,6 \text{ см/с}^2$. В упомянутом опыте было показано, что если и есть разница в ускорениях у двух масс (в этом случае нить маятника должна была закручиваться), то она не превышает величины порядка

$1 \cdot 10^{-13} \text{ см/с}^2$. Отношение этих двух ускорений с учетом поправки на некоторые характерные особенности установки и соответствует достигнутой величине относительной погрешности $1 \cdot 10^{-12}$. Чрезвычайно сложно измерить при комнатной температуре, на фоне теплового шума такую величину. Однако, если время релаксации (затухания) маятника достаточно велико, а время измерения составляет 10^6 с , это можно осуществить и в лабораторных условиях. В приведенном выше опыте время релаксации было больше $6 \cdot 10^7 \text{ с}$ (двух лет).

Чем меньше отношение времени измерения ко времени релаксации, тем меньшую долю от среднеквадратичной величины скорости или смещения можно достоверно зарегистрировать. В некоторых экспериментах удается эффективно избавляться от тепловых шумов, увеличивая время релаксации (при том же времени измерения и той же температуре). В опытах с пробными массами это означает, что необходимо лучше изолировать эти массы от лаборатории (создать глубокий вакуум, по возможности избавиться от вязких пружин, соединяющих массы со стенками лаборатории, и т. п.). Можно ожидать, что при тщательном выполнении всех этих условий будет снижен порог чувствительности и повышено разрешение в таком эксперименте.

Другая, качественно новая, возможность состоит в переносе пробных масс на борт спутника, выведенного на невысокую околоземную орбиту. В этом случае в условиях невесомости «автоматически» отпадает необходимость в поддерживающих нитях или пружинах. Тогда можно будет сравнивать ускорения двух пробных масс в гравитационном поле Земли, а не в поле тяготения Солнца, что дает выигрыш больше чем в тысячу раз в самой величине ускорений. На этих двух возможностях и основаны отмеченные выше проекты: предполагается реализовать опыт в условиях низких температур (жидкий гелий на борту спутника), с большими временами релаксаций для пробных масс (несколько сотен лет) и с измерениями ускорений свободного падения в поле Земли. Можно (с известной долей риска) предсказать, что в начавшемся десятилетии один из этих проектов будет реализован и принцип эквивалентности будет проверен с погрешностью порядка $10^{-16} - 10^{-17}$.

Читателя, далекого от такого рода экспериментов, не должна удивлять столь

малая величина. Действительно, если, например, предположить, что принцип эквивалентности несправедлив на уровне $1 \cdot 10^{-17}$, то две пробные массы должны в поле тяжести Земли иметь разницу ускорений, равную $1 \cdot 10^{-17} \cdot 10^3 \text{ см/с}^2 = 1 \cdot 10^{-14} \text{ см/с}^2$. Тогда за время 10^6 с они должны разойтись на расстояние примерно равное $5 \cdot 10^{-3} \text{ см}$, что совсем нетрудно измерить с инструментальной точки зрения. Здесь следует подчеркнуть, что эксперимент на спутнике по проверке принципа эквивалентности намного дешевле, чем, например, эксперимент по измерению отклонения фронта электромагнитной волны в гравитационном поле в следующем приближении, и поэтому его реализация существенно более вероятна.

ГИРОСКОП В КОСМОСЕ

Уже выполненные релятивистские гравитационные эксперименты, о которых шла речь выше, обладают одной особенностью: все они связаны с измерением релятивистских поправок к потенциальному гравитационному полю. Вместе с тем ОТО и другие релятивистские гравитационные теории предсказывают существование и вихревых компонент гравитационного поля (аналогичных магнитному полю в электродинамике).

Обнаружению таких компонент посвящена программа работ в Станфордском университете (США), которая была начата около 15 лет назад и которая, возможно, будет успешно завершена в этом десятилетии. Столь длительный срок реализации этого опыта связан с необычайной сложностью задачи. Существо эксперимента сводится к следующему: представим, что на близкую околоземную орбиту, проходящую в меридиональной плоскости (полярную), выведен спутник, на борту которого находится идеальный гироскоп. Ось гироскопа будет очень медленно прецессировать из-за эффектов ОТО. Обычно разделяют два эффекта прецессии: если ось гироскопа лежит в плоскости орбиты, то «темп» прецессии оси составляет около 7 угл. с за год; если же ось гироскопа перпендикулярна плоскости орбиты, то «темп» прецессии оси гироскопа примерно равен 0,05 угл. с за год. Этот последний эффект пропорционален скорости углового вращения Земли (иногда, по аналогии с терминами атомной физики, его называют спин-спиновым гравитационным эффек-

том). Он подобен повороту катушки с током, помещенной во внешнее магнитное поле. Такая малая величина прецессии оси гироскопа и является основной причиной, из-за которой потребовалось столько времени для предварительных экспериментов и отработки методики.

Чтобы дать читателям возможность представить, каким образом экспериментаторы из Станфорда предполагают решить поставленную задачу, приведем основные данные о гироскопе и специализированном спутнике, на котором этот гироскоп должен быть помещен. Сам гироскоп представляет собой шарик из плавящего кварца с уникально малым уровнем несферичности и неоднородности по плотности (относительная геометрическая несферичность не должна превышать $3 \cdot 10^{-7}$, на таком же уровне должны быть и относительные вариации плотности внутри объема шарика). Предполагается, что снаружи шарик покрыт сверхпроводником (ниобием) и подвешен с помощью следящей электростатической системы внутри кварцевой камеры в вакууме (давление не выше 10^{-8} Торр). Стенки камеры должны быть охлаждены до 4 К (жидкий гелий на борту спутника). Струя газообразного гелия раскрутит шарик до скорости в несколько сот оборотов в секунду.

Положение оси гироскопа относительно спутника будет определяться необычайно изящным методом: вращающийся сверхпроводниковый шарик должен намагнититься (так называемый эффект Лондона), и тогда ось магнитного момента совпадет с осью вращения. Информацию о положении оси должны дать несколько высокочувствительных сверхпроводящих магнитометров, работающих на эффекте Джозефсона³. Такая процедура бесконтактного измерения положения оси гироскопа через магнитное поле требует очень хорошей магнитной экранировки на самом спутнике (примерно на уровне 10^{-7} гаусс).

Не менее сложной будет и сама конструкция спутника: точность его ориентации в пространстве по отношению к неподвижным звездам должна быть не хуже 0,001 угл. с. На такую же величину допускается дрейф оси спутника в течение одного месяца. Чтобы обеспечить такие параметры движения, небольшой

³ Об эффекте Джозефсона и высокочувствительных магнитометрах см.: Пятаевский и Л. П. Макроскопические квантовые явления.— Природа, 1980, № 4, с. 40.

телескоп, установленный на борту спутника, весь охлаждается до температуры жидкого гелия. Телескоп будет изготовлен целиком из кварца, при температуре жидкого гелия возможный дрейф его оптической оси из-за температурных вариаций не должен превысить тысячной доли угловой секунды.

Приведенное краткое описание этой программы показывает, с одной стороны, насколько трудна поставленная задача и сколько изобретательности вложено экспериментаторами в ее решение, а с другой стороны, объясняет, почему только для предварительной ее разработки потребовалось столь долгое время. Как отмечалось выше, можно надеяться, что эта программа будет успешно завершена в начавшемся десятилетии.

ЗАДАЧИ ПОИСКА ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Описание современного гравитационного эксперимента было бы неполным, если не затрагивать программы поиска гравитационных волн. Вместе с тем даже краткое описание этих программ сделало бы эту статью чрезмерно большой. Отсылая читателя к популярной и специальной литературе, посвященной этой проблеме, перечислим здесь лишь те чисто экспериментальные задачи, которые должны решить в двадцати лабораториях нашей планеты, разрабатывающих различные варианты гравитационных антенн. Такие антенны предназначены для обнаружения всплесков гравитационного излучения внеземного происхождения.

1. Для спутниковых гравитационных антенн, рассчитанных на обнаружение относительно длинных всплесков излучения (от 50 с до 10^4 с) от коллапса ядер галактик, необходимо разработать стандарты частоты с относительными вариациями частоты $\Delta f/f$, не превышающими 10^{-17} за время 10^2 — 10^4 с. Кроме того, предполагается реализовать космическую доплеровскую систему регистрации относительных вариаций скорости спутников с уровнем относительного разрешения $\Delta v/c \approx 1 \cdot 10^{-17}$ (как указывалось выше, на сегодняшний день достигнуты величины $\Delta f/f \approx 2 \cdot 10^{-16}$ и $\Delta v/c \approx 1 \cdot 10^{-14}$).

2. Для наземных лазерных гравитационных антенн, предназначенных для обнаружения коротких всплесков излучения (около 1 мс) необходимо разработать методику регистрации малых амплитуд

колебаний двух зеркал, разнесенных на расстояние порядка 1 км. Разрешение за время измерения около 1 мс должно быть не хуже 10^{-14} см.

3. Для наземных твердотельных гравитационных антенн (антенны веберовского типа в том же диапазоне частот, что и лазерные) необходимо разработать систему регистрации малых амплитуд колебаний, не превышающих $1 \cdot 10^{-17}$ см. (Сейчас разработанная на физическом факультете МГУ методика позволяет регистрировать амплитуды колебаний $2 \cdot 10^{-17}$ см при времени измерения около 10 с)⁴.

В поисках всплесков гравитационного излучения от внеземных источников физиков более всего привлекает возможность открыть качественно новый канал астрофизической информации.

Перечисленные задачи (не исчерпывающие, конечно, всех проблем) показывают, что физики и инженеры, занятые сегодня гравитационными экспериментами, должны не только использовать все современные инструментальные достижения, но и разрабатывать совершенно новые, которые, по-видимому, окажутся полезными не только в других областях физики, но и в технике.

Вместе с тем следует отметить, что интерес к фундаментальным проблемам (в частности, к проблемам гравитации), не сулящим быстрого практического применения, закономерен: кроме естественно-го желания лучше, детальнее узнать мир, в котором мы живем, исследователи понимают, что методы (мышления и эксперимента), разрабатываемые в одной области науки, рано или поздно окажутся полезными сначала в других областях, а затем и в практике.

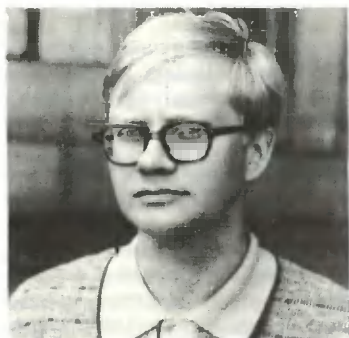
⁴ Подробнее см. в этом номере: Измерение сверхмалых перемещений, с. 93.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Брагинский В. Б. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. М.: Знание, 1977.
 Руденко В. Н. РЕЛЯТИВИСТСКИЕ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ.— Успехи физических наук, 1978, т. 126, вып. 3.
 АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН И ТЕОРИЯ ГРАВИТАЦИИ. М.: Мир, 1979.
 GENERAL RELATIVITY. Cambridge Univ. Press, 1979.

Исчезнувшие народы. Тайрона

Ю. Е. Березкин



Юрий Евгеньевич Березкин, кандидат исторических наук, младший научный сотрудник Института этнографии АН СССР. Занимается изучением древних культур Южной Америки. Неоднократно публиковался в журнале «Природа».

ИНДЕЙЦЫ КОЛУМБИИ ДО ПОЯВЛЕНИЯ ЕВРОПЕЙЦЕВ

В XVI в. на территории центральной и южной Мексики, Гватемалы, западного Гондураса и Сальвадора процветали государства ацтеков, тарасков, майя, а в более ранние эпохи — сапотеков, тольтеков и других народов. На территории Перу и Боливии испанцы встретились с инками — наследниками древних культур тиауанако, уари, мочика, наска, чавин¹. На территории нынешних Эквадора, Колумбии, западной и северной Венесуэлы, Панамы, Коста-Рики и Никарагуа в это время крупных государств не было. Здесь жили племена, говорившие на языках чибча, паэс, чоко, тимоте, главным занятием которых было земледелие, в ряде случаев — ирригационное. Процветала торговля, особенно солью, золотом, хлопчатобумажными тканями, рабами. Племена вели между собой жестокие войны. Захваченных в сра-

жениях пленников приносили в жертву на алтарях божеств. Во многих местах было распространено людоедство — считалось, что при поедании врага человек и весь его род приобретает особую жизненную силу².

В XVI в. местные индейцы оказали яростное сопротивление конкистадорам. В ответ испанцы беспощадно истребляли непокорных, находя себе оправдание в нехристианских обычаях своих противников. В итоге уже через несколько десятилетий после конкисты одни народы бесследно исчезли, остатки других деградировали в культурном отношении.

На фоне сказочных сокровищ и великих царств Мексики и Перу культура индейцев Колумбии, Венесуэлы и юга Центральной Америки произвела на испанцев

¹ О некоторых из перечисленных древних культур Южной Америки см.: Березкин Ю. Е. Древнейшая цивилизация Южной Америки. — Природа, 1977, № 9; Он же. Почему погибла цивилизация мочика? — Природа, 1978, № 9; Он же. Люди, звери и боги мочика. — Природа, 1979, № 5.

² Хотя сообщения европейцев XVI—XVII вв. о каннибализме среди аборигенов Америки иногда ставятся под сомнение, такое недоверие вряд ли оправдано. Данные, которыми мы располагаем, происходят из независимых и заслуживающих доверие источников. Обзор соответствующих сообщений по древней Колумбии см.: Jijón y Caamaño J. Las naciones indígenas que poblaron el occidente de Colombia al tiempo de la conquista según los cronistas castellanos. — In: Sebastian de Benalcázar. Quito, 1938, t. 2; Trimborn H. Vergessene Königreiche. Braunschweig, 1948.

меньшее впечатление. Поэтому участники завоевания и монахи, шедшие по их следам, были в своих сообщениях о местных индейцах довольно немногословны. В более благоприятном положении оказались лишь муиски, жившие на плоскогорье в районе нынешней столицы Колумбии. Более высокий культурный уровень этого народа в сравнении с окружающими племенами и некоторые специфические обычаи (давшие пищу для возникновения легенды об Эль-дorado) привлекли внимание испанцев. Подробные сообщения о муисках содержатся в ряде хроник XVI — начала XVII вв.

Ученые попытались раскопками подтвердить выдающееся положение культуры муисков среди других доиспанских культур Колумбии. Однако здесь их ждало некоторое разочарование. Так как муиски не строили зданий из камня, руины их поселений маловпечатляющи; предметы же изобразительного искусства (из золота и керамики) в художественном отношении довольно посредственны. В то же время свидетельства былых культурных достижений индейцев были обнаружены во многих районах Колумбии за пределами территории муисков. Археологи, а чаще кладоискатели, находили монументальные каменные статуи, золотые маски, большие искусственные насыпи и платформы.

В последние десятилетия удалось установить, что еще в III тыс. до н. э. на территории между Мексикой и Перу существовали центры земледельческой культуры. Есть даже мнение, что именно на карибском побережье был расположен один из первичных очагов тропического земледелия в Новом Свете. Во всяком случае, на севере Колумбии и северо-западе Венесуэлы археологи обнаружили следы поселений III тыс. до н. э., обитатели которых умели изготавливать украшенные глиняные сосуды. Это свидетельство относительно высокого уровня развития всего общества. В Перу и Боливии керамику в столь раннюю эпоху еще не знали.

В дальнейшем, с конца I тыс. до н. э., а может быть, и раньше, именно в Колумбии возник центр древней металлургии. Скорее всего, здесь впервые в Америке была открыта плавка золота и изобретен медно-золотой сплав, тумбага, обладающий хорошими литейными свойствами. В Колумбии или Эквадоре, возможно, жили и те мастера, которые первыми научились плавить чистую медь. Пятнадцать лет назад близ границы Эквадора и Перу были открыты богатые могильники, датируемые первыми веками до нашей эры. В них

оказалось больше медных изделий, чем найдено за всю историю археологических исследований в Центральных Андах. Похоже, что местная металлургия явилась плодом не столько перуанских, сколько эквадорско-колумбийских традиций.

Сейчас ясно, что народы, жившие между Мексикой и Перу, не всегда отставали от своих северных и южных соседей, и те, по-видимому, даже обязаны им некоторыми культурными достижениями. Причины их более медленного развития



Карта-схема северо-западной Колумбии.

в последующие века еще предстоит установить. Что же касается эпохи конкисы, то в это время на общем фоне выделяются несколько передовых центров. Один из них располагался в районе города Боготы (культура муисков), другой — на северо-западе Колумбии, а бассейне реки Сину, и третий, может быть, важнейший — на северо-востоке, близ города Санта-Марта у подножия гор Сьерра-Невада.



Индец — житель гор Сьерра-Невада де Санта-Марта.

ОТКРЫТИЕ КУЛЬТУРЫ ТАЙРОНА

Горы Сьерра-Невада встают у самого карибского побережья Колумбии. Путешественники не раз отмечали контраст между огромным заснеженным массивом и болотистыми тропическими зарослями у его подножия. Так как низменности или небольшие возвышенности окружают Сьерра-Неваду со всех сторон, в экологическом отношении этот район напоминает остров. Его длина 190 км, ширина 145 км, наибольшая высота над уровнем моря — 5775 м.

В 20-х годах молодой американский археолог О. Мейсон (впоследствии крупный специалист по археологии и этнографии Нового Света) отправился в Колумбию, чтобы предпринять раскопки в районе Сан-

та-Марты. По заявлениям грабителей древностей, они именно здесь находили массивные золотые фигурки в виде каких-то полулюдей-полукрокодилов, и археолог взялся проверить эти сведения. Много месяцев он проработал один с группой местных рабочих. Холмы, между которыми встречались следы поселений, покрывал густой тропический лес. Вести раскопки в этих условиях было нелегко, да и финансовые возможности экспедиции были ограничены. Мейсон не мог развернуть большие работы и ни разу не натолкнулся на богатое захоронение — одно из тех, какие находили кладоискатели. Однако и то, что ему удалось сделать, позволило говорить об открытии высокоразвитой и необычной культуры.

Ее решили именовать тайрона. В испанских хрониках XVI в. есть упоминание о народе с таким названием, жившим как раз там, где Мейсон начал раскопки. Однако подробностей в документах не содержится. Тайрона столь яростно сопротивлялись, что захватить их страну конкистадорам удалось ценой истребления почти всех ее жителей. Так что ни необходимости, ни возможности познакомиться с культурой местных индейцев, пока она еще была жива, у испанцев не нашлось.

Начав раскопки у подножия Сьерра-Невады, американский археолог обнаружил основания круглых домов, выложенные из мощных отесанных каменных плит. Диаметр некоторых сооружений достигал 20 м. Жилые остатки доказывали, что строения служили не только для ритуальных целей. В каждый дом вели два входа, расположенные друг против друга. В верхней части стены не были каменными: вероятно, их возводили из дерева и тростника, а коническую крышу крыли соломой.

Наличие одних только круглых построек было не совсем обычно. Как в Старом, так и в Новом Свете жилища подобной формы встречаются чаще у народов, ведущих подвижный образ жизни (охотников, скотоводов-кочевников, примитивных земледельцев, вынужденных переселяться по мере истощения почв, и т. п.). У оседлых земледельцев, общество которых стояло на пути сложения цивилизации, прямоугольные строения или преобладают, или, по крайней мере, встречаются наряду с круглыми и овальными. Дело отчасти в том, что из камня или сырцового кирпича, которые начинают употреблять оседлые жители, прямоугольные здания возводить проще. Их удобнее и расположить в пределах поселка. В технике обра-

ботки камня и масштабах его применения в строительстве тайрона опередили все другие народы древней Колумбии и почти достигли уровня инков. Именно поэтому полное отсутствие у тайрона прямоугольных домов нуждается в объяснении.

Некоторые поселения тайрона можно назвать городами. В крупнейшем из них, Пуэблито, найдено 3000 оснований домов. Остатки дворцов или храмов выделяются среди прочих размерами и отделкой. Отдельные группы домов связывают дороги и лестницы, выложенные каменными плитами, которые обработаны иногда чрезвычайно тщательно. Ширина мостовых достигает 3—5 м. Через небольшие ручьи перекинуты каменные мостики. Нигде в доиспанской Америке мы не встречаем ничего подобного.

Так как дома строились на склонах холмов, подготовка ровной площадки требовала больших земляных работ. Террасы были укреплены камнями. Повсюду встречаются также резервуары для воды. У подножия Сьерра-Невады год резко делится на сухой и влажный сезоны, поэтому воду приходилось запасать.

Тайрона устраивали террасы не только под фундаменты, но и для разбивки полей. Для орошения посевов прокладывались каналы.

Среди остальных колумбийских культур тайрона отличает обилие ритуальных предметов из шлифованного камня. В Пуэблито под полами больших зданий Мейсон нашел множество каменных жезлов и топоров, у которых лезвие и рукоятка выточены из одного куска породы. Фигурное навершие почти всех жезлов раздвоено. Концы образуют два параллельных шипа или почти смыкаются в кольцо. Изображения знатных персон с такого рода жезлами встречаются и у муисков.

Каменные жезлы, топоры и своеобразной формы длинные (так называемые крылатые) подвески, которые тоже часто находят под полами домов, нередко лежат внутри глиняных сосудов. Эти вещи найдены лишь на крупнейших поселениях. В других случаях под полами обнаружены глиняные урны, содержавшие обычные гальки.

Подавляющее большинство золотых изделий из района Сьерра-Невады попало в музей из рук грабителей. Вещей этих сравнительно мало: золотые коллекции из многих других районов Колумбии гораздо обширнее. Однако металлические предметы тайрона отличаются изысканностью и мастерством изготовления. Самые сложные — это литые подвески 10—15 см высо-



Индийский жрец из горного селения, употребляющий наркотики — коку. Листья коки находятся в сумке, повешенной на шею. В руке жреца — тыквенный сосудик с известью, которую жрец вынимает палочкой и кладет себе в рот. Известь является катализатором, способствующим выделению конанина из листьев. Любые встречи, собрания, церемонии сопровождаются приемом коки. Плантации этого кустарника индейцы коки считают самой ценной своей собственностью.

той в виде стоящей фигуры человека с головой крокодила или птицы. Их делали так. Вокруг глиняной заготовки лепили изображение из воска, которое, в свою очередь, обмазывали глиной, оставляя сверху и снизу по одному отверстию. Через нижнее отверстие вытапливали воск, а через верхнее в получившуюся полость заливали расплавленное золото. Когда металл остывал, его очищали от глины и производили окончательную отделку предмета.

В художественном и техническом отношении подвески тайрона — одни из лучших древних образцов ювелирного искусства. Вместе с тем по форме эти предметы напоминают изделия из более южных и западных районов Колумбии, а также из Панамы и Коста-Рики. Малое число дошедших до нас произведений мастеров тайро-



Каменное основание одного из домов в городе тайрона Пуэблито. Человек на развалинах — не археолог, а гуакиро — профессиональный грабитель древних могил. Подавляющее большинство хранящихся ныне в музеях древнеколумбийских золотых изделий найдено именно гуакиро. На переднем плане — зернотерка для измельчения кукурузы.

на, возможно, объясняется тем, что в Сьерра-Неваде не было золотых россыпей, и тайрона получали металл издалека. Крупнейшие древние золотые разработки находились неподалеку от нынешнего города Медельин, в горах в бассейне реки Каука. Подданные местного князька занимались почти исключительно добычей золота и все необходимое для себя выменивали на металл. Впрочем, источники сырья у тайрона, наверное, были различны: некоторые предметы изготовлены почти из чистого золота, другие — из золота, сильно загрязненного медью.

Тайрона была знакома и чистая медь. Однако испорченные коррозией предметы из нее мало интересовали коллекционеров.

При научных же раскопках найдены лишь мелкие вещи и обломки. Поэтому невозможно пока судить, делались ли из меди какие-то орудия.

Раскопки Мейсона долго были единственным археологическим свидетельством о прошлом Сьерра-Невады. После второй мировой войны колумбийский ученый Г. Рейчел-Долматов продолжил исследования. Они подтвердили вывод о высоком уровне местной культуры незадолго до прихода испанцев.

Какова была политическая организация тайрона? Прямые сведения об этом могли сообщить только свидетели и участники завоевания, но их документы молчат. Мы можем сделать заключение лишь по результатам раскопок. Наряду с мелкими поселениями у тайрона обнаружены крупные, в которых жили тысячи людей. Для прокладки мощеных дорог, строительства террас, лестниц и больших зданий требовался одновременно труд многих работников. Все это предполагает централизованную организацию общества, достаточно сложную систему управления. Скорее всего, как это было и у муисков, над вождями отдельных селений главенствовали князьки, под началом которых находились большие районы. Их резиденции располагались в городках типа Пуэблито.

Конечно, культура тайрона во многих отношениях «не дотягивает» до цивилизаций Мексики и Перу. Например, в районе Сьерра-Невады не обнаружено остатков крупных монументальных сооружений. По-

Один из распространенных типов золотых изделий тайрона — подвеска в виде божества, имеющего нос каймана. На голове божества — сложный узор. Высота предмета 10,6 см (верхний ряд, слева).

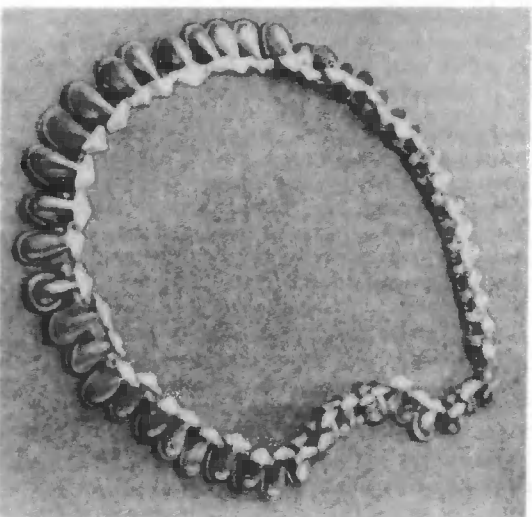
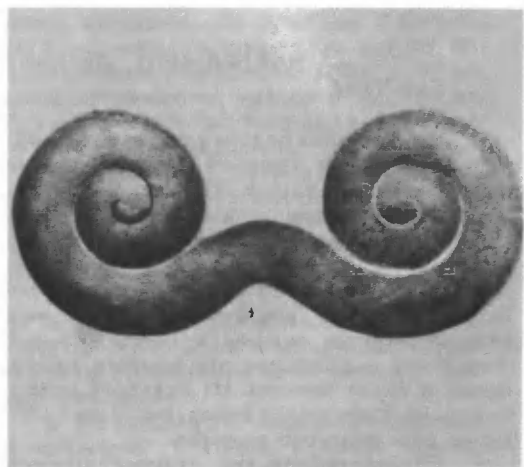
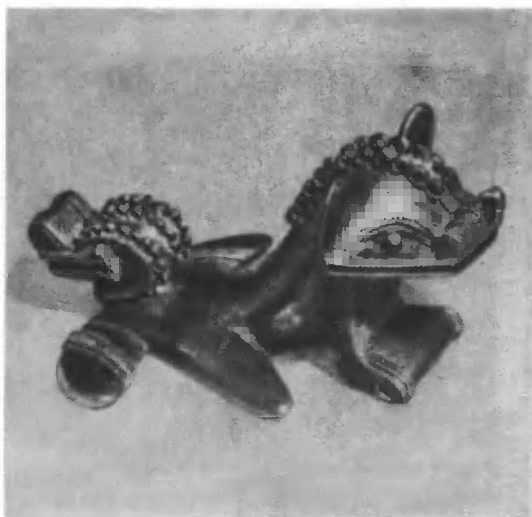
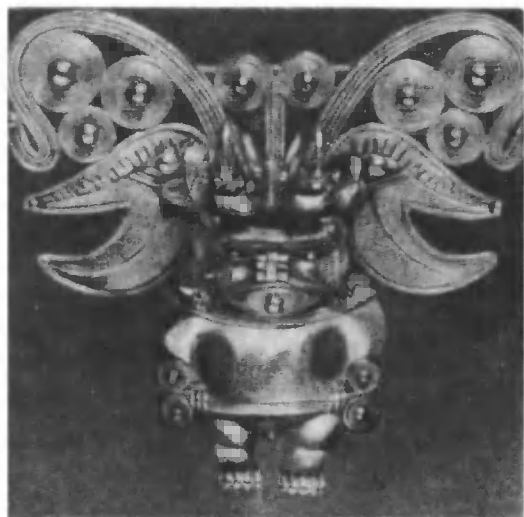
Литая подвеска из золота, изображающая чудовище с головами на обоих концах тела. Подобные двуглавые существа встречаются в искусстве многих доколумбовых культур Южной Америки. Длина подвески 7,1 см (верхний ряд, справа).

Украшение для носа из кованого золота. Длина 18,8 см (средний ряд, слева).

Вставка в мочку уха из литого золота. Ширина 3,4 см (средний ряд, справа).

Золотая литая подвеска тайрона, изображающая людей-птиц (нижний ряд, слева).

Ожерелье из бубенчиков, выполненных в виде лягушки. Длина каждой лягушки 1,5 см. Между бубенчиками — бусины из зеленого камня (нижний ряд, справа).





Погребальная урна тайрона. Рельеф изображает женское божество, возможно, Великую Мать, которую юги называют Каутеован.



Глиняные подвески тайрона.

видимому, местные князьки не были столь могущественны и не имели в своем распоряжении столько свободных от другой работы подданных, чтобы заставить их трудиться над строительством объектов практически бесполезных, но зато сильно повышающих престиж правящей группы: тайрона не возводили ни мощных стилобатов под храмы, ни грандиозных надгробных памятников. Однако (с точки зрения археолога, по крайней мере) из всех создателей древних культур Колумбии и юга Центральной Америки тайрона, пожалуй, в наибольшей степени приблизились к уровню цивилизации.

Вот, в основном, и все, что ученые сумели узнать о тайрона благодаря раскопкам. Понятно, что на многие вопросы археология заведомо не могла дать ответ. По одним лишь фундаментам зданий и золотым статуэткам очень трудно представить культуру живого народа, особенно если она столь отлична от нашей. Кого изображали статуэтки? Кому принадлежали жезлы и зачем их было нужно прятать под полами? Почему дома имели только круглую, а не квадратную форму? На каком языке, наконец, говорили строители Пуэблито? Тайрона давно вымерли и, как и все южноамериканские индейцы, не имели письменности, которую можно было бы расшифровать и прочитать. Однако оказалось, что, исчезнув с исторической сцены, этот народ как бы оставил свой слепок или отпечаток в другом, дожившем до наших дней.

КОГИ — НАСЛЕДНИКИ ДРЕВНИХ ТАЙРОНА

Прибрежная полоса у подножия Сьерра-Невады была очищена от индейцев не позже начала XVIII в. Но когда испанцы попробовали проникнуть в горы, они встретились с трудностями, которые отравили их от дальнейших попыток. В Сьерра-Неваде нет удобных для земледелия возвышенностей или широких долин. Узкие ущелья, крутые склоны и непроходимые леса стали надежными союзниками укрывшихся в горах племен. Их культура сохранялась на протяжении веков, почти не испытывая европейского влияния.

Среди нескольких горных племен древние обычаи лучше всего сохранили коги (или кагаба), нынешняя численность которых, по разным оценкам, составляет 2—6 тыс. человек. Постепенно отступая под натиском испаноязычных поселенцев, коги поднялись по долинам на высоту 1500—2000 м. Раньше они, вероятно, жили значительно ближе к морю.

Резко пересеченный рельеф имеет не только свои неудобства, но и преимущества. В горах коги чувствуют себя в безопасности и имеют доступ одновременно к различным высотным зонам — от нижней, где собирают урожай тропических фруктов и корнеплодов, до верхней, где хорошо растет картофель. В средней зоне преимущественно сажают кукурузу.

Подобная система земледелия, основанная на одновременном использовании разных зон, была характерна для до-

испанских культур Анд. Многие ученые считают, что именно она способствовала сложению древнейших перуанских цивилизаций. Правда, нынешние племена Сьерра-Невады не знакомы со многими другими элементами культурно-хозяйственного комплекса, которым обладали древние перуанцы. Коги, в частности, не строят ни оросительных каналов, ни террас по склонам гор и не знают скотоводства. Они неплохие ткачи, но посредственные гончары, металлургия же им вовсе не знакома. Основная форма политической организации — объединение нескольких десятков семей вокруг деревенского жреца. Семьи, ведущие хозяйство в разных частях долины, лишь на короткое время собираются в селении, чтобы решить под руководством жреца свои дела и совершить необходимые обряды.

Однако сравнительно примитивный уровень материальной культуры и политической организации коги лишь делает более заметными ряд особенностей, которые обычно встречаются только в высокоразвитых обществах. Так, например, гончарством и ткачеством заняты у коги мужчины. В первобытных коллективах эти занятия обычно считаются женскими, но переходят к мужчинам в эпоху цивилизации. Помимо деревенских храмов, у коги существуют общеплеменные культовые центры.

Этнографы полагают, что на культуру коги в прошлом сильно повлияли их соседи тайрона; этим и объясняется противоречивое сочетание архаических и развитых элементов.

В 1914—1915 гг. немецкий языковед и этнограф К. Т. Прейс впервые провел среди коги полевые исследования. Оказалось, что помимо общего языка у этих индейцев есть другой, священный, известный только жрецам. Обучение тайному языку входит в программу подготовки жреца, которую мальчики и юноши проходят долгие годы. Как и обычный язык, жреческий принадлежит к семье чибча, на языках которой говорили многие племена Колумбии, Панамы и Коста-Рики, в том числе и муиски.

По утверждению самих жрецов, на этом особом языке говорили как предки коги, так и тайрона, о былом соседстве с которыми нынешние индейцы Сьерра-Невады сохранили смутные воспоминания. Подобная точка зрения подтверждается лингвистическим анализом. Дело в том, что коги называют себя «бункузи», что значит «старшие братья», а иноплеменников зовут «младшими братьями». Оказалось, что на жреческом языке «старший брат» будет



Храм в одном из селений коги.

«теру». Если предположить, что индейцы, первоначально говорившие на этом языке, тоже делили окружающих на «старших» и «младших» братьев, т. е. на «своих» и «чужих», то слово «тайрона» можно понять как «народ старших братьев». Такое самоназвание весьма типично: по всему миру члены того или иного племени выделяли себя как единственных «настоящих» людей, имеющих преимущества над иноплеменниками.

Прейсу удалось записать серию мифологических сюжетов на обычном языке коги. Во многих из них рассказывается о явлениях и предметах, с которыми сейчас коги плохо знакомы. Герои этих мифов — «младшие братья», т. е. в данном случае тайрона (они «старшие» для себя, но «младшие», иначе говоря, «чужаки» с точки зрения коги). Особенно интересен рассказ про Тайку — золотых дел мастера. Пожив в горах со «старшими братьями» (т. е. с коги), Тайку спустился к морю (в страну тайрона) и стал делать там золотые украшения для жрецов: бусы, браслеты, подвески и т. п. Потом, как и положено сказочному мастеру, он занялся более сложной работой; из под его рук начали выходить золотые шапочки, рубашки, барабаны, скамьи и целый храм, и, наконец, животные и птицы. Жрецы коги отдали ему в обучение мальчиков, но те оказались упрямыми и непонятливыми, и Тайку их самих превратил в золото.

В этом рассказе сохранилась память



Жрец в маске демона Хисен во время ритуального представления. Маска с выступающей вперед клыкастой челюстью напоминает изображения человека-каймана у древних тайрона.

о тайрона как народе искусных ремесленников, чьему мастерству жители гор могли лишь завидовать. По-видимому, в древности коги получали золотые вещи только от тайрона. Те изделия, которые этнографы встречают в обиходе у коги сейчас, приобретены индейцами от грабителей могил, но возможно, что некоторые сохранились с доколумбовских времен. Жрецы употребляют золотые украшения именно так, как, судя по изображениям, делали в древности: они вешают их на шею, чтобы отделять одну от другой низки каменных бус. Это говорит о непрерывности, преемственности традиции.

В другой мифе коги персонажи передают в уплату друг другу лягушек из зеленого и красного камня. Не идет ли речь о фигурках, в древности служивших единицами обмена? Ведь мелкие фигурки из цветного камня были найдены на городищах тайрона.

Прейс сфотографировал и описал культовые предметы коги — жезлы и маски. Некоторые жезлы, раздвоенные на концы, очень похожи на предметы тайрона, только сделаны из дерева, а не из камня. У коги жезл вручается жрецу при посвящении в должность. В это время поют песню о том, что когда-то этот жезл сделала сама Великая Мать для одного из первых жрецов.

Маски коги надевают во время ритуальных танцев. Они изображают демонов с клыкастыми, далеко выступающими вперед челюстями. В случае с масками древние материалы помогли лучше понять увиденное этнографом. Коги называли Прейсу лишь имена демонов, которых изображали танцоры, но не могли объяснить их природу. Секрет раскрывается, если сравнить маски с золотыми фигурками тайрона, на которых показан человек-крокодил. Вот откуда длинная зубастая челюсть.

Колумбийскому этнографу и археологу Рейчел-Долматову удалось определить, почему под полами домов тайрона встречаются урны с камешками. Оказывается, у коги существует обычай прятать под полом глиняный сосуд. В него кладут камешки — по одному на каждого члена семьи, добавляя новый с рождением каждого ребенка. По-видимому, камешек воплощает мифического двойника, духа-покровителя, от которого зависит здоровье и благополучие человека. А что же жезлы, топоры и подвески, которые в Пуэблито тоже найдены под полами в урнах? Может быть, они были такими же амулетами, но только не рядовых общинников, а членов жреческих или княжеских династий? В пользу такого мнения — связь этих предметов лишь с самыми крупными зданиями.

Этнографические материалы помогли понять и особенности планировки домов тайрона. Как говорилось, это были круглые строения с двумя выходами. У коги так выглядят не обычные жилища (имеющие лишь один выход), а храмы, достигающие в диаметре 12 м. Каждый храм мыслится маленькой копией Вселенной. Его круглые стены как бы ограничивают земной диск; внутри круга вписан квадрат из четырех опорных столбов и четырех очагов, которые соответствуют четырем главным святилищам коги в Сьерра-Неваде и четверем жреческим династиям. С пятым, центральным святилищем и пятой династией сопоставляются два опорных столба в центре храма. По представлениям коги, над землей располагаются четыре небесных яруса, поэтому на крыше храма укреплены четыре горизонтальные рамы. Зеркальное отражение храма, соответствующее подземным миром, незримо продолжается вниз, под полом.

По-видимому, у тайрона не только главные храмы, но и любые круглые дома рассматривались как не только жилые помещения, но и своего рода святилища. Следовательно, их планировка не могла быть изменена без соответствующих пере-

мен в мифологических представлениях. У многих южноамериканских племен большой дом одновременно служит святилищем: его центральная часть предназначена для обрядов, а по периметру идут очаги, принадлежащие отдельным семьям.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ КУЛЬТУРЫ ТАЙРОНА

Конкретные предшественники культуры тайрона не найдены. Есть предположение, что в конце I тыс. до н. э. ее создатели пришли в район Сьерра-Невады с юго-запада. В то же время характерные для тайрона «крылатые подвески» из камня встречаются восточнее, в венесуэльских Андах. Рейчел-Долматов, имя которого уже упоминалось, пришел к выводу, что культура тайрона представляет весьма необычный сплав амазонской и центральноамериканской традиций. Характерные для нее огромные погребальные урны обнаружены во многих лесных районах к востоку от Анд. Та культура, которая в предыспанский период существовала вдоль южных и восточных склонов Сьерра-Невады, вообще может рассматриваться как вариант тайрона. Но в ней отсутствуют все те особенности, которые приближают тайрона к уровню городской цивилизации: крупные поселения, развитая обработка камня, богатые захоронения. Некоторые черты изобразительного искусства тайрона указывают на связь с Центральной Америкой и даже Мексикой. Так, личины с высунутым языком отдаленно напоминают изображения мексиканского бога Тлалока. Глиняные предметы, оканчивающиеся пастью хищного зверя или змеи с выступающей из нее человеческой головой, тоже имеют аналогии в Центральной Америке.

Интересны в этом плане особенности духовной культуры современных племен Сьерра-Невады. Жрецы коги учат, что мир создала Великая Мать. Ее 5 сыновей основали 5 храмов, места расположения которых в плане образуют квадрат (пятый храм — на пересечении диагоналей). Вселенная состоит из девяти ярусов. Вокруг ее вертикальной оси, как вокруг веретена, солнце вьет свою нить: ночью — под землей, днем — на небе. Огромное мифическое дерево было привязано к небу девятью канатами. У другого племени, ихка, около храма устраивается священное поле, засеянное кукурузой четырех сортов. Такого рода примеров из мифологии и ритуала

индейцев Сьерра-Невады можно привести много.

Представления, основанные на символике чисел 4 и 9 и постулирующие осевую симметрию окружающего пространства, очень характерны именно для Центральной Америки. Хотя в древности подобного рода идеи возникали независимо в разных районах мира, нельзя все же сказать, что они в равной мере распространены повсюду. У перуанских инков, например, космологические образы лишены геометрической четкости.

Для объяснения центральноамериканских черт в культуре обитателей Сьерра-Невады не требуется прибегать к гипотезам о дальних миграциях предков тайрона. Схождения могут объясняться общей древней основой, из которой развились многие культуры Южной и Центральной Америки. Сложнее обстоит дело с амазонскими элементами, которые, похоже, свидетельствуют о каких-то крупных передвижениях племен, ни направлений, ни времени которых мы пока определить не в состоянии.

Итак, вплоть до начала нашего века одни лишь испанские документы времен завоевания служили источником сведений о колумбийских индейцах. Как оказалось, они несколько исказили историческую перспективу, уделив почти все внимание одной лишь культуре муисков. Современники муисков, тайрона, были неоправданно забыты. Только благодаря археологам и, может быть, еще больше — жрецам племен коги, четыре с половиной века сохранявшим традиции тайрона, можем мы воздать должное культуре этого давно исчезнувшего народа.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Башилов В. А. ДРЕВНИЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ ПЕРУ И БОЛИВИИ. М.: Наука, 1972.

Березкин Ю. Е. ДРЕВНЕЙШАЯ ЦИВИЛИЗАЦИЯ ЮЖНОЙ АМЕРИКИ. — Природа, 1977, № 9.

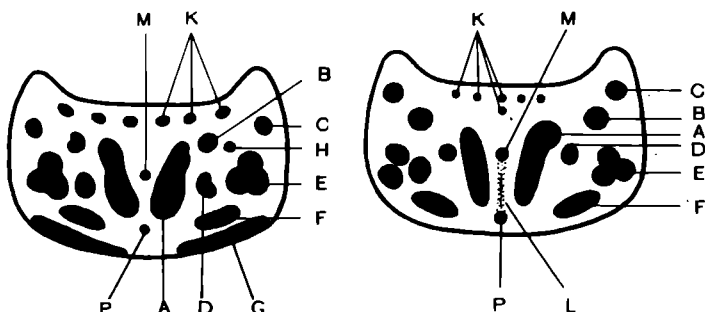
Березкин Ю. Е. ЛЮДИ, ЗВЕРИ И БОГИ МОЧИКА. — Природа, 1979, № 5.

Колорадский жук как модель микроэволюции

Ф. С. Козманюк,
кандидат биологических наук
Кафедра зоологии Брестского педагогического института
Брест

Для колорадского жука характерна сложность внутривидовой структуры: в популяции есть жуки разных возрастов, полиморфные по окраске и рисунку переднеспинки и т. д. В этом отношении колорадский жук по сложности популяционной структуры не уступает позвоночным животным (длительно живущим). Возможность тонкого и точного учета фенетических особенностей, с одной стороны, быстрая территориальная экспансия с созданием новых популяционных очагов на больших территориях, с другой стороны, и, наконец, разнообразия и интенсивные меры воздействия, которые можно рассматривать как крупные по масштабам эксперименты по влиянию на динамику и состав популяций — все это, вместе взятое, позволяет на примере колорадского жука изучать некоторые важные особенности микроэволюционного процесса.

Изучение внутривидовой структуры колорадского жука по изменению частот фенов рисунка на переднеспинке на примере показало, что в Европейской части СССР популяции этого вида отличаются от североамериканских исходных популяций по некоторым фенам, обозначаемым латинскими буквами. Так, у жуков Северной Америки имеются пятна Н и G, но отсутствует желтая (бурая) полоска между пятнами М и Р



Структура рисунка на передней спинке колорадского жука североамериканской (с л е в а) и восточноевропейской популяций.

(фен L). Это обстоятельство показывает, что за прошедшие десятилетия жизни данного вида в Европе произошел эволюционный сдвиг. Вероятнее всего, отсутствие фенов H и G в восточноевропейской субпопуляции объясняется дрейфом генов, т. е. случайной утерей этих фенов при колонизации жуками Старого Света, а появление фена L в Евразии, возможно, связано с мутацией или изменением экспрессии гена.

На территории СССР реальные эволюционные сдвиги, но меньшего масштаба, можно уловить при сравнении отдельных совокупностей жуков. На западе Белоруссии и в Липецкой области удалось установить границы отдельных популяций. Это объясняется высокой миграционной способностью особей вида, довольно большим радиусом индивидуальной активности (более 100 км) и сильным антропогенным воздействием (применение химических веществ) на популяции вредителя, что в конечном итоге приводит

к «размыванию» границ между популяциями.

Структура популяций колорадского жука из различных географических районов Европейской части СССР (Белорусской ССР, Украинской ССР, Удмуртской АССР и Краснодарского края) существенно отличается по соотношению полов, возрастным группам и частоте фенов.

Так, в 1976 г. по непонятным причинам наблюдалось поразительное явление: в минской, гродненской и армавирской совокупностях преобладали самки (свыше 90%), а в гомельской, брестской и сочинской — самцы (70—91%). В 1977 г. в той же гродненской совокупности соотношение полов оказалось нормальным (1:1).

Возраст взрослых особей в популяциях также значительно отличается друг от друга. В весенне-летний период преобладают темные (перезимовавшие) жуки, а осенью — светлые, молодые. Но даже в сборах, проведенных в одно время в различных местах, частота жуков с разной окраской значительно варьирует. Так, в Брестской области и в Барановичском районе в августе месяце темных жуков было 66,12%, в Беловежской Пуще — 84,8, а в Ивацевичском районе — 15,53, в Березовском — 28,14%. Похоже, что химическая обработка поля не оказывает зна-

чительного влияния на половую и возрастную структуру популяций.

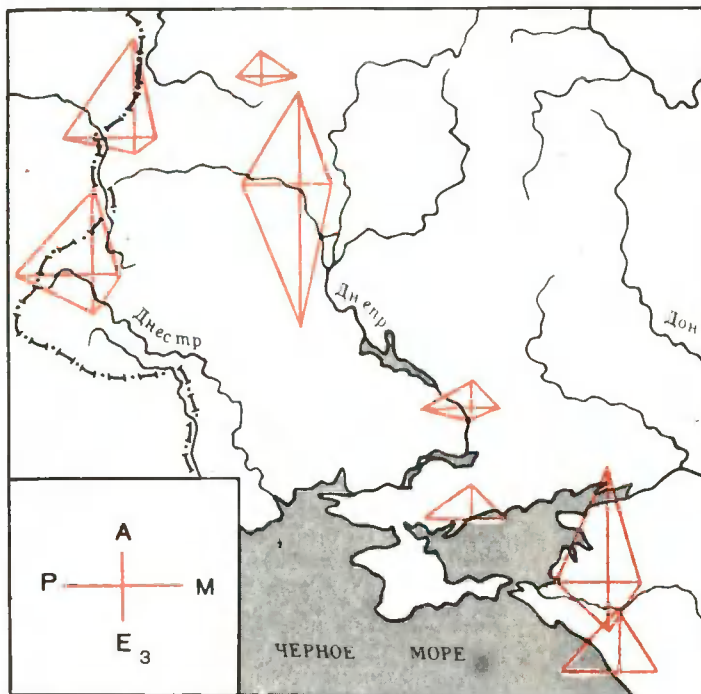
Анализ структуры популяций жуков в разных географических местах показал, что частота отдельных фенотипов изменяется в довольно широком диапазоне. В то же время каждая популяция характеризуется специфическим набором частот фенотипов, что в ряде случаев позво-

и удмуртской совокупностях. Наличие клинальной изменчивости по некоторым фенотипам указывает на их возможное адаптивное значение. Специально проведенные исследования показали, что жуки с разными фенотипами выходят из почвы в разное время: первыми чаще всего появляются жуки с фенотипом E_3 , позже — с фенотипом E_2 , т. е. такие жуки, у которых все пятна группы E слились

ческих, агротехнических, химических и других методов.

Экспериментальная проверка действия различных инсектицидов (таких как дилор, полихлорпинен, хлорофос и их смеси) на взрослых особей колорадского жука из двух популяций показала специфичность их действия, что выражалось в определенной последовательности гибели жуков с разными фенотипами. Одни инсектициды вызывают раннюю смерть жуков с фенотипом (AB), другие инсектициды приводят к летальному исходу у этих жуков только через 4—6 час. Из 844 жуков, помещенных в большой стеклянный аквариум, на дне которого находилась каша из листьев черемухи, через пять дней погибли только мутантные жуки — все 5 штук были идентичными по асимметричному расположению фена (AB).

Сравнительная легкость массового сбора колорадского жука и широкие мероприятия по регулированию его численности дают большие возможности для дальнейших углубленных наблюдений за особенностями микроэволюции этого вида, протекающей буквально на глазах исследователей, что, несомненно, имеет важное теоретическое значение.



Соотношение некоторых фенотипов в разных популяциях колорадского жука на Европейской части территории СССР. По изменению частот фенотипов можно изучать внутривидовую структуру колорадского жука.

ляет выявить фенетические маркеры совокупности. Так фенотип (AB) довольно часто встречается на западе Белоруссии, а в юго-восточном направлении частота его постепенно снижается. Фенотип L, наоборот, чаще встречается на Кавказе, чем на северо-западе Европейской части СССР. То же относится и к фенотипам D, E. Фенотип A заметно чаще, чем фенотипы D, E, встречается в брестской

совместе. Выход из почвы заканчивается раньше у жуков с фенотипом V (полосы A сливаются внизу), а у жуков с фенотипом A, (AB) этот срок более растянут. Причины таких различий объясняются тем, что фенотипы рисунка соответствуют важнейшим физиологическим признакам: жизнеспособности в зависимости от различных экологических факторов, плодовитости, особенностям поведения и т. д.

Борьба с колорадским жуком как опасным карантинным видом на территории СССР ведется весьма интенсивно. В истреблении его как вредителя картофеля и других пасленовых применяется комплексный подход с использованием механи-

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Тимофеев-Ресовский Н. В., Яблоков А. В., Глотов Н. В. ОЧЕРК УЧЕНИЯ О ПОПУЛЯЦИИ. М.: Наука, 1973.

Яблоков А. В. ФЕНЕТИКА. Эволюция, популяция, признак. М.: Наука, 1980.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ И ПОПУЛЯЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ. Изд-во Саратовского ун-та, вып. 5 (7). Саратов, 1978.

О природе логических парадоксов

А. И. Уемов



Авенир Иванович Уемов, доктор философских наук, заведующий отделом теории управления и системного анализа Одесского отделения Института экономики АН УССР. Работает над проблемами логики и методологии науки. Монографии: Аналогия в практике научного исследования. М.: Наука, 1970; Логические основы метода моделирования. М.: Наука, 1971; Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978. Неоднократно печатался в «Природе».

Интерес к парадоксам не иссякает тысячелетиями. По-видимому, он связан с простотой формулировок многих логических (в широком смысле слова) парадоксов, которые обычно не требуют специальных знаний для их понимания. В сфере логики-математических знаний факт обнаружения ошибки в тех или иных рассуждениях обычно быстро становится общепризнанным. В случае же парадоксов получается так, что найденная ошибка в рассуждениях, ведущих к парадоксу, сопровождается ошибкой в рассуждениях того, кто эту ошибку усматривает. Чем старше парадокс, тем меньше шансов его решения путем обнаружения в нем простой ошибки.

Поэтому сразу же вызывает настороженность статья А. А. Ханагова, в которой вообще все парадоксы на примере трех из них объявляются следствием формально-логических ошибок. Несколько по-иному этот вопрос рассматривается в статье А. Г. Маленкова. Это заставляет подозревать наличие логических ошибок в рассуждениях их авторов¹. И эти ошибки совсем не трудно обнаружить.

Начнем с парадокса «Брадобрей». Брадобрей, живущий в некоторой деревне, должен брить тех и только тех жителей деревни, которые не бреются сами. Должен ли он брить себя? Если он не будет брить себя, то должен брить себя в качестве брадобрея. А если будет бриться сам, то как брадобрей не может себя брить.

А. А. Ханагов выступает против применения математической логики к анализу парадоксов, считая, что она дает более грубую модель мышления, чем «обычная аристотелевская логика». Соглашаясь с тем, что нельзя, даже после появления современной математической логики, нигилистически относиться к аристотелевской логике, отметим все же, что аристотелевская логика недостаточна для формального анализа некоторых типов выводов, что фактически признает и сам автор, дополняя свой анализ таблицей.

Условие парадокса — «деревенский брадобрей бреет всех тех и только тех жителей своей деревни, которые не бреются сами» — А. А. Ханагов обозначает символом А и ставит вопрос о том, можно ли это суждение использовать в качестве посылки для какого-либо вывода. Ведь может оказаться, что суждение А представляет собой логически неверную конструкцию и, следовательно, его нельзя использовать

¹ См.: Ханагов А. А. Существуют ли в формальной логике парадоксы? — Природа, 1978, № 10, с. 118; Маленков А. Г. Логические «парадоксы» как путь познания закономерностей формирования понятий. — Там же, с. 124.

в качестве посылки не только для данного вывода, но и вообще для любого. Здесь мы встречаемся с первой и, пожалуй, наиболее фундаментальной ошибкой автора, которая в традиционной логике так и называется: *error fundamentalis* (основное заблуждение). Если та или иная мысль имеет форму суждения, то, согласно «обычной» аристотелевской логике, она может быть использована в качестве посылки вывода независимо от своей истинности или ложности, ибо всякое суждение представляет, говоря современным языком, «правильно построенную формулу» аристотелевской логики. Основное логическое сочинение Аристотеля «Аналитики» изобилует примерами выводов именно из ложных суждений. Вот если бы мысль не имела формы суждения, например: «деревенский брадобрей, бреющий всех жителей деревни», — то тогда, согласно обычной логике, из нее нельзя было бы сделать вывода, и для получения вывода потребовалось бы некоторое расширение этой логики.

Каким же образом автор статьи доказывает непригодность суждения А в качестве посылки какого-либо вывода? Он рассматривает А в качестве сложного суждения и переходит к совокупности из трех «простых» суждений В, С и D, из которых, по мнению А. А. Хананова, «состоит» суждение А. Вот эти суждения: В — «все жители некоторой деревни делятся на два множества по признакам, соответственно, «бреется сам» и «не бреется сам»; С — «некий брадобрей является жителем этой деревни»; D — «он бреет всех тех и только тех жителей деревни, которые не бреются сами».

А. А. Хананов утверждает, что вся информация, заключенная в суждении А, точно передается совокупностью приведенных суждений, что и выражается им в виде формулы $A = (B, C, D)$, (необходимо здесь уже заметить, что для корректности следовало бы в суждении D перед словом «деревни» вставить слово «этой», подчеркивая, что и в суждении D речь идет о той же самой деревне. В противном случае никакого парадокса не возникает. Далее мы будем понимать D с учетом этого замечания.) Теперь позволительно спросить: какое понятие является субъектом суждения и выражается местоимением «он»? Конечно же — деревенский брадобрей. В «обычной» логике не принято обозначать понятия местоимениями. Заменяя же «он» на «деревенский брадобрей» в D, мы получаем суждение А, т. е. $A = D$. Что же касается В и С, то это лишь некоторые

из числа суждений, предполагаемых суждением А. Любые суждения что-то предполагают. Например, «Сократ — человек» предполагает, что живые существа делятся по признаку человек — не человек, что существует некий объект, называемый Сократом, и т. д. Но нельзя утверждать, что суждение «Сократ — человек» состоит из всех тех суждений, истинность которых оно предполагает. Суждение А предполагает не только В и С, а еще, например, «брадобрей бреется», «брадобрей успевает побрить многих, а не бреет всю жизнь одного» и т. п. Автор статьи фактически и сам признает это, исключая из рассмотрения «различные предположения, делающие парадокс тривиальным», хотя и предполагая их (с. 121). Тем самым он признает, что то, что предполагается суждением, не всегда является его составной частью. Поэтому он должен говорить о том, что во всяком случае В является не составной частью D, а его предпосылкой.

Далее автор предлагает рассматривать логические соотношения между В, С, D, чтобы выяснить, являются ли они выводимыми друг из друга или же независимыми. Это по меньшей мере странно. К числу «молчаливых предпосылок» и составных частей любого суждения А относятся выводимые и невыводимые друг из друга суждения, но суждение А может быть истинным или ложным при самых разных логических отношениях между своими предпосылками, лишь бы они не исключали друг друга. Возьмем в качестве примера суждение «Сократ — человек». Его предпосылки были отмечены выше. Из одной из них: «все живые существа делятся на людей и не людей» не следует другая: «существует живое существо, называемое Сократом». В то же время можно указать предпосылку: «вещи делятся на людей и не людей», которая следует из другой предпосылки: «живые существа делятся на людей и не людей». Но все это безотносительно к признанию правомерности суждения «Сократ — человек». Очевидно, что из В, С не следует D. Никто такого вывода, т. е. вывода D (тождественного А) из В и С не делает. Поэтому окончательный вывод автора: «таким образом, суждение D — результат неверного вывода из суждений В и С» (с. 122) совершенно непонятен и несправедлив по отношению ко всем логикам, занимавшимся парадоксом «Брадобрей». Вот если бы А. А. Хананов смог привести пример хотя бы одного логика, занимавшегося выводом D из В и С, то тогда его заключение имело бы смысл. Но и в этом случае решения

еще не было бы, ибо все же для брадобрее оставалось бы неясным — брить себя или нет.

Попытке решения парадокса посвящены следующие шаги в рассуждениях А. А. Ханагова. Из суждений В и С делается силлогистический вывод суждения Е: «брдобрей относится либо к множеству тех, кто бреется сам, либо к множеству тех, кто не бреется сам». Логическая схема этого суждения: S есть P_1 или P_2 (отметим, что такой схемой не отражен тот факт, что в рассматриваемом конкретном случае дизъюнкция раздельная). Далее суждение Е представляется в виде дизъюнкции двух суждений: «брдобрей относится к множеству жителей, которые бреются сами» (S есть P_1) и «брдобрей относится к множеству жителей, которые не бреются сами» (S есть P_2). Обозначим их соответственно через D'_1 и D'_2 . С этим можно согласиться, но далее логический ход рассуждений прерывается. Рисуется схема. Нет надобности ее воспроизводить: какой бы она ни была, вывод должен делаться не из схемы, а из предшествующих суждений. Схема может лишь иллюстрировать, но никак не заменять вывод. Во всяком случае в рамках аристотелевской логики. А. А. Ханагов же аргументирует тем, что «из схемы видно». С помощью этой схемы суждение D'_1 подменяется совершенно отличным от него суждением D_1 : «брдобрей бреет всех тех жителей деревни, которые не бреются сами, и себя». А суждение D'_2 подменяется суждением D_2 : «брдобрей бреет всех тех жителей деревни, которые не бреются сами, исключая себя».

Поскольку произошла подмена одних суждений другими, рассмотрим вопрос о том, можно ли то, что «видно из схемы», получить в результате логического вывода, т. е. суждение D_1 вывести из D'_1 , а D_2 вывести из D'_2 . Так как автор статьи желает пользоваться только аристотелевской логикой, представим интересующие нас суждения формулами этой логики, т. е. в виде « S есть P », « S не есть P ». В качестве субъекта обоих суждений выступает брдобрей, которого обозначим символом b . Предикат суждения D'_1 задается выражением «бреются сами». Обозначим этот предикат P_1 . Таким образом, D'_1 представлено в виде « b есть P_1 ». Предикат же суждения D_1 называется выражением «брить всех тех жителей деревни, кто не бреется сам, и себя». Пусть этот предикат обозначается P'_1 . Тогда формула второго суждения — « b есть P'_1 ». Очевидно, что непосредственный вывод D_1 из D'_1 по правилам аристотелевской логи-

ки невозможен, ибо нет такого умозаключения с одной посылкой, чтобы, взяв в качестве этой посылки D'_1 , получить в качестве вывода D_1 . Аналогично можно убедиться, что нет такого умозаключения, посылки которого принадлежат множеству из суждений В, С, Е и D'_1 , а выводом служит D_1 . Правда, для этого необходимо просмотреть все возможные в аристотелевской логике «схемы умозаключений. То же самое можно сказать и относительно D_2 . Таким образом, мы убеждаемся, что непосредственный вывод суждения « D_1 или D_2 » ни из суждений В, С, Е, D'_1 , ни из В, С, Е, D'_2 средствами «обычной аристотелевской логики» невозможен. Следовательно, пресловутая схема призвана скрыть целый ряд шагов вывода суждения « D_1 или D_2 » из указанных суждений, если, конечно, вообще такой вывод возможен. Вскоре мы убедимся, что этого вывода не существует, а теперь пойдем дальше и посмотрим на заключительную часть рассуждений А. А. Ханагова о парадоксе «Брадобрее». И в этой части рассуждения А. А. Ханагова несостоятельны. Наиболее существенная из допущенных им ошибок связана с тем, что как в D_1 , так и в D_2 не оговорено, что брдобрей бреет только тех жителей, которые указаны в этих суждениях. Поэтому не исключена возможность того, что брдобрей, удовлетворяя суждению D_1 (D_2), бреет все же и других жителей. По этой причине, а также в силу того, что не определено количество тех жителей, которых бреет брдобрей в соответствии с условием D (ибо неясно, бреет ли он себя), невозможны те сравнения количеств жителей, которых бреет брдобрей в соответствии с D_1 или D_2 , с одной стороны, и D — с другой. Наконец, если считать одним из предполагаемых суждений «всякий житель деревни бреется сам или его бреет брдобрей», и невозможно одновременно то и другое», то это значит предполагать само D (или, если угодно, A).

Сказанное означает, что аристотелевская логика не на стороне А. А. Ханагова. Но вполне возможно, что эта логика просто недостаточна для решения поставленных проблем, ибо в ее формализме субъект и предикат рассматриваются как единое целое без выявления их логической структуры. Призная значение аристотелевской логики, нельзя в анализе парадоксов отбрасывать результаты развития логической мысли на протяжении тысячелетий, которые прошли после появления работ Аристотеля. Естественно и целесообразно использовать средства математической ло-

гики, являющейся дальнейшим развитием традиционной формальной логики, в частности такой ее раздел, как классическое узкое исчисление предикатов, в котором принимается закон исключенного третьего. В самом деле, для любого жителя x деревни отношение « b бреет себя» определено, т. е. либо истинно, либо ложно в силу суждения B . Кроме того, без потери общности можно считать, что для любого жителя x определено отношение « b бреет x », ибо в противном случае можно исключить из рассмотрения всех тех жителей деревни, для которых это не так. Здесь и далее маленькие латинские буквы обозначают жителей деревни, а b — брадобрей. Пусть $R(x, x)$ и $R(b, x)$ для любого x обозначает соответственно « x бреет x », т. е. « x бреется сам», и «брадобрей бреет x ». Мы будем использовать обычные логические символы $\rightarrow, \vee, \&, \neg, (\forall x), (\exists x)$, которые обозначают соответственно связки «не», «или», «и», «если..., то...», «для всякого x из данной предметной области», «существует x из данной предметной области». Знак « $=$ » обозначает тождество элементов предметной области. Предметную область в случае парадокса «Брадобрей» составляют жители x деревни, для которых определены $R(x, x)$ и $R(b, x)$.

Достаточно записать суждения B и C в этих символах:

$$B: (\forall x)[R(x, x) \vee \neg R(x, x)], \\ C: (\exists x)[b = x],$$

чтобы сразу увидеть, что B тавтологично, а значит, B и C накладывают только одно ограничение: предметная область не пуста. Следовательно, предложение $D_1 \vee D_2$ может вытекать из $B \& C$, только если оно само тавтологично. В нашей символике эти предложения выглядят так:

$$D_1: R(b, b) \& (\forall x)[\neg R(x, x) \rightarrow R(b, x)], \\ D_2: \neg R(b, b) \& (\forall x)[x \neq b \rightarrow \neg R(x, x) \rightarrow R(b, x)].$$

Легко видеть, что $D_1 \vee D_2$ не тавтологично. Суждение B не может быть ложным ни при каких обстоятельствах. $D_1 \vee D_2$ будет ложным в том случае, если брадобрей будет брить и тех, которые бреются сами. Может быть так, что человек, вообще говоря, бреющийся сам, перед праздниками ходит к брадобрею.

Можно формально показать, что $D_1 \vee D_2$ нельзя вывести из $B \& C$. Для этого предположим, что брадобрей объявил забастовку и бреет только сам себя. Но жители деревни вследствие этого все же ее не покинули. Наше предположение не нару-

шит истинности B и C , ибо по-прежнему жители деревни будут делиться на тех, кто бреется сам, и тех, кто не бреется сам (суждение B), и брадобрей остается жить в деревне (суждение C). Однако оба суждения — D_1 и D_2 — перестанут быть истинными. В самом деле, поскольку брадобрей никого, кроме себя, не бреет, второй член конъюнкции в суждении D_1 оказывается ложным, а значит, ложной будет и вся конъюнкция в целом. В сущности же в D_2 будут ложными оба члена конъюнкции.

Таким образом, по правилам математической логики мы показали, что основной для рассуждения A . А. Ханогова вывод от истинности B и C к истинности $D_1 \vee D_2$ является несостоятельным.

Решая парадокс «Брадобрей», пытаются выйти из затруднения, сделав заключение о том, что такого брадобрея не может существовать. На этом основании ряд логиков называет затруднения «брадобрея» псевдопарадоксом². С этим не может согласиться такой видный логик, как С. К. Клини, считающий «брадобрея» настоящим парадоксом, от которого нельзя избавиться простой ссылкой на отсутствие в природе такого парикмахера³. Действительно, логическая структура основания рассуждений о брадобрее такова же, как в теоретикомножественной и логической формулировках парадокса Б. Рассела. Под логической структурой мы здесь имеем в виду формальную запись:

$$(\exists z)(\forall x)[R(z, x) \rightarrow \neg R(x, x)],$$

где интерпретация R для парадокса «Брадобрей» дана выше, а для парадокса Б. Рассела $R(z, x)$ обозначает « x является элементом z ». Поэтому рассуждения автора по поводу «Брадобрея» одинаково (с тем же успехом) применимы к парадоксу Рассела в наивной теории множеств (если, правда, обойтись без подсчетов количества элементов множеств). Однако, отвергая сходство структур того и другого парадокса, возникающее, по его мнению, вследствие «грубости» моделей реального мышления, исследуемых математической логикой, А. А. Ханогов «избавляется» от парадокса Рассела совсем другим способом. Здесь не повезло понятию множества, содержащего себя в качестве элемента, которое объявлено «подозрительным». Нетрудно показать, что это понятие (именно как абст-

² Карри Х. Оснований математической логики. М.: Мир, 1969, с. 22; Френкель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. М.: Мир, 1966.

³ Клини С. К. Введение в метаматематику. М.: Инostr. лит., 1957, с. 40

рактное понятие) имеет столько же прав на жизнь, как и противоположное ему понятие множества, не содержащего себя в качестве элемента.

Действительно, если множество M не обладает свойством «не содержать себя в качестве элемента», то на основании закона исключенного третьего M содержит себя в качестве элемента.

По мнению А. А. Ханагова, любой пример «из жизни», иллюстрирующий понятие «множества Рассела», содержит логическую ошибку, и поэтому «находится в компетенции аристотелевской логики» (с. 122). У нас нет оснований сужать сферу компетенции аристотелевской логики, которая может оперировать понятием «множества Рассела» так же, как и современная математическая логика. Однако утверждение А. А. Ханагова о логической ошибке в любом примере рассматриваемого понятия, в том числе и в таких, которые будут приведены в грядущие столетия, является слишком сильным, чтобы оно могло быть обосновано. А. А. Ханагов должен был бы перебрать все возможные примеры, в том числе и те, которые будут приведены в будущем. Ясно, что этого он не может сделать. Поэтому свой вывод обо всех примерах он делает на основе всего лишь одного примера каталога книг, включающего в себя и сам этот каталог. Этот пример приведен в опубликованной в журнале «Природа» (1969, № 4) статье П. Козна и Р. Херша «Неканторовская теория множеств».

Допустим, что каталог книг некой библиотеки оформлен в виде книги. Она так и называется: «Каталог». А. А. Ханагов утверждает, что «каталог есть содержание этой книги, а не название книги». Но ведь и каталог может называться «Каталогом», так же как таблица логарифмов может называться «Таблицей логарифмов». В названии может быть вполне адекватно передано содержание. И ссылка на каталог как на содержание не отменяет того, что каталог может быть названием книги, представляющей собой множество названий книг, включающих в себя и название «Каталог книг». Множество-каталог, получаемое таким образом, и будет примером множества Рассела. Поэтому данный пример вполне достигает своей иллюстративной цели.

Можно привести и другие иллюстрации множества Рассела, например «множество всех множеств», «множество всех множеств, определяющихся семью русскими словами», и т. д. Но даже если бы

нельзя было привести ни одного примера, все равно это не означало бы, что этим понятием нельзя оперировать. Никто не может указать ни одной точки пересечения параллельных линий, тем не менее запрет оперировать понятием «точка пересечения параллельных линий» нанес бы серьезный ущерб проективной геометрии. А запрет на использование «пустых классов» вообще принес бы большой вред науке в целом. Но пойдем на дальнейшие уступки. Пусть понятие «множества Рассела» — действительно подозрительное, «вредное» понятие. Но ведь все дело в том, что парадокс Рассела основан не на нем, а на прямой его противоположности — на понятии множества всех множеств, не содержащих себя в качестве элемента, т. е. его формулировка вовсе не содержит понятие «множество Рассела». А уж понятие множества, не содержащего себя в качестве элемента, во всяком случае не пусто.

Перейдем теперь к парадоксу «Лжец». Его иногда называют семантическим потому, что в формулировку входит понятие ложности высказывания, относящееся к семантике языка. Существуют различные формулировки, связанные с этим парадоксом. Некоторые из этих формулировок на самом деле не выражают парадокса, ибо рассуждения, связанные с ними, действительно содержат логические ошибки. Но эти ошибки были обнаружены давным-давно и привели к изменению формулировок таким образом, что эти формулировки выражают действительно парадоксальную ситуацию. Формулировка, рассматриваемая А. А. Ханаговым, приписывается критику философу Эпимениду (VI в. до н. э.). «Все критяне лжецы», — сказал критянин Эпименид». Это высказывание не приводит к парадоксу, поскольку здесь не возникает логического противоречия. В самом деле, если Эпименид прав, то утверждение «все критяне лжецы» — истинно. Но в таком случае Эпименид, как критянин, лжет. Значит, утверждение «все критяне лжецы» — ложно. И вот это все, что мы доказали. Дальше дороги нет, без логической ошибки. Ибо, если бы мы сделали вывод: «значит, все критяне не лжецы», то это был бы вывод от ложности общеутвердительного суждения и истинности общеотрицательного, запрещаемый правилами аристотелевской логики. Формулировка Эпименида представляет интерес не своей логической парадоксальностью, а тем, что здесь чисто логическим путем доказывается факт существования критянина, говорящего правду.

Поскольку вывод от ложности суждений формы «все S суть P » к истинности «ни одно S не есть P » неправилен, независимо от конкретного содержания предиката P , то вопрос об уточнении содержания понятия «лжец», рассматриваемый А. А. Ханаговым, не имеет значения для выявления логической ошибки. Кстати, неверно, что никто не различает разные типы лжецов. Так, различие лжецов, которые иногда говорят правду, и лжецов, которые говорят только ложь, приведено в хорошо известной книге С. К. Клини⁴.

Логического парадокса не возникает, если рассматривать суждение «некто сказал — я лжец». Она легко приводится к схеме Эпименида. Если «лжецы» понимаются, по Клини, как лжецы второго рода, по А. А. Ханагову — как абсолютные, то «я лжец» означает «все мои суждения ложны».

Это суждение имеет ту же форму «все S суть P », что и «все критяне — лжецы». Если это суждение истинно, то оно же и ложно, т. е. ложно, что «все мои суждения ложны». Отсюда без логической ошибки нельзя сделать вывода о том, что «все мои суждения не ложны», ибо этот вывод был бы выводом от ложности общеутвердительного суждения к истинности общеотрицательного, как и в случае формулировки Эпименида.

Если слово «лжец» понимать в «неидеальном смысле», т. е. как «некоторые суждения ложны», то парадокс опять-таки не возникает, ибо такое суждение не дает основания для вывода об истинности или ложности какого-либо конкретного суждения.

Таким образом, с формулировками, разбираемыми А. А. Ханаговым, действительно не связаны логические парадоксы в смысле возникновения внутреннего противоречия, но это всем известно, и он, по сути дела, открывает дверь, открытую еще до нашей эры.

Парадоксы связаны с иными формулировками. Так, формулировка Эпименида дает логический парадокс при одном чрезвычайно сильном допущении, а именно, что высказывание Эпименида было единственным, которое когда-либо произносили критяне⁵.

Другая формулировка реального логического парадокса, хорошо известная уже в древности, была дана Эвбулидом (IV в.

до н. э.). Она имеет вид: «высказывание, которое я сейчас произношу, ложно». Чтобы устранить побочные недоразумения, в современной логике принято заключать в рамку высказывание, утверждающее свою собственную ложность, или же указывать его точный адрес. Вот по поводу этих формулировок и идет многовековая дискуссия. С ними связаны горы литературы. И не зря, ибо методологическое значение парадокса «Лжец» трудно преувеличить. Иногда оно положительно. Например, общая идея построения в доказательстве знаменитой теоремы Гёделя о неполноте весьма напоминает конструкцию, лежащую в основе парадокса «Лжец»⁶. Однако с парадоксом «Лжец» связаны и величайшие трудности. О них красочно сказал А. Тарский: «Антиномия лжеца впервые появляется в нашей дискуссии как разновидность злой силы, обладающей большой разрушительной энергией. Она принуждает отклонять все попытки прояснения понятия истины для естественных языков и заставляет ограничиться формализованными языками научного рассуждения»⁷.

К сожалению, в статьях А. А. Ханагова и А. Г. Маленкова идет борьба не с этой злой силой, а, скорее всего, с ветряными мельницами.

Итак, мы убедились в том, что статья А. А. Ханагова не доказывает тезиса о том, что логические парадоксы являются следствием формально-логических ошибок. Какова же в таком случае их природа? Какой ответ может быть дан на поставленный выше вопрос о причинах того, почему парадоксы столь длительное время не находят общепринятого решения?

Болгарский философ С. Петров⁸ в своем фундаментальном труде, посвященном выяснению природы парадоксов, полагает, так же как и ряд наших философов, что сформулированный еще Аристотелем закон, запрещающий противоречие, не является универсальным ни в онтологическом, ни в гносеологическом плане (так называемый «тезис Гегеля»). Большинство противоречий, возникающих в мысли, является следствием ошибок, но некоторые являются истинами, отображающими противоречивость самой действительности. «Противоречия-ошибки устраняются срав-

⁴ Там же, с. 42.

⁵ Там же.

⁶ Манин Ю. И. Теорема Гёделя. — Природа, 1975, № 12, с. 80.

⁷ Тарский А. — Вопросы философии, 1972, № 8, с. 145.

⁸ Петров Сава. Логическите парадокси във философска интерпретация. София, 1971, с. 339.

нительно легко и быстро забываются, в то время как устранение противоречий-истин часто требует многих десятилетий и даже столетий⁹. Таким образом, ответ на вопрос о причинах трудностей в решении парадоксов дается здесь четкий. Однако нет ответа на другой вопрос: почему же все-таки любые противоречия в познании — не только ошибки, но и истины — следует устранять, и в конце концов, несмотря на все трудности, они все же устраняются? Петров пишет: «Противоречия-истины нужно во что бы то ни стало устранить на общем основании с противоречиями-ошибками, чтобы научная теория могла существовать как законная и целостная система. Наличие хотя бы одного логического противоречия в данной теории делает возможным, согласно закону Дунса Скотта, принятого в одинаковой мере в стандартной (классической) и в большинстве нестандартных логик, выведение произвольного верного или неверного утверждения»¹⁰.

С этим нельзя не согласиться, равно как и с тем, что противоречивая теория негодна не только с логической, но и с практической точки зрения. Но в таком случае нарушается основной принцип теории отражения, согласно которому законы мышления суть отражения законов бытия. Если в самой действительности нарушается закон противоречия, то с теорией отражения скорее согласуется не элиминация парадоксов, а, наоборот, их введение в теорию.

Нам представляется более правильным то понимание природы парадоксов, которое выражено в работе известного советского логика А. С. Ахманова. Анализируя апории Зенона, он пишет: «Логический интерес этих парадоксов состоит в том, что в их основе, как и в основе многих других парадоксов, лежит попытка осмыслить новый факт в категориях и понятиях, отражающих старый опыт и старые факты. Поэтому новое осмысливается в понятиях недостаточных или даже категорически чуждых новому опыту и новым фактам.

Таково свойство наших понятий, что они всегда отражают какой-то определенный и ограниченный опыт и поэтому неспособны к бесконечному расширению. Попытка распространить их приложение за пределы того опыта, отражением которого они являются, часто оказывается причиной того, что новый опыт осмысливается в чуж-

дых ему категориях, и это порождает парадоксы, которые могут быть устранены в том случае, если будут найдены новые понятия, отражающие новый опыт»¹¹.

Отображение действительности в сознании человека осуществляется в двух основных формах — понятий и суждений. Отражение в форме понятий имеет более сложный, опосредованный характер, чем в форме суждений. Когда знание непосредственно сопоставляется с действительностью, то оно обязательно должно быть выражено в виде тех или иных суждений. Если речь идет о проверке теории, то непосредственно проверяемые на опыте суждения являются следствиями других, более фундаментальных положений теории. Ложность или неточность последних приводит к противоречию с опытом. Это противоречие может быть устранено путем уточнения отдельных положений теории с сохранением ее концептуальной основы. Например, могут быть уточнены значения тех или иных констант. В конечном счете, противоречий с фактами может возникнуть так много, что их устранение приводит к появлению внутренних противоречий самой теории. Нарушается ее логика. Возникают логические парадоксы. Их устранение — неизмеримо более трудная вещь, чем устранение внешних противоречий, ибо оно требует изменения всей концептуальной основы теории. Чем глубже парадокс, тем более радикальной перестройки концептуального аппарата требует его устранение. Навивно полагать, что запрет употребления того или иного «подозрительного» понятия решает проблему. Зачастую элиминация какого-либо из понятий, связанных с парадоксом, приводит, в конечном счете, к большим трудностям, чем те, которые представляет сам парадокс.

Решение парадоксов зачастую требует серьезного преобразования целой системы логико-гносеологических понятий¹². Решение может быть принято или нет в зависимости от того, к каким результатам приведет указанное преобразование в контексте более широком, чем непосредственно задача элиминации парадокса. Но нужно иметь в виду, что и в новой понятийной системе могут возникнуть новые парадоксы, которые также необходимо будет исключать. Такова диалектика процесса познания.

¹¹ Ахманов А. С. Логическое учение Аристотеля. М.: Соцэкгиз, 1960, с. 22.

¹² Уемов А. И. — Вопросы философии, 1976, № 8.

⁹ Там же, с. 346.

¹⁰ Там же, с. 344.

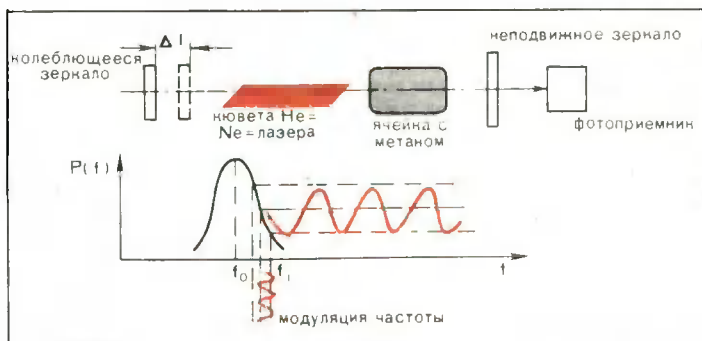
Физика

Измерение сверхмалых перемещений

Для решения многих практических задач необходимо очень точно измерять чрезвычайно малые перемещения. Так, например, для обнаружения гравитационных волн требуется измерять амплитуду колебаний приемных антенн порядка 10^{-17} — 10^{-19} см, т. е. нужны методы измерений, позволяющие фиксировать длины, близкие к предельным значениям, определяемым законами квантовой механики.

В СССР такая задача успешно решается радиофизическими методами в Институте теплофизики СО АН СССР¹ и в Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова². В Институте теплофизики с использованием лазерной³ техники разработан метод так называемых узких оптических резонансов, позволивший уже в первых экспериментах уверенно регистрировать при комнатной температуре перемещения величины $6 \cdot 10^{-14}$ см. Основная часть установки представляла собой лазер с введенной внутрь его резонатора ячейкой с метаном. Одно из зеркал резонатора, закрепленное на пьезокерамическом элементе, питаемом от звукового генератора, приводилось в колебательное движение, очень малая амплитуда которого и регистрировалась в опыте.

Метан пропускает световое монохроматическое излучение лишь в очень узких, поряд-



Схема, поясняющая метод узких резонансов (вверху). $\Delta l = \Delta l_0 \sin \Omega t$; выделение «полезного» сигнала (внизу); $P(f)$ — выходная мощность лазерного излучения, f — рабочая частота, $f = f_1 + \Delta f \cdot \sin \Omega t$, где $\Delta f \sim \Delta l_0$.

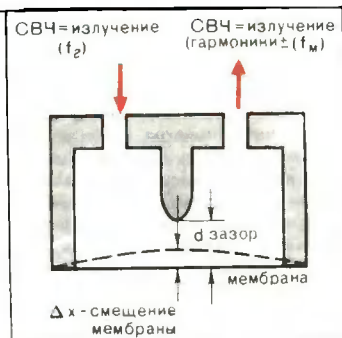


Схема действия резонатора с мембраной.

ка 10^4 Гц, интервалах частот вблизи некоторых их дискретных (резонансных) значений; лазер работал на длине волны 3,39 мкм, соответствовавшей одному из таких резонансов. С помощью специальной схемы рабочая частота лазера могла плавно изменяться в пределах ширины линии выбранного резонанса, а в эксперименте устанавливалась в области ее максимальной крутизны. При такой настройке мощность излучения лазера сильно менялась за счет уси-

ния или ослабления поглощения света метаном уже при небольших вариациях рабочей частоты. Изменения рабочей частоты создавались малыми продольными колебаниями зеркала на пьезоэлементе. Колебания частоты модулировали выходную мощность лазерного излучения, причем амплитуда этой модуляции была пропорциональна амплитуде колебаний зеркала. Колебания интенсивности излучения лазера регистрировал фотоприемник.

Применив аналогичную методику в СВЧ-диапазоне и используя оригинальную радиосхему, группа физиков МГУ во главе с В. Б. Брагинским недавно зарегистрировала амплитуду колебаний ниобиевой мембраны порядка $2 \cdot 10^{-17}$ см. Измерения проводились при температуре жидкого гелия ($T=4,2$ К): генератор СВЧ-колебаний, резонатор с подвижной тонкой стеной-мембраной, выполненный целиком из ниобия, и приемник полезного сигнала находились в гелиевом криостате. Сферический резонатор генератора был сделан из сапфира, на поверхность которого была нанесена пленка ниобия. Поскольку при $T=4,2$ К ниобий является сверхпроводником и электрическое поле в нем не затухает, специальная радиосхема с антисейсмической и акустической изоляцией позволила создать СВЧ-генератор с чрезвычайно узкой и стабильной спектральной линией. Узкую резонансную

¹ Багаев С. Н., Дычков А. С., Чеботарев В. П. — Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, № 2, с. 85.

² Брагинский В. Б., Панов В. И., Попельник В. Д. — Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, № 8, с. 423.

линию имел и необычный резонатор с подвижной стенкой-мембраной.

Излучение от генератора с частотой $f_r = 3$ ГГц вводилось в резонатор с мембраной, причем, как и в методе узких оптических резонансов, частота генератора устанавливалась на имеющийся наибольший крутизна участок резонансной кривой. Расстройка линии излучения генератора относительно центра резонансной кривой составляла 8 кГц. Возбуждавшиеся специальным устройством колебания мембраны меняли ширину зазора d и тем самым модулировали с частотой f_m мощность выходящего из резонатора излучения. В результате спектр выходящего излучения содержал помимо основной частоты f_r также две боковые компоненты с частотами $(f_r \pm f_m)$, интенсивность которых зависела от амплитуды Δx колебаний мембраны. Затем сигнал от резонатора пропускался через фильтр, отделявший полезный сигнал на частоте f_m от «несущего» сигнала на частоте f_r и шумов, обусловленных тепловыми колебаниями мембраны с частотой 40 кГц (при $T = 4,2$ К их амплитуда составляла $2 \cdot 10^{-14}$ см). Для увеличения чувствительности и уменьшения уровня шумов в полезном сигнале производилось его последующее усреднение в течение 10 с. Обработка данных дала информацию об амплитуде колебаний мембраны.

В. Ф. Чельцов,
кандидат физико-математических наук

Москва

Физика

Исследование жидких металлов с помощью синхротронного излучения

На накопителе ВЭПП-3 Института ядерной физики СО АН СССР (Новосибирск) осуществлены первые эксперименты по применению синхротронного излучения для дифракционных исследований

жидких металлов, в частности жидкого галлия. Магнитная система накопителя рассчитана на получение электронов с энергией от 2 до 3,5 ГэВ; вертикальный размер пучка синхротронного излучения составляет 0,1 мм, ширина пучка — 2 мм. Для получения дифракционных картин использовался метод отражения монохроматизированного ($\lambda = 0,9716$ Å) пучка синхротронного излучения от вертикальной поверхности галлия, залитого в тефлоновую капсулу с двумя стенками из тонкой лавсановой пленки (толщиной 10 мкм). Детекторы регистрировали синхротронное излучение, отраженное от поверхности галлия.

Применение синхротронного излучения к анализу жидких металлов показало перспективность нового метода, дополняющего дифракционные исследования с использованием рассеяния рентгеновских лучей, нейтронов и электронов. Так, дифрактограммы жидкого галлия, полученные перечисленными методами, хорошо согласуются между собой, но при этом на дифрактограмме, полученной с помощью синхротронного излучения, очень четко проявляется излом на так называемой нисходящей ветви дифрактограммы. Этот излом обычно связывают с сохранением направленных ковалентных связей в расплаве при небольшом перегреве его над точкой плавления. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что одинаковая статистическая точность при получении дифрактограмм была достигнута для пучка нейтронов при экспозиции в 5,5 ч и для синхротронного излучения при экспозиции всего в 1 мин. В дальнейшем применение синхротронного излучения позволит снизить длительность экспозиции до 2 с, а это означает возможность постановки новых аналитических задач, например исследования динамики изменения структур в процессах плавления и кристаллизации и других фазовых переходов. Широкий диапазон длин волн синхротронного излучения (от 0,5 до 5 Å) дает возможность в одном эксперименте получать дифрактограммы в широком диапазоне углов рассеяния, а это

крайне важно для изучения характера межионных взаимодействий в жидких металлах.

Доклады АН СССР, 1981, т. 257, № 3, с. 601.

Физика

Сплавы с высокотемпературной памятью формы

Хорошо известно, что некоторые сплавы после предварительной деформации восстанавливают свою первоначальную форму при нагреве до определенных температур. Такая память формы обусловлена аномально большой обратимостью деформации, что происходит в основном при мартенситных превращениях. Температура проявления памяти связана с интервалом температур мартенситного перехода, а обратимость деформации — с характером структурных превращений и упругими свойствами сплавов. Чем больше величина обратимой деформации и температурный диапазон проявления памяти, тем шире используются такие сплавы в технике и медицине. К лучшим современным материалам, которые при нагреве практически полностью восстанавливают свою форму даже после 6—8-процентной деформации, относятся β-латуни, AuCd, CuAlNi и TiNi. Однако все они проявляют память при температурах не выше 100—150° С.

Сотрудники Сибирского физико-технического института (Томск) и Института металлургии им. А. А. Байкова АН СССР получили новые сплавы TiNi_{1-x}Pd_x, эффект памяти у

¹ Мартенситное превращение — фазовый переход, при котором изменение взаимного расположения составляющих кристалл атомов (или молекул) происходит путем их упорядоченного перемещения, причем относительные смещения соседних атомов малы по сравнению с межатомным расстоянием.

которых приходится на область значительно более высоких температур (до 500° С). Методом индукционной плавки во взвешенном состоянии оказалось возможным приготовить сплавы, в которых x меняется от 0 до 1. У этих сплавов, подвергнутых деформации, была найдена четкая выраженная зависимость температурного интервала, в котором происходит интенсивный возврат формы, от состава сплава. С повышением содержания TiPd в системе (в пределах от 25 до 100 мол. %) температура, при которой проявляется память формы, увеличивается до 500° С, причем наблюдается практически полное восстановление формы после значительной предварительной деформации (4—5%). Но у сплавов, бедных палладием (~5 ат. %), температура, при которой происходит восстановление формы, ниже, чем у чистого TiPd. Это связано с тем, что в сплавах с низким содержанием палладия мартенситный переход является двухстадийным.

Сплавы $TiNi_{1-x}Pd_x$ могут найти широкое применение в технике, так как температура, при которой происходит восстановление формы, меняется у них плавно в широком диапазоне.

Доклады АН СССР, 1981, т. 257, № 1, с. 167.

Физика

Изучаются распады Υ -мезона

Группа ученых Польши, США, Франции, Израиля и ФРГ, работающая на электрон-позитронном накопительном кольце «DORIS» (Гамбург, ФРГ), измерила ширину и относительную вероятность различных каналов распада Υ -мезона (9,46 ГэВ). Исследование свойств семейства Υ -мезонов¹ создает основу для проверки многих моделей, ранее применявшихся для описания чармония. Особый интерес представляет определение ха-

рактеристик различных каналов распада² Υ -мезонов.

В основном Υ -мезон распадается на другие адроны, преимущественно очарованные (ширину этого канала обозначают Γ_h). Но возможны и чисто лептонные распады Υ на e^+e^- , $\mu^+\mu^-$ и $\tau^+\tau^-$. Лептоны e , μ и τ различаются лишь массами, однако при распадах гораздо более тяжелых Υ -мезонов это различие несущественно. Поэтому должны совпадать парциальные ширины ($\Gamma_{ee} = \Gamma_{\mu\mu} = \Gamma_{\tau\tau}$) и относительные вероятности ($B_{ee} = B_{\mu\mu} = B_{\tau\tau}$) всех лептонных каналов распада Υ -мезонов. Тогда полная ширина распада Υ -мезонов описывается выражением $\Gamma_{tot} = \Gamma_h + 3\Gamma_{ee}$.

Измерения адронных сечений и относительной вероятности распада на пару $\mu^+\mu^-$ позволили определить парциальную Γ_{ee} и полную Γ_{tot} ширины распадов Υ -мезона:

$$\begin{aligned}\Gamma_{ee} &= 1,23 \pm 0,10 \pm (0,14) \text{ кэВ}, \\ &\quad + 25(+9) \\ \Gamma_{tot} &= 35 \text{ кэВ}, \\ &\quad - 10(-7) \\ B_{\mu\mu} &= [3,5 \pm 1,4 \pm (0,4)] \%\end{aligned}$$

(здесь первой указана статистическая, а в скобках — систематическая ошибки эксперимента).

До сих пор относительная вероятность лептонного распада мало отличалась от нуля; так, согласно таблице элементарных частиц 1980 г., $B_{ee} = (2,5 \pm 2,1) \%$, $B_{\mu\mu} = (2,2 \pm 2,0) \%$. В соответст-

вии с новыми измерениями, $B_{\mu\mu}$ отличается от нуля более чем на два стандартных отклонения. Точнее измерена также полная ширина распада; ранее существовала лишь оценка $\Gamma_{tot} \sim 60 \text{ кэВ}$. Уточнено также значение массы Υ -мезона: $M_\Upsilon = 9461,6 \pm 0,6 \pm (10) \text{ МэВ}$.

Используя полученные данные, авторы установили новое значение константы связи сильных взаимодействий α_s , которая определяет эффективную силу кварк-глюонных взаимодействий: $\alpha_s = 0,16^{+0,04}_{-0,02} (\pm 0,01)$. До

сих пор значение α_s принималось равным $0,17 \pm 0,03$. Определение эффективной константы взаимодействия глюонов с кварками имеет исключительное значение. Теория утверждает, что α_s зависит от расстояния, т. е. от энергии взаимодействия. Рост α_s на больших расстояниях должен приводить к «запиранию» кварков в адронах. Поэтому изучение поведения α_s может пролить свет на самые фундаментальные проблемы физики.

Physical Review Letters, 1981, v. 46, № 2, p. 92 (США).

³ Rev. Mod. Phys., 1980, v. 52, № 2.

⁴ CERN Cour., 1980, v. 20, № 8, p. 347.

Физика

«Прелестные» частицы обнаружены

Ряд исследовательских групп в Европе и США сообщили о наблюдении сигналов, свидетельствующих о существовании «прелестных» частиц — мезонов и барионов.

Как известно, носителем квантового числа «прелести» являются b -кварки, введенные в науку после открытия в 1977 г. Υ -мезонов¹. Так как b -кварки входят в Υ -мезоны в комбинации $b\bar{b}$, а знаки всех квантовых

² Основным параметром, характеризующим распад частицы, является полная ширина распада Γ_{tot} , связанная с временем жизни частицы соотношением $\tau = 1/\Gamma_{tot}$. Ширина имеет ту же размерность, что и энергия. Как обычно, используются единицы $\hbar = c = 1$, в которых $1/\text{эВ} \approx 6,58 \cdot 10^{-16} \text{ с}$. Аналогичная характеристика (так называемая парциальная ширина Γ_i) вводится и для отдельного канала распада¹, так что $\Sigma \Gamma_i = \Gamma_{tot}$, и сумма

берется по всем возможным каналам распада. Относительная вероятность B_i данного канала показывает долю случаев этого распада среди всех возможных; B_i измеряется в процентах, $\Sigma B_i = 100\%$. Относительная вероятность и парциальная ширина связаны соотношением $B_i = (\Gamma_i/\Gamma_{tot}) \cdot 100\%$.

¹ Об Υ -мезонах см.: Природа, 1978, № 1, с. 137; 1979, № 2, с. 105; 1981, № 3, с. 108.

¹ Подробнее об Υ -мезонах см.: Природа, 1979, № 2, с. 105.

чисел кварка и антикварка противоположны, то сами $\bar{Y}$ -мезоны «прелестные» не обладают. Поэтому велись поиски частиц, содержащих один b -кварк в комбинации с обычными кварками, поскольку «прелесть» таких частиц обнажена.

Ранее косвенное свидетельство существования «прелестных» мезонов было получено на встречных e^+e^- -пучках «CESR» в Корнеллском университете (США) при изучении свойств $\bar{Y}'''$ -мезона². Эта частица имеет в несколько раз меньшее время жизни, нежели другие члены $\bar{Y}$ -семейства. Объясняется это тем, что из-за ее большой массы ($\approx 10,55$ ГэВ) становятся возможными дополнительные каналы распада, среди которых доминирует распад $\bar{Y}'''$ на пару мезонов B и $\bar{B}$ (здесь B обозначает «прелестный» мезон, являющийся связанным состоянием b -кварка с 0 - или $\bar{c}$ -кварками).

В новых экспериментах, проведенных в Корнеллском университете двумя группами исследователей, была сделана попытка зафиксировать существование B -мезонов по их распадам. Распады B -мезонов должны происходить в основном вследствие взаимодействия заряженных токов, при котором b -кварк распадается на очарованный c -кварк и другие кварки либо на пару лептон — нейтрино: $b \rightarrow c\bar{u}d$ или $b \rightarrow c\bar{e}\nu$. Тогда, например, B^+ -мезон ($b\bar{u}$) может распадаться на очарованный D^0 -мезон ($c\bar{u}$), электрон и соответствующее антинейтрино. Именно такие распады $B \rightarrow D\bar{e}\nu$ исследовались в корнеллских экспериментах. Поскольку масса B -мезонов (~ 5 ГэВ) существенно больше массы очарованных D -мезонов (~ 2 ГэВ), то рождающиеся в таких распадах лептоны должны нести большую энергию. Отсюда следует основная идея экспериментов: необходимо изучать столкновения электрон-позитронных пучков при энергии образования $\bar{Y}'''$ и искать среди продуктов реакций лептоны с большой (> 1 ГэВ) энергией. Обнаруженный в сечении такого процесса пик рас-

считывался исследователями как доказательство присутствия слабопадающей частицы, т. е. B -мезона. Относительные вероятности полупертоновых каналов распада «прелестных» мезонов составили $(9,4 \pm 3,6)\%$ для распада $B \rightarrow D\bar{u}\nu$ и $(13 \pm 3)\%$ для распада $B \rightarrow D\bar{e}\nu$.

Европейские физики (ЦЕРН, Женева), изучая столкновения встречных протонных пучков на установке «ISR», обнаружили родившийся в pp -столкновениях легчайший «прелестный» барион Λ_b с кварковым составом (udb). Этот барион электрически нейтрален, его масса составляет $5,425 + 175 - 75$ МэВ.

Он построен подобно странному бариону $\Lambda^0(1115$ МэВ), кварковый состав которого (uds). Вследствие распада $b \rightarrow c\bar{d}u$ и возможности дополнительного рождения кварк-антикварковой пары ($u\bar{u}$), Λ_b может распадаться на протон $p(uud)$, очарованный мезон $D^0(c\bar{u})$ и π^- -мезон ($d\bar{u}$); в свою очередь D^0 -мезон распадается на пару мезонов K^- и π^+ . В эксперименте изучался спектр масс конечного состояния. Поскольку при значении массы $5,425$ ГэВ число событий резко возросло, то исследователи и сделали вывод, что ими открыт Λ_b -барион. Были получены также данные о распаде Λ_b на очарованный барион Λ_c и три пиона. Имеются основания полагать, что существуют и другие «прелестные» барионы, обладающие электрическим зарядом, масса которых примерно на 300 МэВ тяжелее массы нейтрального Λ_b — бариона.

Physical Review Letters, 1981, v. 46, No 2, p. 84, 88 (США); CERN Courier, 1981, v. 21, p. 207 (Швейцария).

Физика

Кристаллы метана

Группа сотрудников геофизической лаборатории Института Карнеги (США) впервые вырастила монокристалл метана при комнатной температуре и давлении 15 кбар. Для полу-

чения кристаллического метана капля предварительно сжиженного газа впрыскивалась в цилиндрическую камеру диаметром 300 мкм и высотой 250 мкм. Оба основания такого цилиндра представляют собой грани двух алмазных кристаллов, при подаче которых навстречу друг другу внутри камеры создается высокое давление.

С помощью съемки кристалла метана в рентгеновском дифрактометре установлена его кубическая симметрия, сохраняющаяся при повышении давления до $52,1$ кбар, после чего прозрачный и бесцветный монокристалл быстро превращается в поликристаллический агрегат. В результате получения и исследования подобных твердых «газов» установлено, что от различных типов материалов их отличает чрезвычайно высокое объемное сжатие $\Delta V/V$ (V — молярный объем соответствующего вещества при 20°C и давлении «замерзания»), превышающее 40% на 100 кбар. Предполагается, что данные подобных экспериментов окажутся полезными в решении ряда проблем физики твердого тела.

Applied Physics Letters, 1980, v. 37, p. 288—289 (США).

Энергетика

Поиски новых источников энергии

В связи с энергетическим кризисом во многих странах ведется сейчас поиск новых источников энергии. По мнению специалистов компании «Болиден» (Швеция), одним из перспективных заменителей нефти может стать искусственное жидкое топливо карбогель. Оно изготавливается из угольного порошка, предварительно очищенного от золы, тяжелых металлов и серы, который затем смешивается с водой и мыльным веществом, образующим однородную суспензию. Получающаяся жидкость напоминает густую нефть; она взрывобезопасна,

² Об открытии и свойствах $\bar{Y}'''$ -частицы см.: Природа, 1981, No 3, с. 108.

может храниться сколь угодно долго и перекачиваться по трубам на любые расстояния. Хотя теплотворная способность карбогеля меньше нефти на 60%, он сгорает более «чисто», причем для его сжигания нужны, по существу, те же форсунки, что и для нефти. Применение карбогеля может снизить импорт в Швецию нефти на треть и более.

В Индонезии начала осуществляться программа строительства приблизительно двух тысяч заводов, производящих этиловый спирт из плодов маниоки и батата, в изобилии произрастающих в стране. Этим решается задача как замены нефти спиртовым горючим, так и прекращения миграции населения из сельских районов в города. Пуск в каждом из сельскохозяйственных районов одного завода мощностью 10 млн л спирта в год должен обеспечить как рынок сбыта сырья, так и занятость населения. Первая опытная установка должна заработать в 1983 г.

Европейское общество по космическим исследованиям поручило фирме «Гидронамик» (Дания) разработку проекта постройки в Северном море искусственного острова с системой антенн для приема электроэнергии, посылаемой с орбитальной солнечной электростанции. Передачу энергии планируется осуществлять с помощью лазера или направленных потоков СВЧ-излучения. Стоимость такой станции мощностью в 5 ГВт оценивается в 15 млрд долл., а стоимость искусственного острова площадью от 100 до 200 км² составит 1—4 млрд долл. Цена одного киловатт-часа электроэнергии должна равняться стоимости энергии, даваемой действующими атомными электростанциями¹.

«New Scientist», 1981, v. 81, № 1238, p. 282; № 1239, p. 340—341 (США).

¹ В сообщении не указано, учитывался ли при оценке стоимости этого проекта тот факт, что лазерное излучение будет сильно поглощаться земной атмосферой и, кроме того, лазерный пучок будет расходиться. Все это может привести к значительному удорожанию проекта. (Прим. ред.)

Техника

Кристалл измеряет давление крови

Существующие методы измерения кровяного давления часто вызывают нарекания физиологов и медиков из-за низкой точности и малой оперативности. Развитие микроэлектроники позволило создать ряд приборов, в значительной мере лишенных этих недостатков. К их числу относится миниатюрный катетерный датчик давления, разработанный в Московском инженерно-физическом институте под руководством В. И. Ваганова.

Датчик смонтирован на конце катетера. Его основные элементы — кремневый кристалл и крышка из того же материала. Кристалл представляет собой прямоугольную пластинку размерами 8×2×0,3 мм, на которой вытравлена тонкая квадратная мембрана размерами 1×1×0,02 мм. На мембране расположены четыре интегральных тензорезистора, объединенных в мостовую схему. Необходимый профиль мембраны и тензорезисторы получают с помощью локального анизотропного травления. С помощью крышки, присоединенной к кристаллу, создается замкнутая герметичная полость. Изготавливаются датчики избыточного или абсолютного давления: в первом случае полость герметизируется при фиксированном давлении, во втором — в вакууме.

Для физиологов и врачей представляет интерес величина кровяного давления, измеренная непосредственно относительно атмосферного. В этом случае крышка образует над мембраной незамкнутую полость, в которую через щель между кристаллом и крышкой подается атмосферное давление.

Датчик позволяет измерять давление в пределах от 100 до 300 мм рт. ст.

Опытные образцы катетерных датчиков испытывались в макете искусственного кровообращения, а также в экспериментах по измерению кровяного давления в различных областях

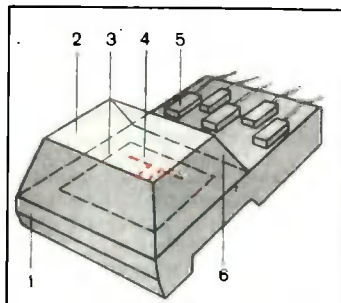


Схема катетерного датчика: 1 — кремневый кристалл, 2 — крышка, 3 — основание полупроводниковой мембраны, 4 — тензорезисторы, 5 — контактные площадки, 6 — съемная часть крышки.

сосудистого русла животных. Исследования показали, что датчики обладают хорошими метрологическими характеристиками и пригодны как для физиологической, так и для медицинской практики.

Размеры тензомодуля катетерного датчика не являются предельными для интегральных приборов подобного типа, их можно уменьшить в несколько раз — до 1 мм и менее.

Приборы и системы управления, 1981, № 1, с. 18—20.

Молекулярная биология

Процессы восстановления ДНК после облучения

Как известно, повреждение молекул ДНК, несущих генетическую информацию, может привести к весьма тяжелым последствиям; так, соматические клетки трансформируются в злокачественные, а повреждение ДНК половых клеток может привести к непроизвольным абортam, а также к природным физическим недостаткам у потомства. Однако в клетках существуют определенные механизмы, позволяющие в ряде случаев частично, а иногда и полностью восстанавливать нарушения их генетического аппарата, причем главную роль в процессах восстановления играют спе-

циальные ферменты. Но вот сперматозоиды лишены таких ферментов, и тем не менее повреждения их генетического аппарата часто не сказываются на развитии зародыша.

Б. Рандрифф и Р. Андерсен (Калифорнийский университет, Сан-Франциско, США) предположили, что восстановление таких сперматозоидов происходит в оплодотворенном яйце. Для проверки своей гипотезы они облучили сперматозоиды, полученные у мышей, ультрафиолетовыми лучами, т. е. повредили их ДНК, а затем с помощью этих сперматозоидов произвели оплодотворение яйцеклеток мышей вне организма. Как показали эксперименты, восстановление ДНК сперматозоида происходит в период между проникновением головки сквозь стенку яйцеклетки и началом развития эмбриона.

Хотя полученные результаты носят предварительный характер, они вызывают несомненный интерес. Интересно было бы в дальнейшем выяснить, как восстанавливается наследственная информация в сперматозоиде, подвергнувшись другим видам облучения.

Science, 1981, v. 211, p. 1431—1433 (США).

Генетика

Широкая изменчивость хромосом слепушонки в сейсмически активном районе

Несмотря на открытие и широкое изучение внутривидового хромосомного полиморфизма, внутривидовая стабильность числа и формы хромосом по-прежнему считается нормой. Внутривидовый хромосомный полиморфизм обнаружен у 5% цитогенетически изученных видов млекопитающих. Однако существуют группы, в которых такой полиморфизм встречается у 30—40% видов. Сюда относятся млекопитающие, которые ведут подземный образ жизни: слепыши, слепушонки, хоферы, туко-туко.

Швейцарский генетик Р. Маттей в 1970 г. обнаружил

у африканских мышей *Mus* из подрода *Leggadia* надвида *minutoides-musculoides* широкую изменчивость хромосомных чисел при постоянном числе плеч хромосом. Для этого комплекса форм в Центральной Африке им были найдены все возможные варианты хромосомных чисел, объясняемые слиянием одноплечих — акроцентрических (A) хромосом в двуплечие — метацентрические (M) хромосомы. Такой спектр изменчивости хромосом был назван Маттеем «робертсоновским веером» — в память об английском цитогенетике У. Робертсоне. В 1970—1976 гг. итальянский генетик Э. Капанна и западногерманский генетик А. Гропп обнаружили² у домовых мышей (*Mus musculus*) на территории Альп и Апеннин второй робертсоновский веер с изменчивостью хромосом от 40 (40A) до 22 (20M+2A). Третий случай робертсоновского веера обнаружен и исследован Е. А. Ляпуновой с сотрудниками³ в 1974—1980 гг.

Е. А. Ляпунова, Н. Н. Воронцов и Е. Ю. Иващенко (Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР), К. В. Коробицина, Ю. М. Борисов, Л. В. Якименко и В. Е. Довгаль (Биолого-почвенный институт ДВНЦ АН СССР) исследовали хромосомы обыкновенной слепушонки (*Ellobius talpinus*) из 68 точек ее ареала, простирающегося от Днепра на западе до Хингана на востоке и от Новосибирска на севере до Туркмении и Таджикистана на юге⁴.

В пределах этого огромного ареала было выявлено лишь две хромосомные формы: западная, с хромосомами типа 54A, которая отнесена к полувиду *talpinus* собственно, и восточная, отличающаяся от западной лишь одной метацентрической парой хромосом ($2n=54, 52A+2M$) и отнесенная к полувиду *talpaei*.

Совершенно иной оказалась ситуация в зоне Памиро-Алая. Здесь в долине рек Вахша и Сурхоба обнаружено 16 хромосомных форм с изменчивостью диплоидных чисел хромосом от 54 до 31. Ни в какой другой из долин Тянь-Шаня и Памиро-Алая авторам не удалось выявить изменчивости хромосом. В Алайской долине и на Алайском хребте фиксирована 52-хромосомная форма, отнесенная авторами к описанному ими в 1969 г. виду *E. altaicus*. Обнаруженный здесь робертсоновский веер форм отличается от ранее изученных тем, что хромосомные варианты отмечены на узкой территории одной лишь долины длиной до 200 км. Хотя, по мнению авторов, часть хромосомных вариантов могла возникнуть за счет гибридизации исходных форм с резкими отличиями в числе хромосом, однако причины существования столь широкой изменчивости хромосом на столь узком ареале остаются загадкой.

Единственное отличие долины Вахша — Сурхоба от сходных долин Памиро-Алая и Тянь-Шаня, где слепушонки характеризуются стабильным хромосомным набором, — высокая сейсмичность этого района. Здесь в связи с надвиганием Индостанской плиты Гондваны на Азиатский континент наблюдаются крайне интенсивные тектонические движения, сопровождаемые частыми землетрясениями. Наибольшее разнообразие хромосомных вариантов у слепушонки установлено в зоне Комсомлабада-Гарма-Джиргитала, где проходит Гармский разлом. Однако непосредственные причины, вызывающие изменчивость хромосом в сейсмически активном районе, остаются невыясненными.

Н. Н. Воронцов,
доктор биологических наук
Москва

¹ Matthey R. — *Revue suisse de Zool.*, 1970, t. 77, № 3, p. 625.

² Gropp A., Tettborn V., Lehman E. von. — *Cytogenetics*, 1970, v. 9, p. 9; Capanna E., Civitelli M. V., Cristaldi M. — *Boll. Zool.*, 1973, t. 40, p. 373.

³ Ляпунова Е. А. Картиология рода *Ellobius*. — В кн.: I Междунар. тернал. конгр., т. I. М., 1974, с. 371.

⁴ Lyapunova E. A. et al. A Robertsonian fan in *Ellobius talpinus*. — In: *Animal genetics and evolution* (Selected pap. XIV Intern. Congr. of Genetics) (the Hague), 1980, v. 52—53, p. 239.

Микробиология

Механизм действия бактерий, ускоряющих рост растений

Определенные штаммы бактерий *Pseudomonas fluorescens*, поселяясь на корнях растений, вызывают ускоренный рост их подземных органов — корней, корнеплодов, клубней. Предприняты попытки использовать ускоряющих рост бактерий в сельском хозяйстве. Так, после обработки семян сахарной свеклы, редиса и клубней картофеля суспензией, содержащей эти бактерии, урожайность повышалась в среднем на 50%. Такое стимулирующее влияние обусловлено тем, что при размножении ускоряющих рост бактерий угнетаются все другие микроорганизмы, в том числе патогенные бактерии и грибы. Однако детальный механизм этого воздействия оставался неизвестным.

Недавно группа американских фитопатологов и химиков из Калифорнийского университета установила, что ускоряющие рост бактерии подавляют развитие других микроорганизмов путем лишения их железа. Оказывается, эти бактерии могут вырабатывать флюоресцирующие вещества (сидерофоры), которые связывают железо, делая его недоступным для большинства других микроорганизмов. В экспериментах установлено, что ускоряющие рост бактерии образуют сидерофоры только в среде с низким содержанием железа и при условии достаточного их размножения. Сразу же после образования сидерофоров, которые можно наблюдать в флюоресцентном микроскопе, развитие других видов микроорганизмов подавлялось. Однако после добавления в среду избыточного количества железа угнетающее воздействие на микроорганизмы прекращалось.

В полевых условиях отмечено, что при обработке клубней картофеля суспензией с живыми ускоряющими рост бактериями уже через две недели значительно увеличивалась зеленая масса проростков. В противоположность этому, обработка клубней убитыми бактериями или внесение в почву избыточ-

ного количества железа не вызывало ускоренного роста растений.

Американские исследователи путем обработки активных штаммов *Pseudomonas fluorescens* N-метил-N-нитро-нитрогуанидином и облучения их ультрафиолетом получили мутантные штаммы, которые не продуцировали сидерофоров, а поэтому и не действовали угнетающе на другие микроорганизмы и не ускоряли роста растений.

Nature, 1980, v. 286, p. 885—886 (Великобритания).

Медицина

Проблемы пересадки органов

Как известно, при пересадке органов и тканей возникает проблема преодоления иммунологического барьера реципиента. Обычно для этого прибегают к подавлению его иммунных реакций, направленных на отторжение пересаженных тканей, что приводит, однако, к понижению сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям и другим нежелательным последствиям.

В последние годы возник иной подход к решению этой проблемы — на пересаживаемый материал воздействуют методами, уменьшающими его иммуногенность, т. е. способность стимулировать иммунные реакции. Для этого перед пересадкой органов и тканей их предварительно культивируют в питательных средах при определенных условиях или для пересадки используют эмбриональные ткани.

Впервые таким методом удалось добиться неотторжения щитовидных желез мышей после пересадки их другим мышам в результате предварительного культивирования при 37°C в течение 12 дней в атмосфере воздуха, содержащего 95% кислорода и 5% углекислого газа. При этом ткань желез не претерпела видимых структурных изменений. В дальнейшем тем

же методом удалось преодолеть иммунологический барьер у мышей при пересадке им щитовидных желез крыс, а также успешно провести пересадки от мышей к мышам и от крыс к крысам параситовидных желез.

Много работ было проведено по пересадке поджелудочной железы для лечения диабета. Ряд исследователей для этих целей выделяли островки Лангерганса (группы клеток, вырабатывающих гормон инсулин), так как было установлено, что они обладают меньшей иммуногенностью по сравнению с другими частями железы. Например, мышам, больным диабетом, пересадили островки Лангерганса поджелудочных желез крыс, причем эти клетки предварительно культивировали в течение 7 дней при 24°C в атмосфере, содержащей 5% углекислого газа. У всех 10 мышей, подвергнутых пересадке, клетки, вырабатывающие инсулин, функционировали 30 дней; у 7 из этих животных они функционировали еще 30 дней, а некоторые мыши оставались живы и имели нормальное содержание инсулина в крови более 200 дней. В то же время контрольные животные, которым клетки, вырабатывающие инсулин, были пересажены без предварительного культивирования, отторгли их в течение 12 дней после пересадки.

Был разработан метод сохранения островков Лангерганса крыс в полупроницаемой мембране из альгината — нетоксичного полисахарида. Приготовленная из него мембрана проницаема для маленьких молекул (глюкозы или инсулина) и непроницаема для больших молекул (альбумина, глобулинов и пр.). Такие инкапсулированные островки ликвидировали признаки диабета при введении их крысам, больным этим заболеванием, в течение трех недель. Инкапсулированные островки Лангерганса «работали» не более 6—8 дней. Важно, что клетки островков, помещенные в мембраны из альгината и содержащиеся в культуральной жидкости при 37°C, оставались морфологически и функционально неизменными в течение 4 мес. Эти данные позволяют надеяться на возможность создания банка островков Лангерганса с после-

дующим использованием их для пересадок.

Были сделаны также очень важные наблюдения о более раннем эмбриональном развитии, клеток, вырабатывающих инсулин, по сравнению с другими участками ткани поджелудочной железы. Когда пересадили зародышевые поджелудочные железы крыс другим крысам той же линии, больным диабетом, то ткани пересаженных желез стали вырабатывать инсулин спустя 30 дней после их пересадки, и нормальный обмен сахаром в организме ранее больных крыс отмечался в течение всей их последующей жизни.

Имеются случаи успешного лечения диабета у человека после пересадки ему фрагментов поджелудочной железы человеческого зародыша. Эти фрагменты были смешаны друг с другом, подвергнуты замораживанию и оттаиванию, а затем культивировались в течение 5 дней при 37°C. В ходе подобных экспериментов был сделан вывод, что успех пересадки во многом зависит от сроков с момента зачатия эмбриона. При этом для каждого органа, используемого для пересадки, такие сроки индивидуальны.

По материалам: Science, 1980, v. 210, № 4466, p. 762—766; № 4472, p. 909—911 (США); Metabolism Clinical and Experimental, 1980, v. 29, № 8, p. 762—766 (США).

Медицина

Лечение бессонницы

В основном на нарушение сна (или бессонницу) жалуются больные неврозами. Лечение такой невротической бессонницы проводится главным образом методами фармакологического воздействия. Однако, как показали исследования последних лет, снотворные средства не всегда вызывают достаточно эффективными, и, кроме того, они могут деформировать структуру ночного сна.

И. Ш. Ахтямов (Казанский институт усовершенствования

врачей им. В. И. Ленина) предложил лечить бессонницу методом акупунктуры, или иглоукалывания, — с помощью специальных игл оказывается воздействие на строго определенные точки, расположенные в разных местах тела человека. С каждой из этих точек связывают процессы, происходящие в определенных органах и тканях организма. Поэтому, воздействуя на такие точки, можно управлять этими процессами и таким образом проводить лечение многих заболеваний.

Лечению иглоукалыванием было подвергнуто 50 больных, страдающих нарушениями сна невротического характера (30 женщин и 20 мужчин). Все больные жаловались в основном на то, что они с трудом засыпают, часто пробуждаются среди ночи и потом долго не могут заснуть. Их средний возраст составил 41 год; давность нарушений сна — 5 лет. Все больные ранее принимали снотворные препараты, которые, однако, оказывали на них слабое воздействие.

Лица, подвергнутые новому методу лечения, были разделены на три группы. Первую группу лечили методом корпоральной акупунктуры, т. е. путем воздействия на точки, расположенные на теле; вторую группу — путем аурикулярной акупунктуры, т. е. воздействием на точки, расположенные на поверхности ушной раковины; третью группу лечили с помощью обоих методов.

В результате курса иглоукалывания у всех больных исчезли жалобы на затрудненное засыпание и частые длительные пробуждения среди ночи. Отмечалось также увеличение длительности ночного сна, уменьшение частоты спонтанных пробуждений, сокращение времени ночного бодрствования и времени засыпания. При этом длительность сна у больных первой группы возросла главным образом за

счет увеличения длительности фазы медленного сна, а у больных второй группы — за счет удлинения фазы быстрого сна¹. В третьей группе длительность сна возросла за счет увеличения продолжительности обеих фаз.

По-видимому, иглоукалывание может стать достаточно эффективным методом лечения бессонницы, хорошо дополняющим методы фармакологического воздействия.

Вестник АМН СССР, 1981, № 6, с. 62—64.

Зоология

Поденки и морские звезды

Многие виды поденок (Ephemeroptera; отряд крылатых насекомых, насчитывающий свыше 2 тыс. видов) откладывают яйца на различных растениях или прямо на поверхности стоячей пресной воды. Недавно обнаружена уникальная особенность австралийской поденки *Philanisis plebeius*: она откладывает яйца на теле морской звезды.

Зоологи М. Дж. Уинтербурн и Н. А. Андерсон (Кентерберийский университет, Новая Зеландия) своими исследованиями показали, что в случае отсутствия одного вида морской звезды австралийская поденка пользуется для выведения потомства другим. Так, у берегов Австралии в приливной зоне в изобилии водится морская звезда *Patiriella exigua*, на теле которой яйца поденки встречаются весьма часто. В водах же, омывающих Южный остров Новой Зеландии, этот вид морской звезды не обитает, зато распространен *P. regularis*. Из обследованных здесь 262 морских звезд лишь у 28 яйца поденки обнаружены в незначительном количестве (не более 12 штук); у отдельных же особей их насчитывалось по 50 и даже 100 штук.

Сам процесс необычного откладывания яиц в тело мор-

¹ Как известно, сон подразделяется на медленную и быструю фазы, каждая из которых характеризуется

присущими только ей электрофизиологическими, психологическими и вегетативными признаками.

ской звезды пока наблюдать не удавалось. Однако установлено, что яйцеклад австралийской поденки обладает столь большой жесткостью и столь малым диаметром, что это позволяет насекомому помещать его под наружными покровами морской звезды. Эксперименты показали, что личинки после инкубационного периода, длящегося около 5 недель при температуре 16—18°C, могут легко выбираться наружу.

С мая по апрель личинки австралийской поденки претерпевают шесть линек, а затем ее куколки живут в воде приливной зоны и питаются главным образом красными водорослями *Corallina*. Выплаживаться поденки начинают в начале ноября, в декабре их численность достигает максимума, а в середине апреля они исчезают. Таким образом, в один из важных моментов своего жизненного цикла австралийская поденка, приспособившись к специфическим условиям, научилась использовать живое убежище, где она может обезопасить себя от хищных врагов и, кроме того, избежать иссушения (возможного в случае, если бы яйца оказались выброшенными на сушу, чего с морской звездой почти не бывает).

Предполагают, что в Новую Зеландию этот вид поденки попал из Австралии с западными ветрами, преобладающими в Тасмановом море, а ее приспособление к другому виду морской звезды есть результат более поздней эволюции.

Ecological Entomology, 1981, v. 5, p. 293 (Великобритания).

Зоология

Лягушка, рождающая через рот

Самка австралийской лягушки *Rheobatrachus silus* (длина тела около 55 мм), как было известно, глотает оплодотворенные яйца и вынашивает их в желудке. Вылупляющиеся головастики там же превращаются в маленьких лягушат. Желудок ма-



Лягушка «рожает» детеныша через рот.

Зоология

Новый вид серой полевки

тери при этом становится примерно большим, легкие не справляются с работой и перестают функционировать, так что лягушка дышит только кожей.

Крайне редкий в природе вид «родов» через рот впервые удалось сфотографировать научным сотрудникам зоологического факультета Аделаидского университета (Австралия) М. Тайлеру и Д. Картеру. При чем первая их попытка не удалась: самка «изрыгнула» шестерых детенышей на расстоянии 60 см с такой скоростью, что снимавший не успел даже нажать на затвор. Вторая попытка увенчалась успехом. Пока один новорожденный сидел на языке матери, другой вскарабкался на ее нижнюю челюсть и выпрыгнул наружу. Лягушка сомкнула челюсти и проглотила первого. Через 50 мин менее чем за одну секунду она изрыгнула еще четырех лягушат. В течение следующей недели она родила таким способом еще 21 детеныша. Общий вес всех 26 ее отпрысков составил 40% веса тела матери.

Animal Behaviour, 1981, v. 29, p. 280 (Великобритания).

Летом 1979 г. по берегам р. Одон и оз. Эворон (Комсомольский район, Хабаровского края) были отловлены серые полевки (вес 50,8—90,5 г., длина 122—145 мм), по внешнему виду напоминающие крупную муйскую полевку (*Microtus muijapensis*) и более мелкую полевку Максимовича (*M. Maximoviczii*). Ф. Н. Голенищев (Зоологический институт АН СССР, Ленинград) и С. И. Раджабли (Институт цитологии и генетики СО АН СССР, Новосибирск) провели хромосомный анализ, который показал, что все три формы полевков отличаются по числу и структуре хромосом и принадлежат к разным видам.

Самое низкое диплоидное число хромосом у муйской полевки — $2n=38$; у полевки с берегов оз. Эворон $2n=38-40$, а у полевки Максимовича $2n=42-44$. Муйская полевка имеет шесть пар двуплечих (V-образных) хромосом, тогда как у полевки Максимовича и эворонской может быть по восемь пар двуплечих элементов. По характеру рисунка, создаваемого в хромосомах различным чередованием генетически активных участков и участков, не содержащих гены, большинство этих пар хромосом у изу-

ценных особей различаются. Наиболее близкой к эворонской полевке оказалась полевка Максимовича.

В виварии были получены гибриды между самкой полевки Максимовича и самцом эворонской полевки. При скрещивании их потомства между собой выявилась высокая интенсивность размножения: получены три помета с интервалом 25—30 дней, по 8—9 детенышей в помете. Однако когда трехмесячных гибридных самки были помещены с самцами родительских форм, потомства получить не удалось: гибридные самцы оказались стерильными. Поскольку эворонская полевка столь же заметно отличается кариотипически и от муйской, можно полагать, что гибриды между ними тоже окажутся стерильными.

На основании этих данных авторы заключают, что полевку с оз. Эворон можно считать новым видом мировой фауны — эворонской полевкой (*Microtus evoronensis*).

Внешнее сходство, легкость получения гибридов и наличие в кариотипах сходных хромосом указывают на близость этого вида к полевке Максимовича и на возможное происхождение их от общего предка. Доклады АН СССР, 1981, т. 257, № 1, с. 248—250.



Охрана природы

Новые положения об охраняемых природных территориях

Государственный плановый комитет СССР и Государственный комитет СССР по науке и технике постановлением от 27 апреля 1981 г. утвердили «Типовые положения о государственных заповедниках, памятниках природы, ботанических садах и дендрологических парках, зоологических парках, заказниках и природных национальных парках». Этот документ разработан в 1979—1980 гг.

Академией наук СССР совместно с рядом министерств и ведомств, а также советами министров союзных республик в порядке выполнения постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 1 декабря 1978 г. «О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов».

Согласно новым типовым положениям государственные заповедники СССР официально получили статус научно-исследовательских учреждений, деятельность которых должна быть направлена на разработку научных основ сохранения и восстановления редких и исчезающих видов растений и животных. Восстановительные и санитарные мероприятия, отлов и отстрел животных, сбор коллекционных материалов для научно-исследовательских целей на территории заповедников согласуются с Академией наук СССР и академиями соответствующих республик и утверждаются органами, в ведении которых заповедники находятся. Их территории изымаются из хозяйственного пользования, туризм и экскурсии в них не предусматриваются.

Впервые сформулировано и принято на государственном уровне положение о природных национальных парках, «которые в настоящее время имеются в семи союзных республиках. Территории национальных парков также изымаются из хозяйственной эксплуатации, однако они могут включать участки других землепользователей. Учреждаются национальные парки советами министров союзных республик и находятся в ведении органов, на которые возложены задачи охраны природы. В их штаты включены специальная инспекция охраны, научные, научно-технические сотрудники и административно-хозяйственный персонал.

Государственные заказники образуются с целью сохранения, воспроизводства и восстановления отдельных или нескольких компонентов природы и поддержания общего экологического баланса. Они могут

иметь различное назначение (ландшафтные, ботанические, зоологические, гидрологические, геологические и пр.). Их территории не изымаются у землепользователей, но последние обязаны соблюдать установленный режим, который согласуется с ними при учреждении заказника. На территории заказников могут быть ограничены практически все виды хозяйственного пользования. Каждый заказник, подобно заповеднику и национальному парку, обязан иметь индивидуальное положение, в котором отражены особенности режима его охраны.

Памятники природы в зависимости от своей уникальности, научной или эстетической ценности подразделяются на категории союзного, республиканского и местного значения. Они охраняются землепользователями, на землях которого расположены. В необходимых случаях расходы возмещаются за счет госбюджета.

В постановлении Госплана СССР и ГКНТ рекомендовано советам министров союзных республик, соответствующим министерствам и ведомствам решить в установленном порядке вопрос об упорядочении сети охраняемых природных территорий в соответствии с типовыми положениями о них.

«Типовые положения о государственных заповедниках, памятниках природы, ботанических садах и дендрологических парках, зоологических парках, заказниках и природных национальных парках». (Утверждены постановлением Госплана СССР и ГКНТ от 27 апреля 1981 г. № 77/106.)



Охрана природы

ГАЭС и загрязнение водоемов

В последние годы для покрытия пиковых дефицитов электроэнергии за рубежом и в нашей стране сооружаются гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС). Первая в СССР ГАЭС была построена в 1971 г.

на правом берегу Киевского водохранилища, в 3 км от Киевской ГАЭС. Она имеет напор 70 м и рабочий объем верхнего водоема 3,6 млн м³. Наполнение и сброс воды из верхнего водоема летом производится два раза в сутки, зимой — один раз. Вблизи ГАЭС преобладающая глубина водоема 7—8 м, в районе плотины — 11—14 м, в центральной части — до 19 м.

Чтобы выявить, какое влияние могут оказывать ГАЭС на состав и движение водных масс в зоне водозабора и прилегающих к ней районов, Н. В. Пикуш (Институт гидробиологии АН УССР) в 1977—1979 гг. провел наблюдения и гидрологическую съемку правобережной части приплотинного участка Киевского водохранилища.

Установлено, что в глубоководных застойных участках зоны влияния ГАЭС или накапливаются интенсивнее, чем до ее сооружения. Повысилась концентрация органических веществ, местами донные отложения имеют запах сероводорода. В воде много погибших водных организмов, почти полностью отсутствуют планктон и иктюфауна. В период интенсивного «цветения» воды, т. е. размножения синезеленых водорослей, они скапливаются при восточных ветрах в зоне водозабора Киевской ГАЭС — их концентрация достигает 10 кг сухого веса на 1 м³ воды.

В часы бездействия ГАЭС в зоне водозабора и прилегающих участках водохранилища шириной 200—300 м вода по температуре, цветности и прозрачности практически не отличается от основной массы. Скорость течения в это время не превышает 1 см/с. Во время работы насосов (заполнение верхнего водохранилища) скорость увеличивается до 5—6 см/с. На участке ниже ГАЭС течение практически отсутствует. Во время работы турбин (сброс верхнего водоема) скорость воды на вышерасположенном участке значительно уменьшается, а на ниже расположенном — увеличивается. По мере удаления от ГАЭС она снижается от 20—15 до 1—0 см/с. Вода, поступающая в водохранилище из верхнего водоема, ме-

нее прозрачна и не содержит живых организмов.

Гибель водных организмов, по мнению автора, обусловлена значительными перепадами давления: при подаче воды в верхний водоем в момент перехода ее через лопасти насосов давление за 20—30 с повышается от 1 до 7 атм и снова понижается до начального. Если останки водных организмов попадают в застойные зоны, они скапливаются там, как отмечалось, в донных отложениях, но если они попадают в зоны интенсивного водообмена и разбавления, они могут служить субстратом для развития микроорганизмов, что, по-видимому, приведет к частичному восстановлению кормовых ресурсов водоема. Учитывая это, необходимо при проектировании и строительстве новых ГАЭС стремиться, чтобы в зоне их влияния был интенсивный водообмен, в том числе и в придонном слое. Водные массы, поступающие из верхнего водоема, должны направляться к турбинам. Необходимо также периодически промывать чаши верхнего водоема.

Водные ресурсы, 1981, № 2, с. 191—193.

Экология

Интересная приспособительная особенность у растений

До сих пор считалось, что произрастающие поблизости друг от друга виды цветущих растений имеют различную форму или окраску цветка. Экологи рассматривают это как механизм, который позволяет опыляющему насекомому или птице отличать цветки разных видов, в результате чего пыльца переносится только в пределах одного вида. Ныне, однако, обнаружены случаи «обратной приспособленности».

Дж. Браун и А. Кодрич-Браун (Университет штата Аризона, США) изучали сообще-

ства растений и колибри в центральной части Аризоны. Они установили, что 9 видов растений, населяющих одну местность и опыляемых колибри, обладают весьма сходными красными цветками трубчатого строения. Это виды: *Ipomopsis aggregata* (из сем. *Polemoniaceae*), *Lonicera arizonica* (*Caprifoliaceae*), *Aquilegia triternata* (*Ranunculaceae*), *Silene laciniata* (*Caryophyllaceae*), *Echinocereus triglochidiatus* (*Cactaceae*), *Lobelia cardinalis* (*Campanulaceae*), *Penstemon barbatus*, *Castilleja integro* и *Castilleja austromontana* (*Scrophulariaceae*).

Трубка цветков этих растений имеет такую форму и размер, что пропускает внутрь лишь клюв и язык колибри. Все остальные органы, за исключением цветка, существенно разнятся между собой, что опровергает возможное предположение об унаследованных от общих предков чертах. Очевидно, сходство в строении цветка — это следствие конвергенции, схождения признаков отдаленных видов в процессе эволюционного приспособления к одинаковым условиям.

Измерив количество нектара у различных видов растений, исследователи установили, что оно примерно одинаково. Это также подтверждает, что все эти растения пытаются привлечь одних и тех же птиц: ведь будь количество нектара у одних видов намного больше, колибри посещали бы только их. Чтобы избежать опыления от чужого растения, представители каждого вида откладывают пыльцу лишь на определенный участок тела птицы. Так, пыльца одного цветка попадает только на верхнюю поверхность клюва, другого — на подбородок. Когда колибри посещают очередной цветок того же вида, с птицы «соскребается» только пыльца, находящаяся на соответствующем участке тела. И все же более половины обследованных цветков содержало то или иное количество чужой пыльцы.

Исследователи предлагают два объяснения, почему в эволюции данных видов растений конвергенция могла возобладать над дивергенцией — расхождением их внешних при-

знаков, наблюдающимся в других случаях. Во-первых, колибри — территориальная птица, т. е. на каждом ограниченном участке живет лишь одна пара особей. Поэтому даже весьма сильно отличающийся внешне цветок все равно не смог бы привлечь другого опылителя. Во-вторых, колибри способны совершенно неподвижно зависать около цветка, что позволяет растению «выбрать» участок тела, подходящий для нанесения пыльцы. Со шмелем бы, например, это не удалось: он ползает по всему цветку и положение его тела непредсказуемо.

Данное исследование показывает, что бывают случаи, когда для растения преимущества, связанные с большей привлекательностью для опыляющего животного, существенно перевешивают риск получить пыльцу от постороннего вида.

Ecology, 1980, v. 60, № 5, p. 1022 (США).

Селекция

Прогноз урожайности гибридов кукурузы

О качестве гибридных растений обычно можно судить лишь после получения из гибридных семян зрелых растений. Однако недавно итальянские генетики Е. Оттавио и М. Сари-Горла (Институт генетики Миланского университета) и американский ботаник Д. Мулкаги (отделение ботаники Массачусетского университета) показали возможность прогноза урожайности гибридных растений кукурузы по скорости роста пыльцевых трубок.

У кукурузы, как известно, цветки однополые; мужские собраны в верхушечное ветвистое соцветие (метелка), а женские — початки — сидят в пазухах листьев. Опыление у кукурузы возможно как пыльцой этого же экземпляра растения (и тогда возникают инбредные линии), так и пыльцой других растений (при таком перекрестном опылении получают гибриды). Эк-

перименты проводились с 10 инбредными линиями по их перекрестному опылению.

В качестве эталонной была взята инбредная линия W_{22} , в зерновках которой эндосперм окрашен в красный цвет. При перекрестном опылении пыльцой этой линии зерновки гибридных растений также становятся окрашенными. Поэтому скорость роста пыльцевых трубок у исследуемых растений-опылителей определяли относительно скорости роста пыльцы линии W_{22} . Во всех случаях перекрестное опыление производили смесью пыльцы от двух линий кукурузы: одной из исследуемых и эталонной. Оплодотворение отдельных цветков, приводящее к развитию зерновок, происходит спермией из пыльцы только одной из линий, а именно той, у которой пыльцевые трубки в каждом конкретном случае растут быстрее. Если скорость роста пыльцевых трубок у исследуемой линии была выше, то развивались неокрашенные зерновки, если же, наоборот, выше была скорость роста пыльцевых трубок у линии W_{22} , развивались окрашенные зерновки. Относительную скорость роста пыльцевых трубок при различных вариантах перекрестного опыления выражали отношением количества неокрашенных зерновок в верхней и нижней частях початка.

Скорость роста пыльцевых трубок при различных вариантах переопыления сопоставляли с такими показателями урожайности гибридов, как сухой вес проростков, вес початков и зерновок, число зерновок в рядах. Установлена достоверная корреляция относительной скорости роста пыльцевых трубок со всеми перечисленными показателями, за исключением числа зерновок в рядах.

Таким образом, скорость роста пыльцевых трубок, которая определяется взаимодействием геномов пыльцы и пестика, авторы считают достаточно надежным критерием для прогнозирования урожайности гибридов кукурузы. Его использование в практике, несомненно, ускорит сроки селекции высокоурожайных сортов.

Science, 1980, v. 210, № 4468, p. 437—438 (США).



Миграция цезия-137 в почвах

А. Н. Силантьева и И. Т. Шкуратова (Институт экспериментальной метеорологии, Обнинск) изучали миграцию цезия-137 в почвах центральных и южных районов Европейской территории СССР. (Цезий-137 представляет потенциальную опасность, поскольку, накапливаясь в тканях живых организмов, может служить источником внутреннего облучения¹.) Почвы исследовались в естественных природных условиях. Цезий-137 попадал на поверхность почвы только в результате глобальных радиоактивных выпадений. Пробы отбирались на целинных и залежных почвах с дерниной (дернина — поверхностный горизонт, по объему наполюнину состоящий из живых корней растений), на почвах без дернины, на пойменных почвах (в том числе при глубине грунтовых вод менее 1 м). Содержание цезия-137 в отобранных пробах с глубины 0—15, 15—30, 30—50, 50—70, 70—140 и 140—210 мм определялось методом гамма-спектроскопического анализа. Для расчета параметров миграции радиоактивного цезия использовалась модель диффузии, при этом считалось, что каждый год происходит одноразовое загрязнение поверхности почвы, равное годовому уровню выпадений (использованные относительные уровни выпадений приведены в таблице).

На миграцию цезия-137 в почвах существенно влияют состояние поверхности почвы, ее тип и влажность.

Основной запас цезия-137 в целинных почвах находится в верхнем 5-сантиметровом слое. Наименьшая миграционная способность отмечена на целинных почвах с дерниной — дерновых, серых лесных и черноземных (коэффициент диффузии около 0,1 см²/год, скорость диффузионного переноса около

¹См. также: Тюрюканова Э. Б. Стронций-90 в атмосфере. — Природа, 1981, № 1, с. 44.

Таблица
Относительные уровни годовых
выпаждений цезия-137*

Год	Относительный уровень выпаждений, %
до 1955	1,9
1956	4,4
1957	5,9
1958	5,8
1959	5,8
1960	1,6
1961	1,3
1962	21,7
1963	24,3
1964	10,6
1965	4,0
1966	1,7
1967	1,5
1968	1,3
1969	1,3
1970	1,6
1971	1,5
1972	1,0
1973	0,7
1974	1,5

* Приведенные значения исправлены на распад цезия-137 к 1975 г. Общий кумулятивный запас выпавшего цезия-137 принят за 100%.

0,12 см/год). На залежных почвах эти параметры возрастают (например, для дерновых и серых лесных почв коэффициент диффузии — до $0,9 \text{ см}^2/\text{год}$, скорость диффузионного переноса — до $0,26 \text{ см/год}$). Для песчаных, каштановых и бурых целинных почв без дернины параметры миграции значительно выше, чем для дерновых, серых лесных и черноземных почв с дерниной. Ввиду большого разнообразия пойменных почв и разной степени их увлажнения параметры миграции в них весьма различны.

Степень увлажнения почв является, таким образом, одним из основных факторов, влияющих на скорость миграции цезия-137. При значительном переувлажнении миграция усиливается. По сравнению с районами нормального увлажнения она возрастает и при недостаточном увлажнении, препятствующем образованию дернины в южных районах.

Труды Института экспериментальной метеорологии, 1980, вып. 10 (86), с. 47—51.

Океанология

Палеорекострукция северной части Тихого океана

Как известно, линейные магнитные аномалии несут информацию о времени возникновения тех или иных участков ложа океана, а также позволяют определить широту места, где они образовались, т. е. выполнить палеорекострукцию на определенный момент времени в геологическом прошлом. Исследования магнитного поля, проведенные А. М. Городницким, С. В. Лукьяновым и автором этого сообщения (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) в 56-м рейсе «Витязя» (1974 г.), 12-м, 21-м и 23-м рейсах «Дмитрия Менделеева» (1974, 1978 и 1979 гг.)¹, а также данные американских и японских исследований показали, что аномальное магнитное поле над разными тектоническими элементами дна различно. Для котловин характерны линейные знакопеременные аномалии, смещенные по разломам; для возвышенностей — небольшие изометричные аномалии; для границ котловин и возвышенностей — чрезвычайно интенсивные, чаще всего отрицательные аномалии у подножий тектонических уступов; над подводными горами, как правило, тоже возникают аномалии большой амплитуды, причем положительные и отрицательные — в зависимости от знака геомагнитной эпохи, в которую они формировались на дне океана.

Детальные исследования магнитного поля вблизи возвышенности Шатского позволили установить, что там проходят линейные магнитные аномалии М 12 и М 13, возникшие соответственно 128 и 130 млн лет назад. Расчеты палеошироты этих аномалий показали, что

в меловой период (около 100 млн лет назад) эта часть ложа Тихого океана находилась в близэкваториальной зоне. По мере последующего расширения дна в области Восточно-Тихоокеанского поднятия ложе океана вместе с возвышенностями Шатского и Хесса сместилось в северном направлении почти на 40° . С привлечением других геомагнитных данных — по кайнозойским аномалиям — рассчитано, что эти возвышенности располагались в центральной части Прототихого океана на границе палеоплит Кула и Фараллон. Этот вывод подтверждается анализом палеомагнитных аномалий над подводными горами, возраст которых известен по независимым геологическим данным, например плосковершинная подводная гора Менделеева (гайт), расположенная в экваториальной части Тихого океана и обследованная в 21-м рейсе «Дмитрия Менделеева» с подводного аппарата «Пайсис». Смещение ложа Тихого океана подтверждается и данными глубоководного бурения, показавшими, что в меловой период палеоэкватор проходил вблизи названных возвышенностей.

Характерные для зон сопряжения котловин и возвышенностей интенсивные аномалии, по нашим расчетам, создаются за счет внедрения в узкой пограничной зоне между различными структурами, видимо, более молодых пород, обладающих высокой намагнитченностью. Таким образом, магнитные аномалии указывают на существование ярко выраженного тектонического шва (крупного разлома) между возвышенностями и котловинами.

А. Е. Сузюмов,
кандидат
геолого-минералогических наук

Москва

Океанология

¹ Городницкий А. М., Сузюмов А. Е., Лукьянов С. В. Аномальное магнитное поле северо-западной части Тихого океана и его связь с тектоническим развитием региона. — В об.: Проблемы морских электромагнитных исследований. М.: ИЗМИРАН, 1980, с. 46.

Динамика вод Берингова моря

Завершено 10-летнее исследование динамики вод Берингова моря, проводившееся специалистами из Национального

управления по изучению океана и атмосферы и гидрологических учреждений ВМФ США. Главный итог работы — обнаружение квазистационарного среднемасштабного вихря в юго-восточном районе этого моря.

Известно, что Берингово море занимает как область выравнированного континентального шельфа, так и абиссальную (глубоководную) равнину, причем часть его Алеутского бассейна представляет собой континентальный склон, раздробленный на отдельные участки большими подводными ущельями. Глубина этого бассейна местами превышает 3400 м; с Тихим океаном он сообщается проливами глубиной менее 200 м. Циркуляция вод в глубинной части Алеутского бассейна, сильно зависящая от рельефа его дна, до сих пор была изучена весьма слабо.

В 1977 г. при северо-западном входе в пролив Уника (Лисий о-ва, Алеутский арх.) исследователи установили перпендикулярно направлению течений 6 дрейфующих буев с аппаратурой для телеметрической передачи данных на искусственный спутник «Нимбус-6». Кроме того, в этом же районе в 1977—1978 гг. научно-исследовательские суда осуществили более 60 океанографических станций, расположенных в 40 км друг от друга. Водный слой исследовался до глубины 1,5 км.

Анализ этих новых данных и их сопоставление с материалами более 110 станций, выполненных в 1971 г., позволили сделать выводы о температуре, солености и скорости перемещения вод в изучаемом районе. Установлено, что течение Берингово-морского склона (и сопутствующий ему фронт солености) охватывает район от о-вов Св. Павла и Св. Георгия (о-ва Прибылова) почти до пролива Уника. Таким образом, здесь наблюдается северо-западный поток, а через границу склона обмен водными массами не происходит. Из анализа дрейфа буев, которые двигались в антициклональном направлении и совершили по несколько витков, следует вывод о существовании вихря, центральная точка которого лежит примерно около 55° с. ш. и 169° з. д., т. е. к югу от о-вов Прибылова. Влияние

ветра на движение буев было незначительным. Вихрь отличается непостоянством: по материалам 1971 г. он не наблюдался вообще, а в феврале 1978 г. его свойства были менее отчетливы, чем в 1977 г.

Journal of Physical Oceanography, 1980, № 10, p. 1228 (США).

Вулканология

Вулканы на дне Красного моря

В Красноморской экспедиции Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, проводившейся зимой 1979/80 гг.¹, впервые в Красном море были визуально изучены проявления молодого базальтового вулканизма. Прямые наблюдения велись с подводного обитаемого аппарата «Пайсис XI», осуществившего с этой целью 19 погружений на дно Красноморского рифа. Полигон детальных работ находился на 18° с. ш.

Молодые вулканы, возрастом менее 0,5 млн лет, локализованы в узкой осевой зоне рифа (ширина 4—5 км) на глубине от 1300 до 1800 м. Эта зона с обеих сторон обрамлена непрерывно тянущимися по бортам рифа высокими (до 500 м) крутыми уступами. Они сложены более древними базальтами (от 0,5 до 3 млн лет), возраст и состав которых были известны до Красноморской экспедиции по данным глубоководного бурения.

Для рельефа осевой зоны рифа характерно хаотическое нагромождение вулканических холмов, разбитых зияющими трещинами и вер-



Общий вид вулканической постройки. На переднем плане — форма типа «крышки люка».



Трубообразные формы первичных потоков лавы на склонах вулканов.



Типичная форма вторичного лавового потока.

¹ См.: Монин А. С., Ястребов В. С. Экспедиция в Красное море. — Природа, 1980, № 9, с. 25; Войтов В. И. Программа ПИКАР (подводное исследование Красноморско-Аденского рифа). — Природа, 1980, № 6, с. 118.

тикальными уступами. В целом в пределах рифа выделяется центральное вулканическое поднятие высотой до 300 м и шириной 1—1,5 км с краевыми впа-

динами глубиной до 1700—1800 м. Самые молодые вулканические образования легко распознать по свежести лавовых потоков и почти полному отсутствию осадочного покрова (не более 5 см). Скорость накопления осадков составляет здесь 5—10 см в тысячу лет, следовательно, последние излияния базальтов происходили, вероятно, сотни лет назад. Подобные, практически современные, вулканические извержения ранее не были отмечены при подводных исследованиях рифтовых долин океанов.

Вулканы расположены линейными грядами. Высота отдельных достигает 300 м, но большинство не превышает 100 м. Вершины вулканических построек имеют уплощенные формы и часто лишены четко выраженных кратеров. Крутизна склонов 30—50°. На поверхности склонов лежат застывшие потоки типичных подушечных лав, образовавшихся в результате излияния базальтового расплава в подводных условиях. Вступая в контакт с водой, поверхность расплава быстро покрывается твердой коркой закаленного вулканического стекла, под которой продолжает течь поступающая магма. Форма подушечных лав зависит от крутизны склона и от того, образованы они первичными или вторичными потоками лавы. Первичные потоки обычно имеют трубообразную форму; длина этих образований 8—10 м, диаметр 0,3—2 м. Распадаясь на отдельные потоки, лава на пологих склонах образует причудливой формы «подушки», а на крутых застывает в виде «слоновых хоботов». Непосредственно на вершинах вулканов лежат пустотелые лавовые подушки, которые возникли при истечении лавы из стекловидной оболочки — это происходит на заключительных этапах излияния, когда прекращается поступление расплава из питающего источника. Происхождение вторичных потоков обусловлено растрескиванием поверхностных корок первичных потоков: вытекающий из внутренних частей расплава быстро затвердевает в форме самых разнообразных натеков.

Таким образом, прямые наблюдения проявлений подводного вулканизма подтвердили выход на поверхность молодых базальтовых лав в осевой зоне рифтовой долины. Анализ полученных данных, проведенный А. И. Альмухамедовым (Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО АН СССР), Л. П. Зоненшайном, Г. Л. Кашинцевым, В. В. Матвеевковым, И. М. Сборщиковым (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР), показал, что подводный вулканизм в Красноморском рифте имеет такой же характер, как и в осевом рифте Срединно-Атлантического хребта, а также других зон с малыми скоростями спрединга. Для таких зон характерны небольшие вулканы и отсутствие покровных излияний типа лавовых озер (как в Восточно-Тихоокеанском поднятии). Полученные данные подтверждают формирование океанической коры в этой зоне в результате спрединга и раздвижения Аравийской и Африканской литосферных плит.

Океанология, 1981, № 3, с. 495—498.

Сейсмология

Сейсмические свойства поверхностного слоя Луны

Еще в период активных экспериментов, проводимых экспедициями «Аполлонов», на поверхности Луны был обнаружен реголит — относительно тонкий рыхлый и с большим количеством трещин слой, «вспаханный» метеоритами. Этот слой представляет собой электро- и теплоизолятор. Было высказано предположение, что его сейсмические свойства сходны в разных районах Луны, несмотря на различие химического состава (базальты — в «морях», габбро-анортозиты — на континентах)¹.

Недавно группа исследователей во главе с Г. Латемом (геофизическая лаборатория Морского института при Техасском университете, США) провела более детальный, анализ большого числа сейсмограмм, зарегистрированных сетью станций «Аполлон» за восемь лет работы. Изучались сейсмические волны от разных источников: от тектонических мелкофокусных и приливных глубокофокусных лунотрясений, а также от падений метеоритов и отработанных ступеней космических аппаратов. Теоретические спектральные характеристики сейсмических волн для разных моделей строения верхней части Луны сравнивались с экспериментальными сейсмическими записями. В результате удалось подтвердить, что в разных районах Луны сейсмические свойства верхнего слоя одинаковы. Более того, эти свойства были уточнены: скорость сейсмических волн у лунной поверхности составляет 40 м/с, а с каждым метром в глубину увеличивается на 4—6 м/с. Но столь быстрый рост продолжается лишь в пределах реголита, т. е. до глубины 10—25 м. Далее темп роста скорости сейсмических волн замедляется в 2—3 раза по мере уплотнения породы.

Полученные сейсмические данные американские геофизики связывают с лунной историей. Самый толстый слой реголита — в районах кратеров Фра-Мауро и Декарта, где породы древнее; ведь именно там воздействие метеоритов было более длительным. От других районов Фра-Мауро отличается большей скоростью сейсмических волн на меньших глубинах. Причина может быть двоякой: выход на поверхность плотных глубинных базальтов либо образование слоя обломков после великой лунной катастрофы — падения планетезимали в Море Дождей 4 млрд лет назад.

Journal of Geophysical Research, 1980, v. 85, № B11, p. 6572—6578. (США).

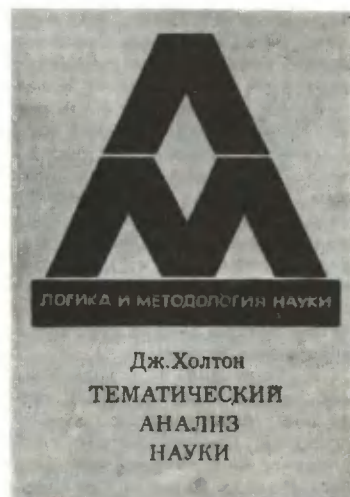
¹ Подробнее о составе реголита см.: Природа, 1975, № 8, с. 113.



Тематический подход к истории науки: трудности и перспективы

Вл. П. Визгин,
кандидат физико-математических наук

Институт истории естествознания и техники АН СССР
Москва



Дж. Холтон. ТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАУКИ. Сост. А. Е. Левина. Пер. с англ. А. Л. Великовича, В. С. Кирсанова, А. Е. Левина. Общ. ред. и предисл. С. Р. Микулинского. М.: Прогресс, 1981, 382 с.

Десять лет назад на XIII Международном конгрессе по истории науки в Москве из уст видного американского историка физики Дж. Холтона прозвучали весьма оптимистические слова о том, что история науки вступает в золотое десятилетие. Действительно, резкое увеличение числа профессиональных историков науки, появившиеся все большего числа тщательно документированных ис-

следований, успехи в изучении процессов порождения нового научного знания, использование для решения этой задачи широкого комплексного подхода, связанного с учетом как научно-дисциплинарных, так и социологических, общекультурных факторов, а также философских и методологических аспектов — эти характерные черты современной истории науки говорят о том, что надежды десятилетней давности в значительной мере оправдались.

Это не означает, однако, что главные трудности здесь позади. Одной из них является отсутствие общепринятой в формирующемся «историко-научном сообществе» модели развития науки. Другой — все еще не легко преодолеваемый разрыв между массивом конкретных историко-научных исследований и методологическими изысканиями, связанными с разработкой историографических моделей. Хорошо известные методологические схемы развития науки, связанные с именами К. Поппера, Т. Куна, И. Лакатоша, несмотря на свою утонченность, игнорируют многие важные аспекты истории науки. Будучи достаточно абстрактными, они трудно сопрягаются с реальным историческим материалом и привлекают внимание философов и методологов в большей мере, чем специалистов, занимающихся конкретными историко-научными исследованиями. К тому же наиболее популярные модели, например Куна и Лакатоша, подчеркивают в первую очередь динамическую сторону развития научного знания (история науки как смена «парадигм» или «научно-исследовательских программ») и недостаточное внимание уделяют устойчивым, инвариантным, преемственным аспектам этого развития. Кроме того, эти схемы оставляют в тени вопрос о путях возникновения новых парадигм или новых исследовательских программ.

На преодоление именно этих трудностей во многом нацелен новый подход, развиваемый Дж. Холтоном в рецензируемой книге и называемый им «тематическим анализом науки» (в общем виде он описан в главе I). В чем же сущность этого подхода?

Историк науки в первую очередь имеет дело с множеством высказываний, содержание которых относится либо целиком к экспериментально-эмпирическому материалу, либо целиком к математическому формализму теории, либо (и эта последняя ситуация наиболее типична) частично к одному, а частично к другому аспектам. Холтон использует для наглядного представления этого обстоятельства образ координатной плоскости, x - и y -координаты которой отвечают соответственно эмпирической и аналитической компонентам теории. Будем для краткости называть эту плоскость «экспериментально-теоретической». Физическим понятием можно сопоставить на этой плоскости точки, а научным утверждениям — линии. Очевидно, основные события в жизни научного знания — при этом речь идет, прежде всего, о физике и точном естествознании вообще — происходят на этой плоскости, придающей знанию общезначимый характер и обеспечивающей таким образом возможность научных коммуникаций.

Однако использование этого двумерного подхода не дает возможности ответить на ряд важных для историка науки вопросов, например, такого рода: чем определяется выбор тематики научного исследования конкретным ученым? почему при разработке одной и той же проблемы одни ученые предпочитают использовать один круг образов, понятий, методологических приемов, а другие — другой, зачастую резко противостоящий первому? в чем состоят глубинные истоки научных споров, нередко столь длительных и ожесточенных, и почему одни

ученые в течение долгого времени могут придерживаться каких-то теоретических схем, несмотря на трудности их согласования с опытом, а другие готовы заменить эти схемы при первых же симптомах их эмпирической ненадежности?

Приверженность исследователей к определенным темам, не находящим явного отражения на упомянутой выше «экспериментально — теоретической плоскости» и в большинстве своем существующим издавна, дает, по мнению автора, ключ к решению перечисленных проблем. Если упомянутая плоскость связана с научной деятельностью как коллективным предприятием, то третья, тематическое измерение, третья «степень свободы» научного знания связана с наукой как делом индивидуальным. Несмотря на связь нового измерения с субъектом творческой деятельности, именно оно, по мнению автора, позволяет выделить инвариантные, стабильные элементы в потоке непрерывно меняющегося, растущего знания. Тем самым тематическая общность сменяющихся друг друга теорий дает ключ к проблеме их сравнения, особенно в случаях радикального концептуального различия между ними.

Приведем сразу же один пример. Изучение творчества Эйнштейна позволяет Холтону сделать вывод о следующем наборе тематических предпосылок, характерных для него: «первичность скорее формального, чем материального объяснения (по-видимому, здесь имеется в виду то, что Эйнштейн предпочитал использовать общие принципы физики, а не модельно-механистический подход. — В. В.), единство (или объединение) и космологический масштаб (равноправная применимость законов ко всей совокупности опытных данных), логическая экономность и простота, причинность, полнота, континуум и, конечно же, постоянство и инвариантность» (с. 152). Процесс выявления этих предпосылок отнюдь не прост, он требует тщательного анализа приемов, используемых исследователем при построении теории, и характерных для него способов рассуждения. Приверженность

Эйнштейна к перечисленным темам объясняет в значительной мере и характер использованной им аргументации в трех знаменитых статьях 1905 г. по теории относительности, квантам и броуновскому движению (например, рассмотрение трудности предшествующей теории как определенных несимметрий связывается с приверженностью к теме симметрии), и выбор в качестве основных постулатов специальной теории относительности принципов относительности и постоянства скорости света, и то упорство, с которым Эйнштейн, начиная с 20-х гг. до конца своей жизни разрабатывал единые геометризованные теории поля и выступал против вероятностной трактовки квантовой механики (здесь сказывалась его предрасположенность темам классической причинности, континуума, единства физического знания и т. д.).

Дополним сказанное не столь уж многочисленными и детально развитыми замечаниями автора о сущности тематического подхода, статусе тем, их соотношении, возникновении, эволюции, способах их изучения. Прежде всего, существует три типа тематических предпосылок «тематическая компонента понятия», т. е. собственно тема, например, атомизм, континуум и др.; «методологическая тема», имеющая характер методологического принципа, например «установка на выражение научных законов всюду, где это возможно, в терминах каких-то постоянств и т. д.»; и «тематическое утверждение», например, «два принципа специальной теории относительности».

Далее. Темы, как правило, объединяются в пары, точнее «парные оппозиции», что, по мнению автора, связано, «по-видимому, с диалектической природой науки как коллективной деятельности, направленной на достижение единства суждений ее участников» (с. 27). Вероятно, на основе исключительно эмпирических соображений, т. е. связанных с собственным опытом историко-научных исследований, автор утверждает также, что «суммарное количество одиночных тем, дублетов и триплетов не превзойдет и сотни» (с. 27).

Темы в большинстве своем имеют древнее происхождение. Они постоянно воспроизводятся «как в течение спокойной эволюции науки, так и во время «революций»» (с. 27), «тематические оппозиции сохраняются в течение целых периодов «нормальной науки», а некоторые темы переживают даже эпохи научных революций» (с. 41). Несмотря на это, возникают и новые темы, например, дополнительность (1927 г.) и кичальность (1950-е гг.). Темы также «испытывают подъем и упадки, претерпевают последовательные этапы уточнений, а подчас забрасываются или вводятся заново» (с. 40).

Чтобы решить вопрос об источниках тем, необходимо привлечь психологию познания к анализу индивидуальной деятельности ученого. Темы стимулируют научное воображение исследователя. Можно даже говорить о «тематическом воображении», которое, «быть может, даже все... целиком оформляется еще до того, как он (т. е. ученый. — В. В.) превращается в профессионала», при этом «некоторые из особенно прочно удерживающихся тем заметны даже в детстве» (с. 40).

Несмотря на это, тематическая предрасположенность может меняться. Приверженность определенной теме в одной области может сопутствовать приверженности противоположной теме — в другой. Темы могут приниматься не только отдельными учеными, но и целыми научными сообществами. В этом случае, по-видимому, они обнаруживают родство с куновскими парадигмами. В разные периоды одни темы испытывают подъем, другие упадок. Закономерности этих колебаний пока не изучены.

В качестве конкретных примеров тем Холтон называет следующее: дублет атомизм (дискретность) — непрерывность; классическая причинность — вероятностная причинность; симметрия (и связанные с ней подтемы — однородность и изотропность пространства, относительность, инвариантность); простота — сложность; анализ — синтез; редукционизм — холизм; эволюция — регресс; дополнительность.

Естественно, каждому историку, который захотел бы попытаться использовать концепцию Холтона, сразу же приходится столкнуться с серией вопросов относительно природы тем, их соотношения, способов их связи с «экспериментально-теоретической» плоскостью. Как узнать, является ли данное понятие, данное утверждение тематическим? И, кстати говоря, какова связь собственно тем, или тематических компонент понятий, с тематическими утверждениями и тематическими методами (методологическими темами)? Образуют ли тематические предпосылки некоторую структуру? Можно ли вывести эти предпосылки из каких-либо теоретических принципов или их можно установить лишь эмпирически? Каков механизм включения тематических предпосылок в систему научного знания? С одной стороны, темы — это наиболее стабильные элементы в научном мышлении, с другой стороны, они тоже эволюционируют, а некоторые из них возникают и в наше время. В результате понятие темы оказывается слишком расплывчатым. Да оно, в сущности, и не определяется автором. По словам Холтона, темы не следует путать с «юнговскими архетипами, метафизическими концепциями, парадигмами и мировоззрениями» (с. 41). Это разграничение несколько не проясняет существа дела, скорее оно наводит на мысль об общности тем с названными (столь различающимися между собой) структурами.

Сформулированные выше вопросы остаются без ответа. Отсутствие более или менее четких контуров тематической концепции, ее теоретическая неразработанность приводят, например, к таким забавным вещам, как приписывание киральности (понятия, связанного в данном случае, очевидно, с идеей киральной симметрии) к темам (почему бы тогда не отнести к темам изотопические и калибровочные симметрии?), как включение в число тематических гипотез двух основных принципов специальной теории относительности (принципов постоянства скорости света и принципа относительности). Возникает также

вопрос об отношении тематического подхода к моделям Куна и Лакатоша, поскольку Холтон использует понятия парадигм, исследовательской программы, научной революции, научного сообщества. Темы, конечно, являются устойчивыми структурами, но, поскольку они выходят за рамки «экспериментально-теоретической плоскости», они, по-видимому, не исчерпывают инвариантных элементов развивающегося знания, фиксируемых, например, посредством принципа соответствия.

Эмпиризм, отсутствие более или менее отчетливой концептуальной структуры, неясность исходных положений и т. д. — все это не дает основания считать тематический анализ новым теоретически осмысленным направлением исследования развития науки. К тому же тематический анализ акцентирует внимание лишь на одной особенности творческого мышления, оставляя в тени центральные проблемы историко-научного исследования, связанные с изучением процессов преобразования теорий, научными революциями, анализом научно-дисциплинарных (и более широко — социологических) и общекультурных факторов развития науки. Ограниченное значение тематического подхода понимает и сам Холтон. Он считает его лишь девятой компонентой всестороннего историко-научного исследования, в которое обязательно включается: детальный анализ состояния научных знаний в обществе, аналогичный анализ научной деятельности отдельных ученых, психобиографические предпосылки этой деятельности, учет социологических, общекультурных и особенно научно-дисциплинарных факторов и т. д. Поэтому можно думать, что тематический подход должен найти свое место в будущей реалистической модели, учитывающей перечисленные факторы. Есть надежда, что в ней тематические идеи приобретут ясность и теоретическое оформление.

В настоящее же время тематический анализ науки едва ли может считаться чем-то большим, чем полезная эвристическая точка зрения, которой сле-

дует пользоваться с осторожностью¹. О том, что такая точка зрения действительно полезна, свидетельствуют главы II, III, IV, V рецензируемого сборника, посвященные анализу конкретных историко-научных ситуаций². Во второй главе выявляются скрытые мотивы (отождествляемые автором с тематическими

¹ Так, попытку Холтона объяснить успех Р. Э. Милликена и неудачу Ф. Эренхафта в их экспериментальных исследованиях дискретности электрического заряда тематическими предположениями ученых (Милликена — теме дискретности, а Эренхафта — теме непрерывности) нельзя признать удачной. Электрон был открыт в 1897 г., и к 1910 г., когда Милликен начал свои опыты, подавляющее большинство физиков (кстати говоря, вначале и сам Эренхафт) считали электрон «элементарным количеством электричества». Это вполне согласовывалось с успешно развивавшейся тогда электронной теорией. Поэтому убежденность Милликена в элементарности электрона была вполне типичной для физика начала века, и связывать ее с тематической предположительностью нет необходимости. Тем более, что в вопросе о квантах света он занимал антиатомистическую позицию. На континуалистскую же установку Эренхафта, как показывает сам Холтон, повлияли философские предубеждения Маха и его окружения (пользовавшегося большим авторитетом в Австрии) против атомистических представлений. Кроме того, хотя Милликен был выдающимся экспериментатором, его метод отбора экспериментальных результатов в другой ситуации мог бы привести к грубым ошибкам.

² Заметим, что вся книга является в сущности сборником статей Холтона, написанных им в разное время примерно за последние десять лет и содержащихся в двух больших его книгах: Holton G. *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Cambridge, Massachusetts, 1973; Holton G. *The Scientific Imagination: Case Studies*. Cambridge, 1978. Поэтому главы следовало бы называть статьями.

предпосылками), приведшие Кеплера к его знаменитым законам движения планет. Имеются в виду три взаимосвязанные темы: «Вселенная как небесная машина», «Вселенная как математическая гармония» и «Вселенная как образец всеобщего теологического порядка» (с. 68).

В четвертой главе развивается модель научной теории, набросанная Эйнштейном в его письме к М. Соловину от 7 мая 1952 г. Важнейшим элементом этой модели является представление о логическом скачке от эмпирического материала к исходным положениям (аксиомам) конструируемой теории. По мнению Холтона, роль своеобразного трамплина при этом играют тематические предпочтения исследователя. При создании специальной и общей теории относительности эти предпосылки выполняли функцию некоторого фильтра, пропускающего лишь такой скачок от эмпирии к аксиомам, который и был осуществлен Эйнштейном в действительности. Таким образом, тематические предпосылки помогают нам проникнуть в механизм индивидуального творческого процесса и сосредотачивают наше внимание на решающей фазе зарождения нового научного знания. Правда, отождествление «трамплина» или «фильтра» целиком с этими предпосылками вызывает большое сомнение, поскольку и другие факторы, нетематического характера, входят в методологию научного исследования и эвристические средства ученого. Кстати говоря, многие из перечисленных тематических предпосылок, характерных для Эйнштейна, вполне родственны тем метанаучным конструкциям, которые у нас получили название методологических принципов физики (принципы симметрии, сохранения, причинности, единства научного знания, простоты, соответствия, объяснения). Эвристическое значение этих принципов неоднократно обсуждалось в нашей литературе. Поэтому внимательного изучения заслуживает вопрос об отношении этих принципов к тематическим структурам Холтона. Заметим, что система методологических принципов также является весьма устойчивой

структурой, более устойчивой, например, чем парадигмы Куна и программы Лакатоша. Определенное родство их с тематическими предпосылками несомненно.

В пятой главе детально, на обширном материале рассмотрено рождение новой темы — дополненности. Это событие, как показывает автор, произошло на пересечении нескольких линий развития: собственно физической, связанной с проблемами квантовой теории, психологической, связанной с именами У. Джемса, П. Жане и А. Бине, философской (П. М. Меллер, Х. Хейфдинг, С. Кьеркегор) и т. д. В известном смысле возникновение дополненности означало превращение тематического дублета дискретность — непрерывность в триплет дискретность — непрерывность — дополненность.

О шестой главе, посвященной Милликену и Эренхафту, мы говорили уже раньше. Третья глава, в которой идет речь о философской эволюции Эйнштейна от некоторого увлечения позитивизмом, прежде всего методологией Маха (в первой декаде XIX в.), до «рационалистического реализма», связанного с признанием внешнего, объективного мира, не связана непосредственно с тематическим подходом. В ней, кстати говоря, показано, что исследовательская практика существенно влияет на мировоззрение ученого (а возможно, и на его тематические предпочтения). Так, упомянутая философская трансформация Эйнштейна в определенной мере была обусловлена исследованиями Эйнштейна, приведшими его к общей теории относительности. Последняя, седьмая глава — «Группа Ферми и возвращение Италии своего места в физике» — говорит о том, что многие важные события в науке могут быть в большой степени обусловлены внешними, в данном случае социологическими, обстоятельствами. В таких ситуациях глубинные тематические факторы оказываются второстепенными. На основе скрупулезного анализа деятельности группы Ферми в начале 30-х гг. Холтон показывает, что блестящие экспериментальные открытия этой группы,

связанные с обнаружением индуцированной радиоактивности вещества, вызванной действием замедленных нейтронов, и положившие начало ядерному веку, явились во многом результатом оптимальной структуры группы, организованной по образцу «семейного» сообщества (столь типичному для Италии).

Возвращаясь к тематическому подходу, отметим его важную особенность, которая, несомненно, должна импонировать историкам науки, занимающимся конкретными историко-научными исследованиями. Дело в том, что тематический анализ в отрыве от детального и всестороннего изучения конкретных исторических ситуаций фактически невозможен. Выявление скрытых тематических мотивов научного исследования требует «обязательного использования какого-то опыта непосредственной работы с научными материалами». И, замечает далее Холтон, «выигрыш от тщательного изучения реальных ситуаций кажется мне куда более значительным по сравнению с тем, что может быть получено на основе таких новомодных направлений, как сравнительный анализ различных историографических школ (т. е. различных моделей развития научного знания. — В. В.) или изобретение спекулятивных «рациональных реконструкций» (с. 42). Таким образом, тематический подход, нацеленный на выявление индивидуальных мотивов научного творчества, предъявляет повышенные требования к учету таких документов, как переписка, дневники, лабораторные журналы, ненаучные сочинения ученых. Кстати говоря, поскольку тематическая приверженность ученого может проявляться и за пределами его научной деятельности, а, с другой стороны, на его формирование могут существенно влиять ненаучные факторы (философские, религиозные, эстетические и пр.), тематический подход требует повышенной чувствительности историка к ненаучным аспектам научных исследований. Итак, конкретность исторического анализа, тщательное документирование, внимание к ненаучным сторонам научной деятельности — характерные черты «теме-

тической эвристики». По-видимому, именно эта эвристика привела Холтона к интересным и содержательным работам в области истории теории относительности, истории квантовой механики (гл. V), ядерной физики (гл. VII) и т. д.

Эвристическое значение тематического подхода состоит еще и в том, что, во-первых, он нацелен на изучение фазы рождения нового научного знания, т. е. на решение наиболее важной и трудной задачи историко-научного исследования, а во-вторых, на поиск устойчивых структур в потоке развивающегося научного знания. Создание новой теории, экспериментальное открытие, изобретение фундаментального принципа — именно такого рода события всегда в центре внимания автора. Едва ли можно сказать, что в каждом случае ему удается выяснить пути, ведущие к открытию, но детальное обсуждение всех обстоятельств открытия, выявление приемов исследователя, не лежащих на поверхности, бесспорно способствует обнаружению этих путей.

Хотя старые темы претерпевают изменения, а новые возникают даже в наши дни, они в большинстве своем играют в процессе развития науки роль своеобразных интегралов движения или законов сохранения. Установление такого рода «величин» в столь сложном и многообразном процессе, каковым является движение научного знания, позволило бы надеяться на построение более строгой и методологически удовлетворительной концепции развития науки. Правда, смысл тематических конструкций пока еще достаточно туманен. И, кроме того, может оказаться (и это весьма вероятно), что более фундаментальную роль в генезисе и развитии научных идей играют инварианты, теснее связанные со спецификой научного знания, в частности структуры, аналогичные методологическим принципам физики.

Холтон давно работает в области истории науки, и можно подумать, что к тематическому подходу он пришел на основе своих конкретных историко-научных работ, а в его собственных исследованиях темати-

ческая эвристика не играла такой уж существенной роли. Однако тематическая концепция появилась в самом начале 60-х годов. Во всяком случае, уже в 1962 г. на X Международном конгрессе по истории науки в Итаке он выступил с докладом «О тематическом анализе науки: Пуанкаре и теория относительности». Основные историко-научные работы Холтона появились уже после этого, и есть основания считать, что тематическая эвристика, по крайней мере для самого Холтона, оказалась эффективной. Заметим, что идея тем и тематического подхода была заимствована автором из гуманитарных наук, связанных со структуральным методом. «Техника, аналогичная той, которую я применил при тематическом анализе, уже использовалась гораздо раньше в некоторых других областях, скажем, в контент-анализе, лингвистическом анализе и культурной антропологии», — подчеркивает Холтон (с. 10). Аналогия между устойчивыми структурами, обнаруживаемыми исследователями фольклора и мифов, и темами довольно прозрачна (см., например, послесловие к книге, написанное С. Р. Миклулинским). В этом родстве, кстати, автор видит ключ «к открытию каких-то глубинных черт сродства между естествознанием и гуманитарным мышлением» (с. 10).

Отметим еще некоторое родство тематического подхода с тем традиционным направлением истории науки, которое во главу угла ставит изучение («прослеживание») эволюции фундаментальных физических понятий, законов с весьма отделенных времен (Античности, Средневековья) до наших дней. В лучших работах такого рода показано, как развиваются эти понятия и концепции, восходящие к своим старинным прообразам (например, понятия массы, силы, пространства и времени, симметрии, сохраняющихся величин и т. д.), иначе говоря, как «тематический костяк» обрывает живой плотью физических теорий и экспериментов. Правда, в таких исследованиях в стороне, как правило, оставался вопрос о влиянии «тематических прообразов» на

творческую деятельность ученого.

Едва ли в настоящей рецензии имеет смысл упоминать о неточностях, недочетах, содержащихся в отдельных статьях. Есть и конкретные выводы, утверждения, с которыми трудно согласиться. Например, крайне важное для понимания генезиса общей теории относительности третье письмо Эйнштейна к Маху датировано, скорее всего, ошибочно годом раньше (с. 83). Другой пример: утверждение об «антиэкспериментализме» Эйнштейна в период разработки им общей теории относительности, с нашей точки зрения, явно преувеличено (с. 93—94).

Переводчики, составитель и ответственный редактор в целом успешно справились со своей задачей. Статьи подобраны удачно, перевод в общем, насколько я могу судить, выполнен на хорошем уровне, хотя отдельные неточности имеются. Следовало бы дать ссылки на русские издания цитируемых авторов, прежде всего Эйнштейна (и согласовать соответствующие цитаты с уже имеющимися русскими переводами: в тех же случаях, когда такие переводы неточны или неполны, дать новый перевод и оговорить это специально). Послесловие вводит концепцию Холтона в круг современной методологической проблематики, указывая на плюсы и минусы как тематического подхода в целом, так и отдельных глав книги. В частности, замечание С. Р. Миклулинского о том, «что и в ранних своих работах Эйнштейн вовсе не был таким последователем Маха, как это ему (т. е. Эйнштейну. — В. В.) представлялось, и что 1921 г. ...вообще не был уж таким существенным рубежом» (с. 367), представляется вполне справедливым.

Резюмируя сказанное, подчеркнем, что советские историки науки, философы, специалисты по методологии науки, широкие круги физиков и всех тех, кто интересуется проблемами современной науки и ее историей, получили содержательную, богатую острыми постановками методологических проблем и конкретными результатами книгу.

Физика

Э. Шмутцер. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ — СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ. Путь к единству физики. Пер. с нем. А. С. Доброславского. Предисл. Я. Б. Зельдовича. М.: Мир, 1981, 232 с., ц. 60 к.

Книга профессора Йенского университета им. Ф. Шиллера, известного физика-теоретика Эрнста Шмутцера написана к юбилею А. Эйнштейна — 100-летию со дня рождения, отмечавшемуся два года тому назад.

Начинается книга с краткой биографии Эйнштейна. Далее излагаются физические воззрения предшественников создателя общей теории относительности — Галилея и Ньютона. Затем дается краткий обзор основных идей как общей, так и специальной теории относительности, причем для изложения материала автор использует только элементарную математику. Развитие теории относительности прослеживается вплоть до наших дней. Обсуждается ее влияние на современную космологию, рассматриваются предсказанные ею новые, экзотические космические объекты: квазары, пульсары, черные дыры. Экспериментальные подтверждения теории относительности приводятся по данным последних лет. Завершается книга изложением вопросов симметрии в релятивистской физике, а также проблем единства физики.

Как пишет в предисловии к русскому изданию этой книги Я. Б. Зельдович, «сильная сторона книги Шмутцера — это изложение истории физики от начала XX века до наших дней. Прекрасно показан весь ход научного поиска и подчеркнута огромная роль научных контактов. Самый квалифицированный читатель найдет здесь много новых деталей, узнает о роли забытых современников создания общей

теории относительности, погрузится в атмосферу первой половины века, ощутит взаимодействие науки и общественной жизни».

Физика

Дж. Фейнберг. ИЗ ЧЕГО СДЕЛАН МИР? Атомы, лептоны, кварки и другие загадочные частицы. Пер. с англ. А. С. Доброславского и Ю. Г. Рудого. Под ред. и с предисл. А. Д. Суханова. М.: Мир, 1981, 340 с., ц. 90 к.

Большее половины своей книги Дж. Фейнберг, американский физик, профессор Колумбийского университета, посвящает введению в круг идей современной физики. При этом он, в нарушение традиций, не излагает истории их возникновения. И хотя отдельные этапы физического знания представлены примерно в том порядке, в каком они преодолевались учеными, автор не стремится изображать научные факты и идеи так, как в свое время представляли их первооткрыватели. Он оценивает их с современных позиций.

Создав таким образом необходимый фундамент, Дж. Фейнберг затем знакомит читателя с разными уровнями строения материи — атомами, ядрами и электронами, субъядерными или элементарными частицами, кварками, лептонами и т. д. Изложение строится таким образом, чтобы постепенно раскрывать свойства все более мелких объектов, иначе говоря, описывать результаты анализа структуры материи с помощью «зондов» все больших энергий.

Книга написана с педагогическим мастерством. Она дает ясное, хотя и чисто качественное, представление о многих самых трудных вопросах современной физики.

Техника

ФОТОКИНОТЕХНИКА. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ. Гл. ред. Е. А. Иофис. М.: Советская энциклопедия, 1981, 447 с., ц. 3 р. 60 к.

Это первое издание такого рода, выпускаемое в СССР. Объединение вопросов фото- и кинотехники в одной энциклопедии объясняется общностью принципов получения фотографического и киноизображений, свойств используемых светочувствительных материалов, способов их обработки, а также сходством ряда элементов фото- и киноаппаратуры.

Открывается энциклопедия обзорной статьей, которая знакомит читателя с современным состоянием и основными направлениями развития технических средств фотографии и кино. Собственно энциклопедия содержит около 1300 статей, расположенных в алфавитном порядке. В них даны важнейшие сведения о наиболее известных советских моделях съемочной и проекционной аппаратуры, фото- и кинопринадлежностях, фотоматериалах и химических реактивах, используемых в фотографии. Значительное место отведено описанию приемов съемки и печатания, а также описанию процессов обработки экспонированных материалов. В популярной форме изложены научные основы фотографии (черно-белой и цветной), показаны области применения и возможности использования технических средств фотографии и кино в художественных и научных целях. Уделяется внимание вопросам фото- и киноискусства и их связи с достижениями технических наук. В энциклопедии имеются также сведения о крупнейших международных фото- и киноорганизациях, о советских и многих

зарубежных периодических изданиях, освещающих вопросы фото- и кинотехники, а также о крупнейших зарубежных фирмах, выпускающих фото- и киноаппаратуру и фотоматериалы.

В заключение приводится список литературы по фотокинотехнике, вышедшей в последние годы на русском языке.

Энергетика

Свен Уделл. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И ДРУГИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. Пер. со шведск. Н. Н. Вуколова под ред. В. П. Демьянова. М.: Знание, 1980, 86 с., ц. 25 к.

С солнечной радиацией на Землю поступает более $5,4 \cdot 10^{23}$ Дж энергии. Атмосферой поглощается 47% этой энергии, остальное отражается в космическое пространство. Но даже эта поглощенная Землей энергия в 35 000 раз превышает годовое энергопотребление человечества. Уловить, накопить, сберечь энергию Солнца, использовать ее в нуждах человека — важная задача, актуальность которой усиливает угроза энергетического кризиса. Автор книги — швед, и проблема использования солнечной энергии рассматривается в ней применительно к Швеции.

Что такое энергия вообще, как устроено Солнце, на что и сколько тратится энергии, как работают солнечные панели, батареи, башни — вот вопросы, которые затрагиваются в книге. Но проблема изыскания дополнительных источников энергии волнует не только Швецию. В предисловии к книге доктор технических наук В. А. Башкатов раздвигает географические рамки повествования, рассказывает, как эта проблема решается в СССР, США, Франции, ФРГ и других развитых странах.

Биология

ЭВОЛЮЦИЯ. Пер. с англ. Н. О. Фоминой под ред. М. В. Минь. М.: Мир, 1981, 264 с., ц. 1 р. 60 к.

Книга представляет собой традиционный тематиче-

ский выпуск журнала «Scientific American», в данном случае целиком посвященный проблемам эволюции (он вышел в сентябре 1978 г.). Авторы девяти статей, включенных в выпуск, — преимущественно американские ученые, многие из которых уже знакомы советскому читателю.

Первая, вводная статья принадлежит Э. Майру. Она знакомит с тем, как на основе учения Дарвина создавалась современная «синтетическая теория эволюции». Статья Ф. Айалы посвящена механизмам эволюции. Следующие статьи рассказывают о возникновении первых органических веществ, химической эволюции и ее перерастании в биологическую эволюцию (Р. Дикерсон); о появлении одноклеточных организмов (У. Шопф); эволюции многоклеточных (Дж. Валентайн). Статья, написанная австралийским биологом Р. Мэем, посвящена проблемам эволюции экологических систем. Дж. Мэйнард рассказывает об эволюции поведения. У. Уолберн дает краткий обзор современных представлений об эволюции человека. Наконец, Р. Левонтин в своей статье обсуждает ряд вопросов, связанных с одним из центральных положений дарвиновской теории, утверждающим, что в ходе эволюции происходит приспособление организмов к условиям обитания, и показывает, что это, казалось бы, ясное положение нуждается в уточнении, равно как и само понятие «приспособление».

Книга представляет интерес для биологов и всех тех, кого всерьез интересуют проблемы биологической эволюции.

Психология

А. Н. Леонтьев. ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ПСИХИКИ. М.: Изд-во Московского ун-та, 1981, 583 с., ц. 2 р. 30 к.

В этом издании собраны труды известного советского психолога А. Н. Леонтьева, написанные им с 1926 по 1963 г. В них раскрывается концепция

общественно-исторической природы человеческой психики.

Работы сгруппированы в три раздела. Первый посвящен вопросу о генезисе и характере ощущения как элементарной формы психики, второй — теоретическим проблемам биологической эволюции психики и ее исторического развития, третий раздел составляют работы по теории развития детской психики. Центральная концепция автора направлена против учений о прямой, фатальной зависимости высших психических процессов и способностей человека от его наследственных и биологических характеристик. А. Н. Леонтьев выдвигает гипотезу перехода от живой, но лишенной психики материи к живой материи, обладающей этим свойством. Этот переход обусловлен изменением характера взаимодействия живого существа с окружающей средой, когда деятельность этого существа должна использовать простейшие формы психического отражения.

Книга представляет интерес для психологов, философов, социологов.

Геология

Д. Боуэн. ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ГЕОЛОГИЯ. Стратиграфическая основа междисциплинарных исследований. Пер. с англ. И. Спасской. Науч. ред. Н. Никишина. Предисл. к русск. изд. Л. Серебрянного. М.: Мир, 1981, 272 с., ц. 3 р.

Монография Д. Боуэна (Великобритания) представляет собой попытку ответить на ряд важных вопросов по геологии четвертичного периода. В последние годы стремительное накопление фактической информации в изучении этого новейшего геологического периода сочеталось с совершенствованием методики исследований, в результате чего многие из традиционных представлений были пересмотрены. Возникла потребность в обобщении всего накопленного материала. Примером таких обобщающих работ и является эта книга. В ней критически рассматриваются основы существующих классических мо-

делей древних оледенений; приводятся данные, на которых базируется новая стратиграфическая основа; обсуждается возможность использования как новых, так и традиционных методов исследования (изучение летописи ископаемых остатков, изменений уровня моря, ледниковых и неледниковых обстановок и др.).

Оценивая книгу, автор предисловия отмечает отсутствие в ней сведений о советских исследованиях четвертичного периода. Несмотря на этот существенный пробел, монография представляет несомненный интерес благодаря оригинальности идей, широте научного диапазона, информативной новизне, четкой методической ориентации и критическому освещению поставленных проблем.

Книга предназначена геологам широкого профиля, геоморфологам, преподавателям, студентам и аспирантам геологических вузов.

География

ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ ЮНОГО ГЕОГРАФА-КРАВЕДА. Сост. Г. В. Карпов. М.: Педагогика, 1981, 384 с., ц. 4 р.

Словарь содержит свыше 300 расположенных в алфавитном порядке, разных по размеру статей, написанных на хорошем профессиональном уровне (авторы многих из них не раз выступали на страницах нашего журнала). В словарь заложен большой объем многообразной информации. Например, статьи «Атмосфера», «Биосфера», «Географическая оболочка», «Литосфера», «Оледенение» и другие рассказывают о нашей Земле как планете, о глобальных закономерностях ее природы. Об изучении Земли из космоса можно прочитать в статьях: «Искусственные спутники Земли», «Новые космические методы исследований», «Атмосфера и техника». Много внимания уделено охране природы. К статьям по основным разделам географии подверстаны краткие очерки о крупных ученых, заложивших основы этой науки, с портретами этих ученых.

Наряду с этим читатель сможет получить практические советы: как подготовиться к походу, как описать рельеф своего края, изучить его минералы и горные породы, как предсказать погоду по местным признакам и т. д.

Охрана природы

ОБ ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. Сборник документов партии и правительства 1917—1981 гг. Изд. 2-е, доп. М.: Политиздат, 1981, 384 с., ц. 1 р. 20 к.

В сборник включены основные документы по организации научного природопользования и охраны природы в СССР. Второе издание дополнено законами и постановлениями, принятыми в последние годы, в том числе законами «Об охране атмосферного воздуха» и «Об охране и использовании животного мира». В конце сборника приведен перечень заповедников на территории СССР (с указанием времени образования и площади).

Археология

В. М. Массон. АЛТЫН-ДЕПЕ. Отв. ред. А. П. Окладников. Л.: Наука, 1981, 175 с., ц. 2 р. 50 к.

Автор анализирует материалы пятнадцатилетних раскопок поселения Алтын-Депе, проводящихся силами Южно-Туркменской археологической комплексной экспедиции АН Туркменской ССР и Каракумской экспедиции Ленинградского отделения Института археологии АН СССР.

Это поселение эпохи бронзы (в его составе находятся остатки мощной стены из сырцового кирпича, предметы быта и культа, позволяющие выделить так называемые «квартал знати» и «массив жилых кварталов», погребальные камеры) дает возможность говорить о существовании на юге Средней Азии того времени своеобразной протогородской цивилизации.

Исследование находок свидетельствует, что Алтын-Депе

не имел сложную внутреннюю структуру, в которой получила отражение и социальная дифференциация, и ремесленная жизнь. В конце III — начале II тыс. до н. э. эта область широко использовала месопотамские культурные эталоны, была тесно связана с древнеиндийской цивилизацией Хараппы. Располагаясь между этими двумя важнейшими культурными очагами, Алтын-Депе как бы фокусировал сложные процессы взаимодействий и взаимовлияний, объединявшие страны и народы Древнего Востока в единую систему, образующую пояс цивилизаций Старого Света.

Философия естествознания

Д. И. Дубровский. ИНФОРМАЦИЯ, СОЗНАНИЕ, МОЗГ. М.: Высш. школа, 1980, 286 с., ц. 1 р. 50 к.

Попытки решить проблему «сознание и мозг» можно обнаружить у самого истока научной мысли. Они развивались в разных направлениях в силу исторической обусловленности и прежде всего уровня развития знаний. Сегодня, несмотря на значительные успехи в исследовании мозга, достижения нейрофизиологии, нейрокибернетики, психофизиологии, спектр подходов к этой проблеме не сузился. На одном его краю находятся исследователи, объявляющие проблему связи сознания и мозга псевдопроблемой и предпочитающие искать объяснения феномена сознания в рамках гуманитарного знания. На другом — исследователи, сводящие сознание к физическим и химическим процессам, протекающим в мозгу.

Рассматриваемая проблема постоянно находится в центре внимания Д. И. Дубровского (в 1971 г. увидела свет его книга «Психические явления и мозг»). Основная часть новой книги посвящена информационному подходу к решению проблемы. С кратким изложением его сущности наши читатели уже смогли познакомиться благодаря публикации статьи Д. И. Дубровского «Сознание и мозг» («Природа», 1978, № 8).

Тематический указатель журнала «Природа» 1981 года

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Взаимосвязь общественных, естественных и технических наук. Кедров Б. М., Смирнов П. В., Юдин Б. Г. Лауреаты Нобелевской премии 1980 года по физике — Дж. Кроуин и В. Фитч. Смендырев М. А. Лауреаты Нобелевской премии 1980 года по химии — П. Берг, У. Гилберт, Ф. Сенгер. Баев А. А. Лауреаты Нобелевской премии 1980 года по медицине — Дж. Снелл, Б. Бенацераф, Ж. Доссе. Петров Р. В.	1	2
Наука и строительство коммунизма	2	2

Мстислав Всеволодович Келдыш.
К 70-летию со дня рождения

Выдающийся ученый и организатор советской науки и техники. Седов Л. И.	2	84
Воспоминания о М. В. Келдыше. Лаурентьев М. А.	2	91
Золотая медаль им. М. В. Келдыша — академику Г. И. Марчуку*	2	93

Юбилей юннатского движения. Яблоков А. В., Быкова Л. Г.*	2	117
Сергей Иванович Вавилов. К 90-летию со дня рождения. Из воспоминаний о С. И. Вавилове. Марков М. А.	3	64
Современная научно-техническая революция: ее содержание и перспективы. Апокин А. И.	4	66
Структура современного научного исследования природы. Зотов А. Ф.	4	80
Новые научные награды*	4	119

Объединенный институт ядерных исследований — прошлое и будущее. К 25-летию основания С чего начиналась Дубна. Мещеряков М. Г.	5	2
	5	24

К 150-летию открытия электромагнитной индукции. Цверева Г. К.	5	53
Научные сообщества. Левин А. Е.	5	86
Стратегия научного поиска. Иваницкий Г. Р.	6	2
Первый ахроматический микроскоп. Гурников В. А.	6	58
Достояние всего мира. К 150-летию со дня рождения Дж. К. Максвелла. Кирсанов В. С.	6	84
Общее собрание Академии наук СССР*	6	107
Золотые медали им. М. В. Ломоносова за 1980 г.*	6	108
Творческий процесс и ступени познания. Кедров Б. М., Гиндиялис Н. Л. Дрезденский Государственный математико-физический салон. Шеллинг К., Греч Х.	7	14
«Секреты» колокольного ремесла. Шашкина Т. Б., Кондрашина В. А.	8	32
Ламарки, Вернадский и биосферология. Гегамян Г. В.	8	78
	9	78

Этнические контакты и окружающая среда. Бородай Ю. М.	9	82
---	---	----

Отто Юльевич Шмидт. К 90-летию со дня рождения. Автобиография. Шмидт О. Ю.	10	56
Воспоминания об О. Ю. Шмидте. Александров П. С.	10	61
Отто Юльевич Шмидт — редактор «Природы». Абремов Л. С.	10	67

Музей П. Ф. Рокицкого. Рылушкин В. И.*	10	111
На заре советской гельминтологии. Фраули В. Х.	11	89
«Природа» до «Природы». Успенская Н. В.	11	64

«Основа основ научно-технического прогресса — это развитие науки». К 75-летию со дня рождения Л. И. Брежнева	12	2
К столетию «Археологии России» А. С. Уварова. Формозов А. А.	12	61
О природе логических парадоксов. Уемов А. И.	12	88

АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ПЛАНЕТОЛОГИЯ

Запуски космических аппаратов в СССР (сентябрь — октябрь 1980 г.)*	1	107
Два геохимических типа коры Марса*	1	107
Новые имена на карте Марса*	1	108
Завершена четвертая длительная экспедиция на «Салюте-6». Никитин С. А.*	1	109
Солнечные вспышки и радиоизлучения гелия. Миросинченко Л. И.*	2	103
Структура Лабинкыр — еще одна астроблема*	2	103
Имя академика А. П. Виноградова — на картах Луны и Марса. Флоренский К. П., Бурба Г. А.*	2	104
Галилей видел Нептун в 1612 году. Сурдин В. Г.*	3	106
Обнаружена крупномасштабная анизотропия реликтового излучения*	3	107

Двадцать лет спустя. Раушенбах Б. В.	4	4
Из воспоминаний. Благоиризов А. А.	4	14
Теоретик космонавтики. Аздуевский В. С.	4	20
Программа «Интеркосмос» и полеты международных экипажей. Никитин С. А.	4	30
Медицинские исследования на советских пилотируемых космических кораблях. Газенко О. Г., Генин А. М., Егоров А. Д.	4	42

Запуски космических аппаратов в СССР (ноябрь — декабрь 1980 г.)*	4	100
«Союз Т-3»*	4	101
«Прогноз-8». Никитин С. А.*	4	102
Золотая медаль им. Б. М. Петрова*	4	103
Обнаружены линии в спектре космических γ-всплесков*	4	103
Радиоинтерферометр Крым — Пушино*	4	104
Первые названия на карте Венеры. Бурба Г. А.*	4	105
Получение псевдосплавов в космосе*	4	105
Ртуть ищут из космоса*	4	106
Астероид необычной формы*	4	106
Происхождение Черного камня из Каабы*	4	107
Гравитационное излучение и эволюция карликовых двойных звезд. Масевич А. Г., Тутуков А. В., Юнгельсон Л. Р.	5	68

Запуски космических аппаратов в СССР (январь — февраль 1981 г.)*	5	105
Обнаружены новые спутники Юпитера*	5	105
Тектитовое кольцо вокруг Земли*	5	106
Квазары и крупномасштабная структура Вселенной. Комберг Б. В.	6	103
«Интеркосмос-21»*	6	106
Пятая основная экспедиция на «Салюте-6». Никитин С. А.*	6	106
Определено новое значение постоянной Хаббла*	6	109
Планетарные туманности. Шкловский И. С.	7	3
«Вояджер-1» в мире Сатурна. Бурба Г. А.	7	93
Запуски космических аппаратов в СССР (март — апрель 1981 г.)*	7	103
Космический полет советско-монгольского экипажа. Никитин С. А.*	7	103
Вспышка сверхновой в галактике NGC4536. Сурдин В. Г.*	7	105
Геологические карты Марса. Клейнер Ю. М.*	7	105
Космический полет советско-румынского экипажа. Никитин С. А.*	8	102
Завершена пятая основная экспедиция на «Салюте-6». Никитин С. А.*	8	103
Завершена работа «Викингов»*	8	104
Новая программа спутника «Пионер — Венера-1»	8	106
Решена ли загадка рентгеновских барстеров. Льюни У. Х. Дж.	10	86
Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1981 г.)*	10	100
Тройной квазар — эффект гравитационной линзы? Сурдин В. Г.*	10	101
Рентгеновское гало вокруг галактики М 87*	10	100
Химическая и динамическая эволюция Галактики. Сучков А. А.	11	56
Запуски космических аппаратов в СССР (июль — август 1981 г.)*	11	104
Проект «Болгария». Никитин С. А.*	11	104
Комета на орбите вокруг Сатурна*	11	106
Аргон у поверхности Луны*	11	107
Уникальный объект S5433. Колыхалов П. И., Любарский Ю. Э.	12	19
Сейсмические свойства поверхностного слоя Луны*	12	109
Гигантский пузырь горячего газа в галактической межзвездной среде. Имшенник В. С.	12	33

ФИЗИКА

Прямое превращение химической энергии в электрическую. Лидоренко Н. С., Мучник Г. Ф.	1	8
Ультрахолодные нейтроны. Фраки А. И.	1	30
Последний замысел Эйнштейна: объединение фундаментальных взаимодействий и свойств пространства — времени. Салам А.	1	54
Ускорение тепловых нейтронов возбужденными ядрами*	1	110

Связанные состояния нейтронов в веществе*	1 110	Имшенник В. С., Сасоров П. В., Франк А. Г.	7 99
Открытие нового очарованного бариона*	1 111	«Гало-лазер»	7 106
Обнаружены гиперядра, содержащие Σ^- -частицы*	1 112	Гигантское увеличение выхода фотозффекта*	7 107
От токамака к сферомаку*	1 113	Гомогенная кристаллизация углерода*	7 107
Проблемы энергетикки. Логасов В. А., Кузьмин И. И.	2 8	Искусственный двумерный кристалл*	7 107
Хаотическая динамика простых систем. Гапонов-Грезов А. В., Рабинович М. И.	2 54	Голография — что мы знаем о ней сегодня. Денисюк Ю. И.	8 10
Зеркальная симметрия и деление ядер. Данилян Г. В.	2 94	Электроны на поверхности Ферми. Каганов М. И.	8 20
Сплавы «запоминают» механические напряжения*	2 105	Удержание плазмы амбиполярными ловушками*	8 106
Обратный эффект Фарадея и счет одиночных фотонов*	2 105	Получение пучка фотонов высоких энергий*	8 108
Эффект Саньяка в волоконно-оптическом интерферометре*	2 106	Лазер «лечит» микросхему*	8 108
Вселенная в нейтринном свете.	3 13	Компенсация эффекта Доплера и направленное сверхизлучение*	8 109
Березинский В. С.	3 13	Изучение дислокаций с помощью ЭПР*	8 109
Каналирование и электромагнитное излучение канализованных частиц. Калашников Н. П.	3 91	Обнаружен мезон η_c *	8 110
Четвертая Υ -частица*	3 108	Двигатели на водороде. Бармин В. П., Варшавский И. Л., Гончаров В. В.	9 22
Пущен первый источник синхротронного излучения рентгеновского диапазона. Артемьев А. И.*	3 109	Спектроскопические измерения газовых примесей в атмосфере. Дьянов-Клоков В. И.	9 86
Охлаждение вызывает взрыв*	3 109	Квантовая электродинамика сверх- сильных полей. Попов В. С.	10 14
Звук переносит электронно-дырочные капли*	3 109	Лазер в атмосфере Марса*	10 103
«Исчезающие зеркала»*	3 110	Наблюдение нового распада t -лептона*	10 103
Обработка поверхностей с помощью электронных ускорителей*	3 111	Большое Красное пятно Юпитера — солитон Россби?*	10 114
Гамма-излучение и волны в атмосфере*	3 111	Черные дыры, термодинамика, информация. Киржниц Д. А., Фролов В. П.	11 2
Определение времени жизни очарованных частиц. Вайсенберг А. О.	4 74	Электронные явления на поверхности германия*	11 108
Резонансная генерация субдоменов в ферромагнетике*	4 107	Запаздывающая трехнейтронная активность ядер ^{11}Li *	11 107
Измерены скорости переноса энергии и электронов при фотосинтезе*	4 108	«Кинжальное» плавление металла*	11 108
Органический сверхпроводник*	4 109	Лазер печатает с помощью ЭВМ*	11 109
Технеций-99 в радиографии*	4 109	Гравитационные эксперименты от Кавендиша до наших дней. Брагинский В. Б.	12 70
Образование быстрых частиц в реакциях с тяжелыми ионами*	5 106	Ускорители нового поколения и их задачи. Арутюнян И. Н.	12 36
Изменение формы ядра при захвате нейтрона*	5 107	Измерение сверхмалых перемещений. Чельцов В. Ф.*	12 95
Поиски суперъядер*	5 108	Исследование жидких металлов с помощью синхротронного излучения*	12 96
Глубоконеупорное рассеяние глюонов на нуклонах*	5 109	Сплавы с высокотемпературной памятью формы*	12 96
Возбуждение электромагнитных колебаний в диэлектрических шариках*	5 109	Изучаются распады Υ -мезона*	12 97
Перепоглощение фотонов в полупроводнике. Чельцов В. Ф.*	5 110	«Прелестные» частицы обнаружены*	12 97
Доменная структура в электронной голографии*	5 110	Кристаллы метана	12 98
Гамма-излучение и волны плазмы в атмосфере. Гальпер А. М., Лейков Н. Г., Лучков Б. И.	6 14	Поиски новых источников энергии*	12 98
Стоячие волны рентгеновского излучения*	6 109		
Моделирование сверхскоростного удара*	6 110		
Рентгеновские спектры тяжелых атомов*	6 110		
Сверхчувствительная магнитометрия и биомагнетизм. Введенский В. Л., Ожогин В. И.	7 23	МАТЕМАТИКА	
Новые возможности лазерного абсорбционного анализа. Колобашкин В. М., Попов А. И.	7 50	Случайность неслучайного. Синай Я. Г.	3 72
Школа по космической физике.		Модель климата и глобальная экология. Александров В. В., Моңсеев Н. Н.	9 68

ХИМИЯ

Способ осуществления каталитических реакций*	1	114
Разложение воды на радикалы под действием лазерного луча*	2	107
Элементотропные превращения химических соединений*	2	107
Старение и стабилизация полимеров. Эмануэль Н. М.	5	77
Фтор-фосфатные оптические стекла*	5	111
Химия медико-биологических полимеров. Платэ Н. А., Валуев Л. И.	6	22
Влияние микродобавок на однородность расплавов*	7	108
Пленки из окислов металлов повышают прочность стекла*	8	111
Новые катализаторы для синтеза углеводородов*	9	29
Получение удобрений при производстве синтетических кислот*	9	108
Получение литых изделий из тугоплавких веществ*	10	105
Магнитные поля и химические реакции. Молин Ю. Н.	11	24

ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ.
БОТАНИКА.
ЗООЛОГИЯ.
СИСТЕМАТИКА.
ЭКОЛОГИЯ

Массовые зимовки птиц и китов в полынях Берингова моря. Богословская Л. С., Вотрогов Л. М.	1	42
Рост кислотности атмосферных осадков. Булаткин Г. А.*	1	88
Новый способ мечения грызунов*	1	115
Масштабы антропогенного загрязнения биосферы свинцом*	1	118
Пути улучшения пустынных пастбищ Средней Азии. Мечева Н. Т., Шамсутдинов Э. Ш., Мухаммедов Г. М.	2	40
Ориентирование тушканчиков с помощью вибрисс*	2	110
Исследование биополимеров в систематике высших растений. Антонов А. С.	3	2
Влияние аномально холодной зимы в Белом море на размножение гренландского тюленя. Назаренко Ю. И.	3	50
Каменка-плясунья: поведение и жизнь в сообществе. Иванский В. В.	3	54
Охотничье поведение сапсана на зимовке. Резанов А. Г.	3	103
Брачные игры сибирского углозуба. Григорьев О. В.	3	104
Цветущие растения жень-шеня из культуры тканей*	3	113
Угнетающее действие пыльцы*	3	113
Мамонты и микрофауна. Криволицкий Д. А., Друк А. Я.	3	114

Океан и эволюция водно-солевого гомеостаза. Наточин Ю. В.	4	48
Бурые грифы и белоголовые совы в Центральном Казахстане. Фадеев В. А.	4	99
Ультрафиолетовая радиация угнетает морскую фауну*	4	111
Фенетика и гомеостаз развития. Захаров В. М.*	4	111
Возможный путь возникновения тетраплоидных форм у позвоночных. Васильев В. П.*	4	112
Зачем наравалу роги*	4	114
Элодея канадская проникла в Байкал. Неронов Ю. В., Майстренко С. Г.*	4	111
Биологический азот в природе и в сельском хозяйстве. Мишустин Е. Н., Черепков Н. И.	5	28
Птицы в городе. Благодислов К. Н.	5	43
Рыба чистит водоемы*	5	115
Экологические минусы лесоразведения*	5	115
Еще раз о нерпичьих лунках на Байкале. Пастухов В. Д.	6	74
Изменение пола у растений ионем кобальта и серебра*	6	115
Изотоп кислорода помогает проследить миграцию китов*	6	115
«Няньки» у зимородка*	6	116
Альтруистическое поведение крыс*	6	117
Нежелательные растения-вселенцы*	6	117
Природная среда речного устья*. Выращены изолированные плоды томатов*	7	113
Индивидуальное опознание морских котиков по дерматоглифике. Нестеров Г. А.*	7	114
Способность китов распознавать звуки*	7	115
Подражательная окраска у саламандр*	7	116
«Морской снег». Несис К. Н.	8	62
Палеозитоботанические исследования в древнейших земледельческих центрах. Янушевский Э. В.	8	65
Два типа пыльцы в одном цветке*. Кванка — новый зимующий вид на территории Европейской части СССР. Бичерев А. П., Хохлов А. Н.	8	118
Использование аэрофотоснимков для определения количественных характеристик растительности. Петрова И. Ф.*	9	40
Классификация светолюбия растений. Кашкарова В. П.*	9	43
Методологические проблемы современной экологии. Смена ведущих концепций. Гилларов А. М.	9	96
Новый метод оценки состояния пашни и посевов озимых*	9	108
Солеустойчивость придорожных древесно-кустарниковых растений*	9	109

	Параллелизм популяционной динамики близких видов*	9	114		Стимуляция генов мутагенами*	4	111
	Мир в 2000 году*	9	115		Селективное повреждение молекул лазером*	5	111
МББ	Северный олень и нефтепровод*	9	117		Гены чувствительности клеток к действию интерферона*	5	112
МББ	Влияние радиоактивного загрязнения почвы на дождевых червей*	9	118		Фитогормон влияет на мутационные процессы*	5	112
	Пестрый скорпион, его образ жизни. Малинина О. В.	10	82		Синтетический «пептид сна» не активен*	5	113
	О взаимопомощи у животных. Тимонов М. А.	10	115		Молекулярные машины живой клетки. Блюменфельд Л. А.	6	66
	Креветки-чистильщики. Буруковский Р. Н.	10	116		Пересмотрены функции интронов в генах*	6	111
	Северный вогмер в Баренцевом море. Пономаренко В. П.	10	117		Новая форма вируса в клетках проса*	6	114
	Реликт раннего голоцена в микрофауне почв. Михальцова З. А., Кривошлюцкий Д. А.*	10	108		Проблемы и перспективы развития биофизики. Маленков А. Г.	7	78
	Зубная «расческа» полуобезьян*	10	109		Транспорт веществ в бактериальных клетках. Гершанович В. Н.	7	85
МББ	Насекомое с ядовитым газом*	10	109		Актии в хрусталике глаза*	7	108
	Опыление растений грызунами в Западном полушарии*	10	110		Гены, контролирующие фиксацию азота бактериями*	7	109
	Растение защищается*	10	110		Метод очистки интерферона*	7	109
	Экосистема кораллового рифа в лаборатории*	10	110		Замена аминокислоты на зеркально-симметричную вызывает реверсию поведения*	7	110
	Первый случай размножения императорского пингвина в неволе*	11	113		Воздействие света на зрительную клетку*	8	111
	Архитектура и эволюция живых организмов. Сургучев А. П.*	11	109		Изменения поверхности лимфоцитов при сахарном диабете*	8	112
	Взаимная мимикрия хищников и жертв*	11	114		Новые возможности использования липосом*	8	112
	«Диалекты» китов*	11	113	МББ	Простейшая структура жгутиков*	8	117
	Кадмий и здоровье*	11	114		«Радиоадаптация» у высших растений*	9	109
МББ	Кадмий задерживает рост и развитие ячменя*	11	115		Мембрана, живущая вне клетки. Ерохин В. В., Филиппенко Л. Н.	10	32
	Колорадский жук как модель микроразволюции. Козманиук Ф. С.	12	86		Как регулируется образование рибосомных белков*	10	106
	Лягушка, рожающая через рот*	12	103		Необычная внутриклеточная структура у простейших*	10	107
	Новый вид серой полевки*	12	103		Моделирование мембран и мембранная инженерия. Бергельсон Л. Д.	11	15
	Поденки и морские звезды*	12	102		Циклоспорин А при пересадках органов и тканей. Кобринский Г. Д.*	11	110
	Интересная приспособительная особенность у растений*	12	105		Побочные эффекты геной инженерии*	11	109
	ГЕНЕТИКА.				Ионные каналы постсинаптической мембраны. Брейжестовский П. Д., Дуини-Барковский В. Л., Потапова Т. В.	12	24
	МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ.				Грудное молоко стимулирует синтез ДНК*	11	112
	БИОХИМИЯ.				Процессы восстановления ДНК после облучения*	12	99
	БИОФИЗИКА.				Широкая изменчивость хромосом слепушонки в сейсмически активном районе. Воронцов Н. Н.*	12	100
	МИКРОБИОЛОГИЯ.				Прогноз урожайности гибридов кукурузы*	12	106
	ЦИТОЛОГИЯ				Механизм действия бактерий, ускоряющих рост растений	12	101
	Гены, регулирующие действие интерферона*	1	114		МЕДИЦИНА.		
	Квадратные бактерии*	1	116		ФИЗИОЛОГИЯ.		
	Мутационный процесс у человека и прогнозирование его эффектов. Бочков Н. П.	2	32		ПСИХОЛОГИЯ		
	Определена первичная структура β-субъединицы РНК-полимеразы*	2	108		Интерферон. Кобринский Г. Д.	1	20
	Строение актиновых генов*	2	108		Сердце — «орган-мишень» для андрогенов*	1	115
	Полезные вирусы человека*	2	109		Психология: итоги, проблемы, эксперименты. Ломов Б. Ф.	2	24
	Микробные препараты в борьбе с мышшевидными грызунами. Семанов В. В.	3	81		Лечение коронарного атеросклероза*	3	115
МББ	Инсектицид из томатов*	3	112				
	Небные миндалины — новый источник интерферона*	3	112				
	Арабидобрассика — растение, созданное человеком*	4	73				
	Первичная структура интерферона*	4	110				

Особенности сна у курильщиков*	4	113	Новый механизм образования осадочных руд железа*	2	113
Ультразвук и противоопухолевый иммунитет*	5	113	Тектоническая карта Северной Евразии. Шлезингер А. Е.*	2	114
Тучных становится больше*	5	114	Чароит — новый минерал ювелирно-поделочный камень. Портнов А. М.*	2	114
Попытки лечения метастазов*	5	114	Будущее ресурсов гелия. Якуцев В. П.	3	24
Гибридомы против раковых клеток*	6	112	Фосфаты в Тихоокеанском районе. Юдин Н. И., Арсеньев А. А., Ручкина Ю. Р., Плотникова Л. Я.	3	46
Успешная пересадка клеток, вырабатывающих инсулин*	6	113	Редкие формы самородной меди. Онищенко В. Я.	3	52
Музыку воспринимает не только правое полушарие мозга*	6	114	Роль растительности в миграции минеральных веществ в атмосферу. Бондарев Л. Г.	3	86
Иммунофармакология — новое перспективное направление современной фармакологии. Ковалев И. Е.	7	69	Гидротермальный процесс в океане (70-й рейс «Гломара Челленджера»). Мигдисов А. А.	3	100
Бластозин усиливает эффект лучевой терапии опухолей*	7	111	Открыт новый бассейн калийных солей в Восточной Сибири*	3	117
Создана вакцина против гепатита*	7	111	Мониторинг углеводистых соединений. Флоровская В. Н.*	3	118
Переливание крови при пересадке органов*	7	112	Обнаружено продолжение Байкальской рифтовой зоны*	3	119
Видит ли человек с гипнотически внушенной слепотой?*	7	112	Конгресс геологов в Париже. Крылов И. Н.	4	88
Условно ли «условная негативная волна»?*	7	113	Геологическая история Южной Атлантики. 71-й рейс «Гломара Челленджера». Крашенинников В. А., Басов И. А.	4	94
Т-лимфоциты в борьбе с опухолями*	8	113	Горючие газы подземных вод. Зорькин Л. М.	5	36
Еще один способ диагностики рака*	8	113	72-й рейс «Гломара Челленджера». Сузюмов А. Е.*	5	116
Норадреналин и шизофрения*	8	114	Карта теплого потока Северной Атлантики*	5	119
Генетические основы интеллекта*	8	114	Ранняя история планеты Земля. Барсуков В. Л.	6	30
Способность детей отличать намеренные действия от случайных*	8	115	Крым — природный геологический музей. Короновский Н. В.	6	39
Связь эмоциональной реакции на алкоголь с последующим алкоголизмом*	8	116	Что же такое кольцевые структуры? Кутейников Е. С., Кутейникова Н. С.	6	48
Заболееваемость раком легкого раст.*	9	110	«Живой» диапир Кобыстана. Матапов Ф. А.	6	94
Озон тормозит рост опухолей*	9	110	Карта разломов. Шлезингер А. Е.*	6	119
Синтетическая вакцина против дифтерии*	10	107	Глубинный тепловой поток в Черноморской впадине*	6	119
Кормление грудью и умственные способности девочек*	10	108	Распределение на Земле подводных ресурсов нефти и газа*	6	120
Селекция противоопухолевых препаратов*	11	111	Эволюция магматизма в истории Земли. Богатиков О. А.	7	32
Новый способ опухолевой терапии*	11	112	Молодые вулканы Станового хребта. Николаев В. В., Семенов Р. М.	7	48
Лечение опухолей иммунотоксинами*	11	111	Сеть разломов земной коры. Суворов А. И.	7	61
Кристалл измеряет давление крови	12	97	73-й рейс «Гломара Челленджера». Торчигина Л. А.*	7	119
Проблемы пересадки органов*	12	101	Мобилизм и тектоническая расчлененность литосферы. Лейве А. В., Трифонов В. Г.	8	2
Лечение бессоницы*	12	102	Галактическая цикличность геологических процессов. Багдасаров Ю. А.	8	57
ГЕОЛОГИЯ.			Структуры «конского хвоста» и руды. Невский В. А.	8	74
ГЕОХИМИЯ.			74-й рейс «Гломара Челленджера». Торчигина Л. А.*	8	119
МИНЕРАЛОГИЯ			Вертикальные движения земной коры на Сахалине*	8	120
Стронций-90 в биосфере. Тюрюканова Э. Б.	1	44	Радиоуглеродный анализ на службе сейсмотектоники*	8	120
Гидрохимические исследования в бассейне Верхней Оки. Заславская М. Б., Сороковиков В. А.*	1	85	Кадмий в водных бассейнах*	8	121
Тектоническая карта Южной Америки. Шлезингер А. Е.*	1	117			
Гафний в осадках Тихого и Индийского океанов*	1	117			
Красный янтарь. Сребродольский Б. И.*	1	118			
Атмосфера и породы поверхности Венеры: факты и прогнозы. Барсуков В. Л., Волков В. П.	2	75			
Советско-польский проект «Граница докембрия и кембрия». Фендонкин М. А.*	2	112			

	Генезис степных блюдец. Порожнякова О. М.*	9	42		Мутность атмосферы — показатель глобального загрязнения. Медведева И. Ф., Фадеев Н. Н.*	1	89
	Геологический заповедник — база для решения геологических проблем. Бороваикова Л. И.	9	44		Будущее Арала и Приаралья. Кузнецов Н. Т.	2	66
	Мышь в морских экосистемах*	9	110		Как долго формируются почвы? Модель общей циркуляции атмосферы и океана*	2	112
	Московская геотемпературная аномалия*	9	111			2	115
	Включения в минералах раскрыли их генезис. Пузанов Л. С. Геохимия окаменелых деревьев. Рихтер В. А.	10	23		В экологических нишах ледников. Маркин В. А.	4	55
	Под землю, чтобы сберечь Землю. Шапова П. Ф., Зильберберг А. Ф.	10	40		Конкреции барита на дне Японского моря*	4	116
		10	71		Состав и возраст вод первичного океана*	4	116
	Старые оползни Крыма. Никонов А. А.	10	119		Атмосферные осадки над городом*	4	117
	Комплексная переработка морской воды*	10	105		Оценка континентальных и океанических месторождений металлов*	4	117
	Янтарь на Волыни. Сребродольский Б. И.*	10	113		Иод в почвах Алтая*	5	116
	Палеогеография Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Марковский Н. И.	11	34		Проблемы Сарезского озера. Агаханянц О. Е.	7	41
	Первое геологическое описание острова Кокос*	11	118		Необычайно жаркое лето в США в прошлом году*	7	119
	Открыты новые оси расширения дна Тихого океана. Сузюмов А. Е.*	11	33		Многоликое сосуществование соленых и пресных вод. Федоров К. Н.	8	46
	Литосфера Южного океана*	11	117		Новое издание «Международной батиметрической карты океанов». Агапова Г. В., Удинцев Г. Б.	8	60
	Рифты — элементы саморазвития земной коры. Постельников Е. С.	11	100		Дистанционные измерения запасов воды в снеге. Ясинский С. Ф.*	9	41
	Новая геохимическая модель Земли. Ларин В. Н.	12	17		Изменения в ионосфере при запуске «НЕАО-III»*	9	112
	Люминесцентные индикаторы геосфер. Портнов А. М., Горобец Б. С.	12	52		Кадмий и серебро в Черном море*	9	113
	ГЕОФИЗИКА. ВУЛКАНОЛОГИЯ. СЕЙСМОЛОГИЯ				Судьба малых рек. Субботин А. И.	10	2
	Лидеры в экологическом мониторинге. Торговичев В. А., Климова Т. И., Фадеев Н. Н.*	1	84		Геоморфология дна Филиппинского моря. Сузюмов А. Е.*	10	111
	Неравносильный уран в диагностике подземных вод*	3	118		Ветры загрязняют города Русской равнины*	10	112
	Защита против цунами. Соловьев Л. С.	5	54		Палеоклимат Шпицбергена и проблемы тектоники Арктики. Клитин К. А.*	10	113
	Редкая особенность редкоземельных элементов. Пушаровский Д. Ю.*	7	116		Миграция цезия-137 в почвах*	12	106
	Гидродинамические модели климата. Курбаткин Г. П.	10	43		Подледниковые озера Антарктиды. Богородский В. В., Шереметьев А. Н.	12	49
	Планетарная сейсмическая активность возросла*	11	118		Богореконструкция северной части Тихого океана. Сузюмов А. Е.*	12	106
	Вулканы на дне Красного моря*	12	108		Динамика вод Берингова моря*	12	107
	ГЕОГРАФИЯ. ПОЧВОВЕДЕНИЕ. МЕТЕОРОЛОГИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ. ОКЕАНОЛОГИЯ				ПАЛЕОНТОЛОГИЯ		
	О современных проблемах Каспийского моря. Воронцов Г. В., Косеров А. Н.	1	61		Уникальное местонахождение древнейших животных*	2	110
					Крупнейшая птица на Земле*	4	119
					Крупнейшее местонахождение докембрийской фауны. Федонкин М. А.	5	94
					Морские крокодилы в мезозое Поволжья. Очев В. Г.	5	103

АРХЕОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ. ДЕМОГРАФИЯ

Развенчание рамапитеков! Ур-сон М. И.*	3	115
Антропоморфная подвеска с Охотского побережья. Лебединцев А. И.*	3	120
У истоков гонимого искусства. Бобринский А. А.*	4	118
Урбанизация продолжается*	5	121
Каналы древних майя. Гуляев В. И.*	5	122
Палеолитическое жилище: его геометрия и экология. Гричан Ю. В.	6	96
Гробница III тысячелетия до нашей эры в Прикубанье. Ермолова Н. М., Резепкин А. Д.	6	58
Новые открытия в прибрежной пустыне Перу. Березкин Ю. Е.*	7	119

 Природа и первобытное сознание. Кабо В. Р.	8	88
--	---	----

 К истории леса Индерских гор. Джубанов А. А.*	9	114
Древнейшая глиняная статуэтка с берегов Енисея. Васильев С. А.*	10	114
Древнейшее земледелие на Ближнем Востоке. Мерперт Н. Я.	11	42
Скульптура медведя 30 тысяч лет. Константинов М. В., Сумароков В. П., Ермолова Н. М., Филиппов А. К.*	11	119
Исчезнувшие народы. Тайрона. Березкин Ю. Е.	12	76

ОХРАНА ПРИРОДЫ

Приокско-Террасный биосферный заповедник. Ковда В. А., Керженцев А. С., Блистанов А. С., Заблочкин Л. В.	1	74
Лишайники — индикаторы загрязнения среды тяжелыми металлами. Золотарева Б. Н., Скрипиченко И. И., Мартин Ю. Л.*	1	86
Амурский тигр. Успехи восстановления вида. Животченко В. И.	1	91
Мангры в опасности*	1	119
Водные беспозвоночные — индикаторы загрязнения водоемов*	2	111
Успешный опыт реинтродукции кулана в Туркмени. Баниников А. Г.*	2	115
Советско-американские исследования китообразных в Тихом океане. Берзин А. А.*	2	116
Сихотэ-Алинский биосферный заповедник. Смирнов Е. Н., Подушко М. В., Васильев Н. Г.	3	32
Гренландский кит в Обской губе. Васильчук Ю. К., Яблоков А. В.*	3	116
Изучается калифорнийский кондор* Камчатская «долина смерти». Лазарев А. А.	4	97
Международное десятилетие обеспечения питьевой водой и улучшения санитарных условий*	4	115
Индоокеанский заповедник китообразных*	4	115

Путорак. Колоденко А. И.	5	104
Загрязнение среды ДДТ*	5	121
Современное состояние популяций гренландского кита. Берзин А. А.	6	81
Состояние атмосферы над Францией*	6	118
Колочехвостый геккончик. Горелов Ю. К.	7	102
Стратегия защиты мест обитания, морских млекопитающих. Рей Дж. К., Доббин Дж. А., Салл Р. В.	8	96
Сближение экономических и экологических целей в охране природы. Федоренко Н. П., Реймерс Н. Ф.	9	3
Из истории охраны природы и организации заповедного дела в первые годы Советской власти (1921—1925)	9	13
Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП). Шокин Л. И.	9	17

Центрально-Черноземный биосферный заповедник		
Геосистемный мониторинг в биосферном заповеднике. Грин Н. М., Утежин В. Д.	9	30
Заповедник им. В. В. Алехина — природное ядро биосферного заповедника. Игнатенко О. С., Краснитский А. М.	9	35

Гибель птиц на автодорогах. Хохлов А. Н.*	9	51
Городской ландшафт Большого Баку. Мустафаев Г. Т.	9	52
Первая гнездовая популяция сорокопутового свистыла на территории СССР. Сопьев О. С.	9	58
Песец острова Медный может исчезнуть. Овсянников Н. Г.	9	59
Военное разрушение биосферы. Смирнов Н. Н.	9	62
Новые заповедники Советского Союза. Штильмарк Ф. Р.*	9	104
Биосферный заповедник в Мексике*	9	105
Международный центр тропической экологии*	9	105
Совместные лимнологические исследования*	9	105
Принят план мониторинга Красного моря*	9	106
Новый банк данных о загрязнении среды*	9	106
«Антишумовое» звуковое поле*	9	106
Обнаружение нефтяных пленок с помощью оптического локаатора*	9	107
Система очистки газовых выбросов от серы*	9	107
Бактерии обесцвечивают воду. Беличенко Ю. П., Бондаренко Е. В.*	9	107
Загрязнение воздушного бассейна Аляски*	9	112

Опасное загрязнение Великих озер*	9	116
Состояние природной среды в Дании*	9	117

Мхи и лишайники как индикаторы радиоактивного загрязнения*	9	118
Меры по спасению Венеции*	9	119
Антропогенные изменения атмосферы Земли*	10	102
Можно ли сохранить земли КМА. Бобринская (Сидорова) В. С.	11	80
Охрана дробы в ГДР. Пенемарев Т. С.	11	50
Кавказская крестовка. Голубев Н. С.	11	104
Облепиха в Бурятии. Амшеев Р. М.	11	76
Остаточное загрязнение почвы ДДТ*	11	116
Большой Барьерный риф взят под охрану*	11	115
ГАЭС и загрязнение водоемов*	12	102
Новые положения об охраняемых природных территориях*	12	104

РЕЦЕНЗИИ

По поводу теории относительности (рец. на кн.: Гинзбург В. Л. О теории относительности). Новиков И. Д.	1	120
Плохая услуга читателям (рец. на кн.: Колосов А. М. Фауна Дальнего Востока и ее охрана в зоне БАМа. Зоогеография Дальнего Востока). Тагния Т. Н., Сухомиров Г. И.	1	122
Ленинские идеи в современном анализе развития науки (рец. на кн.: Кадров Б. М. Ленин и научные революции). Васильев П. В.	2	120
Молодость науки (рец. на кн.: Ленин. Наука. Молодежь). Слещев Н. С.	2	122
Исторические корни советско-американских научных связей (рец. на кн.: Россия и США: становление отношений. 1765—1815). Цверева Г. К.	2	124
От осцилляторов к квантам: идеи, тексты, люди (рец. на кн.: Кун Т. Теория черного тела и квантовая дискретность). Кобзарев И. Ю., Леви А. Е.	3	121
Через тернии — к звездам (рец. на кн.: Теоретическое наследие академика Сергея Павловича Королева). Елисеев А. С.	4	120
В поисках этногенного фактора. (рец. на кн.: Гумилев Л. Н. Этногенез и биосфера Земли. 1. Звено между природной средой и обществом. 2. Пассионарность. 3. Возрасты этноса). Бородай Ю. М.	4	124
Замечательная книга по астрофизике (рец. на кн.: Каплан С. А., Пикельнер С. Б. Физика межзвездной среды). Зельдович Я. Б., Сюняев Р. А.	5	123
Выдающийся химик-органик (рец. на кн.: Ключевич А. С., Быков Г. В. Александр Михайлович Зайцев). Плотикин С. Я.	5	125
Когда логика «либо — либо» неприменима (рец. на кн.: Мороз О. Свет озарений). Цверева Г. К.	6	121
И. И. Мечников — О. Н. Мечниковой (рец. на кн.: И. И. Мечников. Письма к О. Н. Мечниковой. 1876—1899. 1900—1914). Петров Р. В., Пантелеев Э. И.	6	123
«Кто Вы, доктор Кардено?» (рец. на кн.: Гутер Р. С., Полунов Ю. Л. Джироламо Кардено). Бирюков Б. В.	7	120

шими... (рец. на кн.: Блейкер А. Применение фотографии в науке). Шеклени А. В.	7	122
«Будьте героями!» (рец. на кн.: Николай Иванович Вавилов. Из эпистолярного наследия 1911—1928 гг.). Алексеев В. П.	8	122
О природе шаровой молнии (рец. на кн.: Стаханов И. П. Физическая природа шаровой молнии). Коган В. И.	8	124

Экология и эволюция (рец. на кн.: Пиванка Э. Эволюционная экология). Яблоков А. В.	9	120
--	---	-----

Тропы, которые нельзя прокладывать (рец. на кн.: Заповедными тропами). Штильмарк Ф. Р.	9	121
--	---	-----

Технические заметки МАБ (рец. на кн.: МАБ Technical Notes). Наровнов В. М.	9	123
--	---	-----

Математика — психология — живопись (рец. на кн.: Раушенбах Б. В. Пространственные построения в живописи. Очерк основных методов). Антипов А. И.	10	120
---	----	-----

В защиту пернатых хищников (рец. на кн.: Галушин В. М. Хищные птицы леса). Дроздов Н. Н.	10	123
--	----	-----

Минусы числа и плюсы мысли (рец. на кн.: Число и мысль. Вып. 3). Прехеров А. В.	11	122
---	----	-----

Выдающийся биолог-эволюционист А. С. Фаминцын (рец. на кн.: Андрей Сергеевич Фаминцын. Жизнь и научная деятельность). Колчинский Э. И.	11	120
--	----	-----

Тематический подход к истории науки: трудности и перспективы (рец. на кн.: Холтом Дж. Тематический анализ науки). Визгин Вл. П.	12	110
---	----	-----

НОВЫЕ КНИГИ

1 87, 124; 2 126; 3 126; 4 87, 122, 126; 5 126; 6 125; 7 124; 8 126; 9 126; 10 124; 11 124; 12 115.		
---	--	--

В КОНЦЕ НОМЕРА

Выставка художников-анималистов. Шитикова Л. М.	1	127
Как выступать на семинаре (из цикла «Полезные советы ученым»). Афанасьев Ю. В.	6	126
Как создать сотрудничество. Верстов С.	7	127
Крапива. Заметка фENOлога	9	128
Собрание. Пьеса в одном действии. Лория К. А.	10	127
Открытие постоянной Марка (научно-ведческие уроки исследования О-систем). Кузнецова Н. И., Шрайдер Ю. А.	11	127

НЕКРОЛОГИ

Виктор Михайлович Галицкий	2	118
----------------------------	---	-----

Авторский указатель журнала «Природа» 1981 года

Абрамов Л. С. 10 67
 Авдеевский В. С. 4 21
 Агапова Г. В. 8 60
 Агаханянц О. Е. 7 41
 Александров В. В. 9 68
 Александров П. С. 10 61
 Алексеев В. П. 8 122
 Амшев Р. М. 11 76
 Антипов А. И. 10 120
 Антонов А. С. 3 2
 Апокин И. А. 4 66
 Арсеньев А. А. (См. Юдин Н. И.)
 Артёмьев А. Н. 3 108
 Арутюнян И. Н. 12 36
 Афанасьев Ю. В. 6 126

Багдасаров Ю. А. 8 57
 Баев А. А. 1 101
 Балдин А. М. 5 9
 Банников А. Г. 2 115
 Бармин В. П. 9 22
 Барсуков В. Л. 2 75; 6 30
 Басов И. А. (См. Крашенинников В. А.)
 Беличенко Ю. П. 9 107
 Бергелъсон Л. Д. 11 15
 Березинский В. С. 3 13
 Берзкин Ю. Е. 7 119; 12 76
 Берзин А. А. 2 116; 6 81
 Бирюков Б. В. 7 120
 Бичерев А. П. 8 118
 Благоднов А. А. 4 15
 Благосклонов К. Н. 5 43
 Блистанов А. С. (См. Ковда В. А.)
 Блюменфельд Л. А. 6 66
 Бобринская (Сидорова) В. С. 11 80
 Бобринский А. А. 4 119
 Богатилов О. А. 7 32
 Боголюбов Н. Н. 5 3
 Богородский В. В. 12 49
 Богословская Л. С. 1 42
 Бондарев Л. Г. 3 86
 Бондаренко Е. В. (См. Беличенко Ю. П.)
 Боровиков Л. И. 9 44
 Бородай Ю. М. 4 124; 9 82
 Бочков Н. П. 2 32
 Брагинский В. Б. 12 70
 Брежневский П. Д. 12 24
 Булаткин Г. А. 1 88
 Бурба Г. А. (См. Флоренский К. П.); 4 105; 7 92
 Буруковский Р. Н. 10 116
 Быкова Л. Г. (См. Яблоков А. В.)

Вайсенберг А. О. 4 74
 Валуев Л. И. (См. Платэ Н. А.)
 Варшавский И. Л. (См. Бармин В. П.)
 Васильев В. П. 4 112
 Васильев Н. Г. (См. Смирнов Е. Н.)
 Васильев П. В. 2 120
 Васильев С. А. 10 114
 Васильчук Ю. К. 3 116
 Вахрушев В. А. 10 40
 Введенский В. Л. 7 23

Верстов С. 7 127
 Визгин Вл. П. 12 110
 Волков В. П. (См. Барсуков В. Л.)
 Воронцов Н. Н. 12 100
 Воропаев Г. В. 1 61
 Вотрогов Л. М. (См. Богословская Л. С.)

Гагина Т. Н. 1 122
 Газенко О. Г. 4 42
 Гальпер А. М. 6 14
 Гапонов-Греков А. В. 2 54
 Гагма Г. В. 9 78
 Генин А. М. (См. Газенко О. Г.)
 Гершанович В. Н. 7 85
 Гиляров А. М. 9 96;
 Гиндилис Н. Л. (См. Кедров Б. М.)
 Говорун Н. Н. 5 16
 Голубев Н. С. 11 78
 Гончаров В. В. (См. Бармин В. П.)
 Горелов Ю. К. 7 102
 Горобец Б. С. (См. Портнов А. М.)
 Греч Х. (См. Шеллингер К.)
 Григорьев О. В. 3 104
 Грин А. М. 9 30
 Гричан Ю. В. 6 96
 Гуляев В. И. 5 122
 Гуриков В. А. 6 58

Данилян Г. В. 2 94
 Денисов Ю. Н. 5 22
 Денисюк Ю. Н. 8 10
 Дзельков В. П. 5 8
 Джубанов А. А. 9 14
 Дианов-Клоков В. И. 9 86
 Доббин Дж. А. (См. Рей Дж. К.)
 Дроздов Н. Н. 10 123
 Друк А. Я. (См. Кривоуцкий Д. А.)
 Душин-Барковский В. Л. (См. Брежневский П. Д.)

Егоров А. Д. (См. Газенко О. Г.)
 Елисеев А. С. 4 120
 Ермолова Н. М. (См. Константинов М. В.); 7 58
 Ерохин В. В. 10 32
 Ефимов А. Е. 9 127

Животченко В. И. 1 91

Заблоцкая Л. В. (См. Ковда В. А.)
 Заславская М. Б. 1 85
 Захаров В. М. 4 111
 Зельдович Я. Б. 5 123
 Зильберборд А. Ф. (См. Швец П. Ф.)
 Златев И. 5 5
 Золотарева Б. Н. 8 86
 Зорькин Л. М. 5 36
 Зотов А. Ф. 4 80

Иваницкий В. В. 3 54
 Иваницкий Г. Р. 6 2

Игнатенко О. С. 9 35
 Имшенник В. С. 7 99; 12 33

Кабо В. Р. 8 88
 Каганов М. И. 8 20
 Калашников Н. П. 3 91
 Капица С. П. 5 126
 Кашкарова В. П. 9 43
 Кедров Б. М. 1 2; 7 14
 Керженцев А. С. (См. Ковда В. А.)
 Киржниц Д. А. 112
 Кирсанов В. С. 6 84
 Клейнер Ю. М. 7 105
 Климова Т. Н. (См. Торговичев В. А.)
 Клитин К. А. 10 113
 Кобзарев И. Ю. 3 121
 Кобринский Г. Д. 1 20; 11 110
 Ковалев И. Е. 7 69
 Ковда В. А. 1 74
 Коган В. И. 8 124
 Колобашкин В. М. 7 50
 Колоденко А. И. 5 104
 Колчинский Э. И. 11 120
 Колыхалов П. И. 12 19
 Комберг Б. В. 6 103
 Кондрашина В. А. (См. Шапкина Т. Б.)
 Константинов М. В. 11 119
 Короновский Н. В. 6 39
 Косарев А. Н. (См. Воропаев Г. В.)
 Кошманов Ф. С. 12 86
 Краснитский А. М. (См. Игнатенко О. С.)
 Крашенинников В. А. 4 94
 Кривоуцкий Д. А. (См. Михальцова З. А.); 3 114
 Крылов И. Н. 4 88
 Кузнецов Н. Т. 2 66
 Кузнецова Н. И. 12 127
 Кузьмин И. И. (См. Легасов В. А.)
 Курбаткин Г. П. 10 43
 Кутейников Е. С. 6 48
 Кутейникова Н. С. (См. Кутейников Е. С.)

Лаврентьев М. А. 2 91
 Лазарев А. А. 4 97
 Ларин В. Н. 12 17
 Лебединцев А. И. 3 120
 Левин А. Е. (См. Кобзарев И. Ю.); 5 86
 Легасов В. А. 2 8
 Лейков Н. Г. (См. Гальпер А. М.)
 Лидоренко Н. С. 1 8
 Ломов Б. Ф. 2 24
 Лория К. А. 10 127
 Лучков Б. М. (См. Гальпер А. М.)
 Люкин У. Х. Дж. 10 86
 Любарский Ю. Э. (См. Колыхалов П. И.)

Майстренко С. Г. (См. Неронов Ю. В.)
 Маленков А. Г. 7 78
 Малинина О. В. 10 82
 Маркин В. А. 4 55

Марков М. А. 3 64
 Марковский Н. И. 11 34
 Мартин Ю. Л. (См. Золотарева Б. Н.)
 Масевич А. Г. 5 68
 Матанов Ф. А. 6 94
 Медведева И. Ф. 1 89
 Мерперт Н. Я. 11 42
 Мещеряков М. Г. 5 24
 Мигдисов А. А. 3 100
 Мирошниченко Л. И. 2 103
 Михальцова З. А. 10 108
 Мишустин Е. Н. 5 28
 Моисеев Н. Н. (См. Александров В. В.)
 Молин Ю. Н. 11 24
 Мустафаев Г. Т. 9 52
 Мухаммедов Г. М. (См. Нечаева Н. Т.)
 Мучник Г. Ф. (См. Лидоренко Н. С.)

Назаренко Ю. И. 3 50
 Наточин Ю. В. 4 48
 Невский В. А. 8 74
 Неронов В. М. 9 123
 Неронов Ю. В. 4 114
 Несис К. Н. 8 62
 Нестеров Г. А. 7 114
 Нечаева Н. Т. 2 40
 Никитин С. А. 1 109; 4 30; 4 102;
 6 106; 7 103; 8 102; 8 103; 11 104
 Николаев В. В. 7 48
 Никонов А. А. 10 119
 Новиков И. Д. 1 120

Овсянников Н. Г. 9 59
 Ожогин В. И. (См. Введенский В. Л.)
 Ошницено В. Я. 3 52
 Очев В. Г. 5 103

Пантелеев Э. И. (См. Петров Р. В.)
 Пастухов В. Д. 6 74
 Пейве А. В. 8 2
 Петров Р. В. 1 104; 6 123
 Петрова И. Ф. 9 40
 Платз Н. А. 6 22
 Плоткин С. Я. 5 125
 Плотнокова Л. Я. (См. Юдин Н. И.)
 Подушко М. В. (См. Смирнов Е. Н.)
 Пономарева Т. С. 11 50
 Пономаренко В. П. 10 117
 Попов А. И. (См. Колобашкин В. М.)
 Попов В. С. 10 14
 Порожнякова О. М. 9 42
 Портнов А. М. 2 114; 12 52
 Постельников Е. С. 11 100
 Потапова Т. В. (См. Брежневский П. Д.)

Прохоров А. В. 11 122
 Пузанов Л. С. 10 23
 Пушаровский Д. Ю. 7 116

Рабинович М. И. (См. Гапонов-Грезов А. В.)
 Раушенбах Б. В. 4 4
 Резанов А. Г. 3 103
 Резепкин А. Д. (См. Ермолова Н. М.)
 Рей Дж. К. 8 96
 Реймерс Н. Ф. (См. Федоренко Н. П.)
 Ручкина Ю. Р. (См. Юдин Н. И.)
 Рылушкин В. И. 10 111

Салам А. 1 54
 Салм Р. В. (См. Рей Дж. К.)
 Саранцев В. П. 5 20
 Сасоров П. В. (См. Имшенник В. С.)
 Седов Л. И. 2 84
 Семаков В. В. 3 81
 Семенов Р. М. (См. Николаев В. В.)
 Синай Я. Г. 3 72
 Сисакян А. Н. 5 23
 Скрипниченко И. И. (См. Золотарева Б. Н.)
 Слепцов Н. С. 2 122
 Смирнов Е. Н. 3 32
 Смирнов Н. Н. 9 62
 Смирнов П. В. (См. Кедров Б. М.)
 Смондырев М. А. 1 98
 Солинский М. 5 4
 Соловьев С. Л. 5 54
 Сопьев О. С. 9 58
 Сорокиных В. А. (См. Заславская М. Б.)
 Сребродольский Б. И. 1 118; 10 113
 Субботин А. И. 10 2
 Суворов А. И. 7 61
 Сузюмов А. Е. 5 116; 10 111; 11 33;
 12 106
 Сумароков В. П. (См. Константинов М. В.)
 Сургучев А. П. 11 109
 Сурдин В. Г. 3 106; 7 105; 10 101
 Сухомиров Г. И. (См. Гагина Т. Н.)
 Сучков А. А. 11 56
 Сюняев Р. А. (См. Зельдович Я. Б.)

Тимонов М. А. 10 115
 Торговичев В. А. 1 84
 Тричина Л. А. 7 116; 8 119
 Трифонов В. Г. (См. Пейве А. В.)
 Тутуков А. В. (См. Масевич А. Г.)
 Тюрюканова Э. Б. 1 44

Удинцев Г. Б. (См. Агапова Г. В.)
 Уемов А. И. 12 88
 Урысон М. И. 3 115

Успенская Н. В. 11 64
 Утехин В. Д. (См. Грин А. М.)

Фадеев В. А. 4 98
 Фадеев Н. Н. (См. Медведева И. Ф.,
 Торговичев В. А.)
 Федонкин М. А. 2 112; 5 94
 Федоренко Н. П. 9 3
 Федоров К. Н. 8 46
 Филиппенко Л. Н. (См. Ерохин В. В.)
 Филиппов А. К. (См. Константинов М. В.)
 Флеров Г. Н. 5 11
 Флоренский К. П. 2 103
 Флоровская В. Н. 3 118
 Формозов А. А. 12 61
 Франк А. Г. (См. Имшенник В. С.)
 Франк А. И. 1 30
 Франк И. М. 5 15
 Фраучи В. Х. 11 89
 Фролов В. П. (См. Киржниц Д. А.)

Хохлов А. Н. (См. Бичерев А. П.);
 9 51
 Хрусталева В. М. 9 13

Цаева Г. К. 2 124; 5 53; 6 121

Чельцов В. Ф. 5 110; 12 95

Чазов В. А. 11 125

Черепков Н. И. (См. Мишустин Е. Н.)

Шамсутдинов З. Ш. (См. Нечаева Н. Т.)

Шашкина Т. Б. 8 78

Швецов П. Ф. 10 71

Шеклеин А. В. 7 122

Шеллингер К. 8 32

Шереметьев А. Н. (См. Богородский В. В.)

Шитикова Л. М. 1 127

Шкловский И. С. 7 3

Шлезингер А. Е. 1 117; 2 114; 6 119

Шмидт О. Ю. 10 56

Шокин Л. И. 9 17

Шрейдер Ю. А. (См. Кузнецова Н. И.)

Штильмарк Ф. Р. 9 104; 9 121

Эмануэль Н. М. 5 77

Юдин Б. Г. (См. Кедров Б. М.)

Юдин Н. И. 3 46

Юнгельсон Л. Р. (См. Масевич А. Г.)

Яблоков А. В. (См. Васильчук Ю. К.); 9 120

Якуцки В. П. 3 24

Янушевич З. В. 8 65

Ясинский С. Ф. 9 41

Художник П. Г. АБЕЛИН
 Художественные редакторы:
 Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР
 Корректоры:
 Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА
 Адрес редакции:
 117049, Москва, ГСП-1,
 Марононский пер., 26.
 Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 6.10.81
 Подписано к печати 26.11.81
 Т—28233
 Формат бумаги 70×100 1/16
 Офсет
 Усл.-печ. л. 10, 32
 Усл. кр.-отт. 2196,0
 Уч.-изд. л. 16,2.
 Бум. л. 4
 Тираж 82 000 экз. Зак. 2539

Ордена Трудового Красного
 Знамени Чеховский
 полиграфический
 комбинат Союзполиграфпрома
 Государственного комитета
 СССР по делам издательства,
 полиграфии и книжной торговли.
 г. Чехов Московской области.



Цена 50 коп.
Индекс 70707

