

8 ПРИРОДА

1982

ионизованный хвост

граница комы

граница
кометной
плазмы

ядро

10^3

10^4

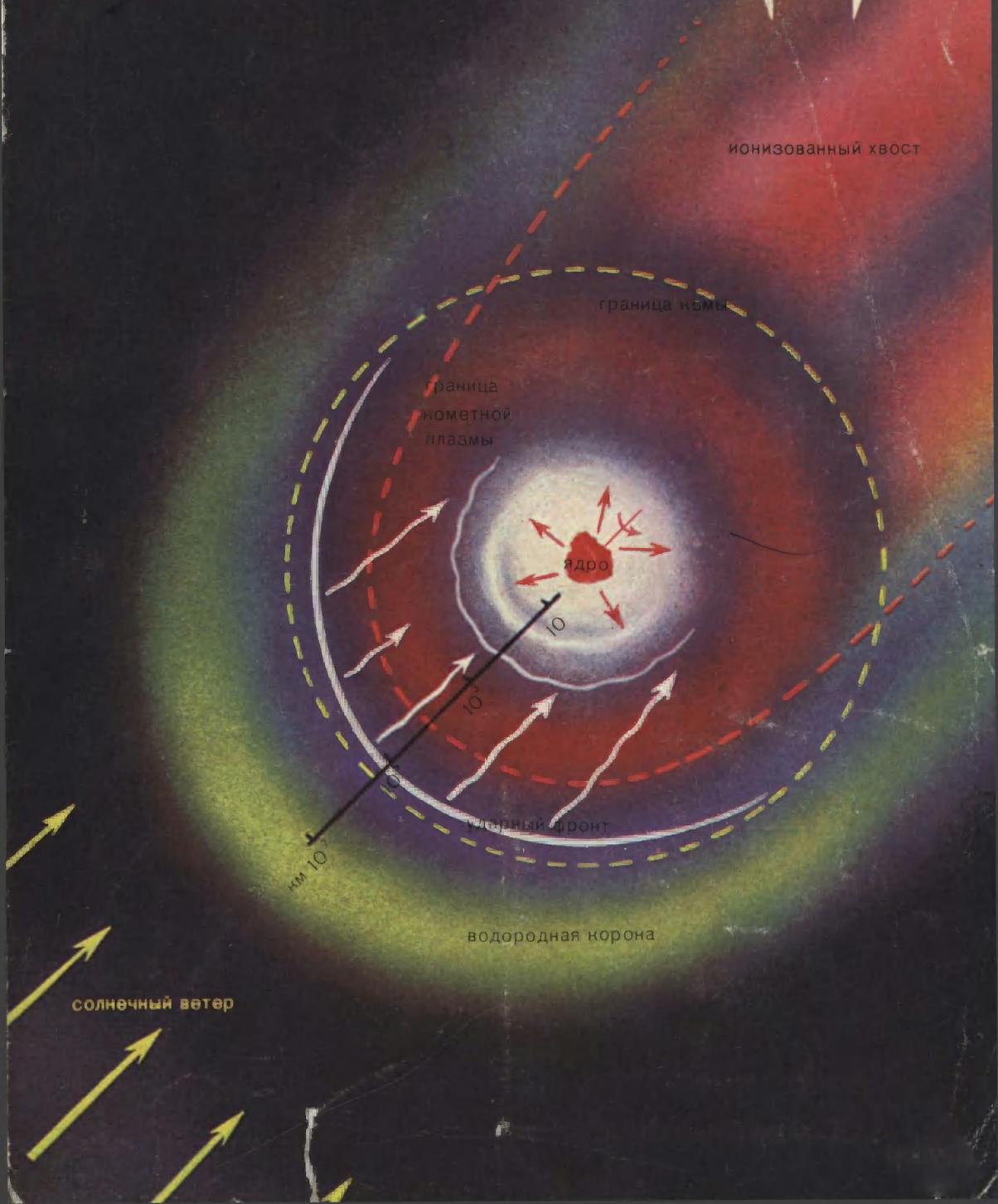
10^5

км 10^7

ударный фронт

водородная корона

солнечный ветер





РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

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

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Доктор экономических наук
В. А. МЕДВЕДЕВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

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

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

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

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ



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

На первой и четвертой страницах обложки. Схема взаимодействия солнечного ветра с кометой и структура головы кометы (1-я с.). Фреска Б. Джотто «Поклонение волхвов». В верхней части фрески изображена комета, получившая название кометы Галлея 1301 г.

См. в номере: Марочник Л. С., Скуридин Г. А. На встречу с кометой Галлея.

В НОМЕРЕ

К 60-ЛЕТИЮ СССР	Марочник Л. С., Скуридин Г. А. На встречу с кометой Галлея	2
	Из «Природы» 1912 года	15, 79
	Гармонов И. В. К Чукотке на «А. Сибирякове»	16
	Попов К. П. Грецкий орех в ущельях Копетдага	26
	Парин Н. В., Должанский В. Ю. Кугитангский слепой голец — первая слепая пещерная рыба в фауне СССР	29
	Долгов А. Д., Зельдович Я. Б. Вещество и антивещество во Вселенной	33
	Милановский Е. Е. Расширяющаяся и пульсирующая Земля	46
	Дайсон Ф. Дж. Будущее воли и будущее судьбы	60
	Шуменко С. И. Вскипающие камни	71
	Ковальзон В. М. Парадоксы парадоксального сна	74
	Краснов С. Г., Лебедев Б. А. Нефть баженовской свиты	80
	ДОСТУПНО И ТОЧНО О ГЛАВНОМ В МИРОВОЙ НАУКЕ	86
	Ломов Б. Ф. Принцип активного оператора в инженерной психологии	87
	Эгами Ф. О возникновении жизни в морской среде	95
ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ	Кривоулицкий Д. А., Покаржевский А. Д., Тхай Тран Бай. Советско-вьетнамские исследования почвенной фауны [101]. Верещагин Б. В., Верещагина И. В. Необычная тля в Восточной Сибири [102]. Статистика землетрясений [102]	101
НОВОСТИ НАУКИ		45, 59, 103
КНИГИ, ЖУРНАЛЫ	Пономарев Л. И. Игорь Евгеньевич Тамм [119]. Гирусов Э. В., Зуб А. Т. Диалектика в науке о живом [121]	119
НОВЫЕ КНИГИ		122
В КОНЦЕ НОМЕРА	Успенская Н. В. Что нам сулит комета Галлея 1986 года?	125

На встречу с кометой Галлея

Л. С. Марочник, Г. А. Скуридин

В первую четверть века космических исследований была проведена своего рода реконструкция внутри Солнечной системы. Главное внимание при этом обращалось на крупные тела — планеты и их большие спутники: были осуществлены встречи, посещения или облет с помощью космических аппаратов всех планет Земной группы вплоть до Меркурия, а также двух планет-гигантов — Юпитера и Сатурна — с системой их спутников.

Сейчас интересы исследователей обратились и к совершенно другому классу объектов Солнечной системы — к малым телам [кометам и астероидам]. Дело в том, что из-за малой массы комет и их значительной удаленности от Солнца они могли на длительное время законсервировать в себе «первозданное» вещество исходной газовой-пылевой туманности, из которой образовалась Солнечная система, и тем самым сохранить очень важную информацию о начальной стадии ее формирования.

Обсуждалось много проектов исследования малых тел. В частности, американскими специалистами по небесной механике были сделаны расчеты, согласно которым можно так подобрать баллистическую траекторию космического аппарата, чтобы за несколько оборотов вокруг Солнца он встретился, например, с десятком астероидов и тем самым с близкого расстояния можно было бы получить новые данные об этих небесных телах. Но астероид, помимо того что является холодным телом, не имеет также газовой и пылевой компонент, — обязательных в случае кометы и позволяющих получить уникальную информацию, вплоть до элементного и даже изотопного состава пылинок, входящих в состав кометных атмосфер. [Конечно, при этом возникает очень сложная задача защиты аппарата от летящих с огромными скоростями частиц массой до 1 г.] Кроме того, комета вызывает мощные возмущения в окружающей межпланетной плазме (солнечном ветре), а астероид такого возмущения не создает.

Поэтому на сегодня весь опыт, накопленный при исследовании Солнечной системы, позволяет составить очень интересную программу дальнейших экспериментов, одним из этапов которой явится экспедиция к комете Галлея. Это довольно активная периодическая комета. Ее очередное посещение Солнечной системы произойдет в 1986 г., об этом и пойдет речь в предлагаемой читателям «Природы» статье Л. С. Марочника и Г. А. Скуридина.

Но, конечно, «кометчики» мечтают о том времени [на это, как мне кажется, потребуется

еще примерно десяток лет], когда космический аппарат может совершить такой маневр, который позволил бы не просто на громадной скорости проскочить мимо кометы, но сблизиться с ней на очень малой скорости, быть может, зайти в хвост кометы и медленно приблизиться к ее ядру. Тогда столкновения с пылью уже не будут представлять большой опасности, поскольку скорость движения аппарата относительно кометы будет невелика, около 1 км/с.

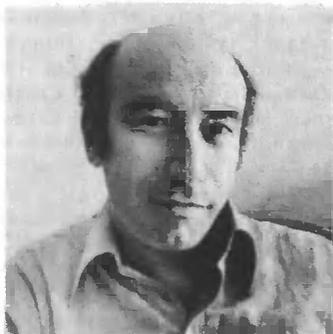
Однако все сказанное отнюдь не означает, что уже нечего делать в области исследования планет. Мне кажется, нужно продолжить глубокую разведку тех больших тел Солнечной системы, мимо которых еще не пролетали автоматы. Это, безусловно, интересное направление. В то же время очень важно сохранить в качестве «космического полигона длительного использования» те объекты, которые мы уже начали серьезно изучать. Одним из таких полигонов стала Венера. Я уже не говорю о нашей ближайшей соседке — Луне. Думаю, тот перерыв, который возник в последнее время в ее исследованиях, — это просто некоторый промежуток времени, необходимый, чтобы собраться с силами и по-новому продолжить ее изучение.

А вот Венера уже стала таким космическим полигоном для климатологов и метеорологов, получивших еще одну модель, на которой можно «обкатать», проверить сложные теории взаимодействия солнечного излучения с атмосферой, теплового баланса атмосферы и возникающих вследствие этого мощных гидродинамических движений [циркуляций] в атмосфере.

С другой стороны, после успешного полета «Венеры-13 и -14» Венера стала полигоном и для геологов и геохимиков: получены не только панорамы поверхности планеты, но проведен конкретный геохимический анализ ее вещества. Это также крайне важно, поскольку в последние десятилетия были созданы глобальные модели образования земной коры, формирования ее минерального состава. Теперь необходимо понять, как в эту общую концепцию впишутся условия на Венере. Тем самым мы лучше разберемся в том, что происходит на Земле.

Я думаю, этими двумя путями — изучением малых и больших тел Солнечной системы — и пойдет развитие космических исследований в ближайшее время.

Академик Р. Э. Сагдеев,
директор Института космических
исследований АН СССР



Леонид Самойлович Марочник, доктор физико-математических наук, профессор, старший научный сотрудник Института космических исследований АН СССР. Область научных интересов — астрофизика Солнечной системы, происхождение и эволюция галактик, космология. В «Природе» опубликовал статью «Исключительно ли положение Солнечной системы в Галактике?» (1982, № 6).



Геннадий Александрович Скуридин, доктор физико-математических наук, заведующий отделом Института космических исследований АН СССР. Автор многочисленных исследований по физике космического пространства и планет Солнечной системы. Член рабочих групп КОСПАРа, член-корреспондент Международной астронавтической академии. Лауреат Ленинской премии. Неоднократно печатался в «Природе».

НЕМНОГО ИСТОРИИ

Кометы всегда поражали воображение людей. Вид яркой кометы на небе — зрелище впечатляющее: по своему блеску она может быть, как Венера и даже как Луна в полнолунии. Ее хвост простирается на «полнеба». Поэтому у многих народов кометы считались дурными знаменьями.

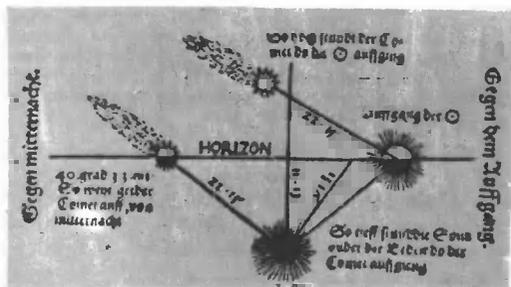
Комета, в переводе с греческого, означает волосатая звезда. И кометы чаще всего изображались как отрубленные головы с развевающимися волосами. Человек всегда искал на звездном небе аналогии с понятными и известными ему образами; отсюда возникли названия многих созвездий: Большая Медведица, Геркулес и т. д. Кометы в этом смысле не были исключением. Если, однако, звездное небо даже искусному наблюдателю виделось практически неизменным, то появление «волосатой звезды», довольно быстро, в течение дней или недель исчезающей с небосвода, всегда оказывалось событием выдающимся.

Изучение комет началось еще в древние времена. Уже в древних китайских хрониках отражен фундаментальный научный факт (лежащий в основе и современных представлений о физике комет), что хвосты комет всегда направлены в сторону, противоположную Солнцу. Об это сообщал

еще Сенека. До XVII в. в науке господствовали взгляды Аристотеля, который полагал, что кометы находятся вне ведения астрономов, так как, по его мнению, это явление возникало в земной атмосфере. По Аристотелю, земные пары, поднимаясь вверх, загораются, соприкасаясь со сферой огня, и хвост кометы — это пламя, которое гонит ветер.

Однако уже в 1577 г. искуснейший наблюдатель Тихо Браге неопровержимо доказал ошибочность взглядов Аристотеля. Если бы комета действительно находилась в пределах земной атмосферы, т. е. недалеко от нас, то, наблюдая ее одновременно из различных точек земной поверхности, астрономы видели бы ее рядом с различными звездами. Но этого не происходило — комета в разных пунктах проецировалась на одну и ту же точку звездного неба, а это означало, что угол «наблюдатель № 1 — комета — наблюдатель № 2» (так называемый параллакс) весьма мал, т. е. комета находится очень далеко от нас и уж во всяком случае за пределами земной атмосферы. С тех пор изучение комет окончательно перешло в ведение астрономов.

После того как Г. Галилей сконструировал первый телескоп, в астрономии появилась новая профессия — «ловцов комет». Дело в том, что слабая комета на небе имеет



Зарисовка кометы Галлея, сделанная в 1531 г. П. Алианом [1495—1552] — профессором математики в Ингольштадте. Показаны два положения кометы: в полночь (левая часть рисунка) и перед восходом Солнца. [Из книги П. Алиана «Practica auff des 1531 jar».]



Заглавный лист книги П. Алиана «Practica auff des 1531 jar». Изображен путь Солнца и кометы Галлея в созвездии Льва (август 1531 г.).

вид маленького туманного пятнышка. Но отнюдь не любое туманное пятнышко — это комета. Теперь мы знаем, что такой вид имеет целый ряд астрономических объектов: планетарные и диффузные туманности, шаровые и рассеянные скопления, галактики. Когда комета еще далеко от Солнца, она тоже почти не перемещается по небу от ночи к ночи, поэтому ее трудно отличить от этих «статичных пятнышек». Наблюдатель должен быть достаточно искусным.

Французский астроном Ш. Мессье

(1730—1817) впервые в истории астрономии составил каталог таких туманностей (более ста объектов) именно для того, чтобы не путать их с кометами. Это и сейчас один из самых известных астрономических каталогов. Объекты каталога Мессье обозначают буквой М; так, М1 — это знаменитая Крабовидная туманность, в центре которой, как мы теперь знаем, находится нейтронная звезда. Именно эту туманность Мессье принял сначала за новую комету и во избежание дальнейших ошибок составил свой знаменитый каталог. Однако по прошествии каких-нибудь 200—250 лет причина и следствие поменялись местами: теперь мы знаем, что кометы — это скорее всего обитательницы всего лишь Солнечной системы, в которой они, по-видимому, и возникли; Солнце — вполне заурядная звезда нашей Галактики, в которой приблизительно 10^{11} звезд. Таких галактик, как наша, великое множество; обычно они образуют скопления (число галактик в скоплениях исчисляется сотнями и даже тысячами), и таких скоплений сейчас известно несколько тысяч. Поэтому, если во времена Мессье другие галактики и туманности были лишь досадными помехами на пути «вылавливания комет», то теперь именно объекты каталога Мессье (и других подобных каталогов) являются важнейшим предметом исследования, так как именно они говорят нам о структуре и эволюции Вселенной, видимые размеры которой сегодня составляют 10—20 млрд световых лет, в то время как размеры нашей Солнечной системы, в которой движутся кометы, вряд ли превышают сотни астрономических единиц¹.

Казалось бы, на фоне грандиозных проблем строения и эволюции Вселенной, проблем мироздания — иначе их не назовешь — могут ли всеерьез волновать такие частности, как Солнце, Солнечная система и совсем «частная частность» — кометы, рождающиеся в ней? Оказывается, могут. Дело в том, что вопрос о происхождении Солнечной системы тесно связан с проблемами не менее фундаментальными, чем проблема эволюции Вселенной. Речь идет о происхождении жизни на Земле, о существовании внеземных цивилизаций. Для решения этих проблем необходимо знать начальные условия, при которых образовалась Солнечная система, и, оказывается, именно кометы могут дать такую информацию.

¹Астрономическая единица (а. е.) — среднее расстояние Земли от Солнца, 1 а. е. $\approx 1,5 \times 10^{13}$ см $\approx 1,5 \cdot 10^{-5}$ световых лет.

Массы комет очень малы по сравнению с массами планет Солнечной системы (по-видимому, они порядка 10^{-5} — 10^{-12} массы Земли). Это означает, что мала их собственная гравитация и они почти не эволюционировали с момента своего рождения до сегодняшнего дня. Другими словами, их физический и химический состав остался таким же (или почти таким же), как состав первичной газово-пылевой туманности, из которой образовалось Солнце и планеты. Эволюция коснулась больших тел — Солнца, планет, но почти не коснулась малых — комет, метеоритов.

КОМЕТЫ И СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

По современным представлениям, все тела Солнечной системы (и, в частности, кометы) возникли в едином процессе эволюции досолнечного газово-пылевого облака. Единой, общепринятой точки зрения на то, как это произошло, в настоящее время не существует. Это связано с большой неопределенностью в начальных условиях возникновения и последующей эволюции досолнечного облака².

Однако эти начальные условия необходимо знать: насколько они были специфичны для нашей Галактики, каков был физический и химический состав досолнечного облака и т. п. Информацию об этом, во всяком случае, о химическом составе и физических условиях, могут дать кометы, поскольку, как уже упоминалось выше, они почти не подверглись эволюции. Более того, одна из современных гипотез, принадлежащая известному американскому физико-Ф. Дайсону, связывает происхождение жизни в Галактике с кометами.

Идея заключается в том, что жизнь сконцентрирована на поверхности Земли, в биосфере. Если считать, что она всегда должна возникать лишь в поверхностных слоях холодных небесных тел, то кометы — наиболее подходящее для этого место в Галактике. Дело в том, что хотя массы комет намного меньше масс планет, например, в Солнечной системе (и, соответственно, в Галактике, если наша Солнечная система — явление не уникальное), но число их велико (около 10^{15}), то суммарная площадь поверхности всех кометных ядер намного больше суммарной площади поверхности всех планет. Химический состав



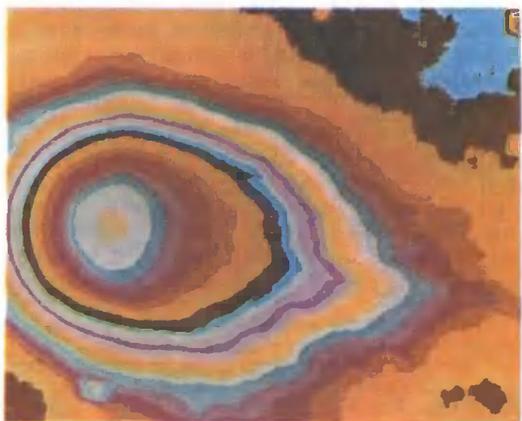
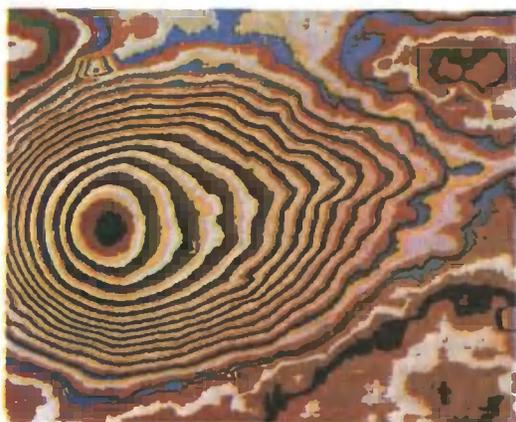
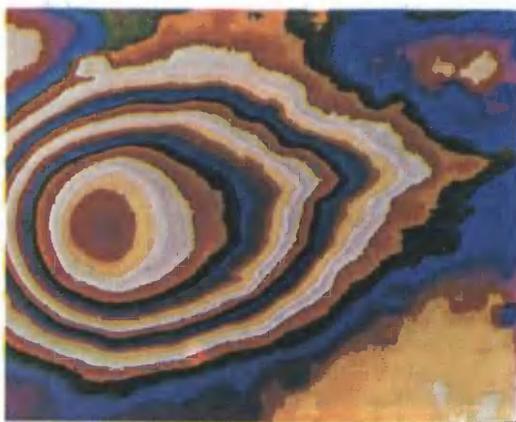
Эдмунд Галлей [1656—1742].

комет, определенный путем спектрального анализа, показывает, что в них присутствуют органические молекулы, способные при определенных условиях к самоорганизации, т. е. из них возможно образование сложных органических молекул, которые могут послужить основой для возникновения простейших микроорганизмов.

Существует небезосновательная гипотеза, принадлежащая английским ученым Ф. Хойлу и С. Викрамсингу, что некогда Земля была «заражена» органическим веществом, возникшим в кометах, и что жизнь на Земле возникла затем вследствие эволюции этого вещества. Здесь, конечно, имеются свои «за» и «против». Например, И. С. Шкловский справедливо сомневается в такой гипотезе³, так как кометы движутся по сильно вытянутым орбитам вокруг Солнца и поэтому в них в огромных пределах меняется температура; кроме того, из-за малой массы в кометах чрезвычайно мала сила тяжести, т. е. условия в них резко отличаются от земных.

² Подробнее об этом см., напр.: Марочник Л. С. Исключительно ли положение Солнечной системы в Галактике? — Природа, 1982, № 6, с. 24.

³ Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. М., 1980.



Фотография кометы Галлея, сделанная 25 мая 1910 г. в Египте (вверху). Синтезированные с помощью ЭВМ цветные изофоты (линии равной яркости) головы кометы, полученные на основе этой фотографии в Институте космических исследований АН СССР (внизу). От кадра к кадру градация яркости увеличивается; в пределе получено до 50 таких градаций, дальнейшее увеличение разрешения ограничивается зернистостью негатива. Изофоты позволяют судить о распределении плотности газа в голове кометы Галлея 1910 г. Цвет использован для улучшения зрительного восприятия.

С другой стороны, недавно появились и некоторые аргументы в пользу утверждения Хойла и Викрамсинга. В упавшем на территории Мексики метеорите Альенде был обнаружен избыток устойчивого изотопа магния ^{26}Mg (по сравнению с его средним содержанием в Солнечной системе). Исследования показали, что этот избыток является следствием распада короткоживущего радиоактивного изотопа ^{26}Al . Откуда в протосолнечной туманности взялся радиоактивный ^{26}Al ? Очевидно, он должен был в нее попасть приблизительно за миллион лет до того, как начали затвердевать метеориты (таков период его полураспада). Сейчас появление изотопа ^{26}Mg связывают со взрывом близкой сверхновой. При таких взрывах температура повышается настолько, что в веществе начинается термоядерный синтез химических элементов, и в частности радиоактивного алюминия. Продукты ядерного синтеза, разлетающиеся при взрыве, могут «загрязнить» собой досолнечное облако. Если, однако, в досолнечной туманности присутствовал ^{26}Al , то он был и в том материале, из которого возникли в процессе эволюции кометы. А это означает, что простейшие органические молекулы, входящие в состав кометных ядер, находились под облучением распадающегося вследствие своей естественной радиоактивности изотопа ^{26}Al . Лабораторные опыты показывают, что при облучении такие молекулы способны к самоорганизации, к образованию аминокислот и оснований нуклеиновых кислот, а отсюда совсем недалеко до возникновения жизни.

Эти идеи, конечно, не бесспорны. Для их подтверждения (или опровержения) необходимы прямые эксперименты в космосе и, конкретно, встреча с кометами, непосредственное «прощупывание» их.

ОРБИТЫ КОМЕТ

Что из себя представляют кометы согласно современным научным представлениям? Их массы, вероятно, заключены в пределах 10^{15} — 10^{22} ($M_{\text{Земли}} \approx 6 \cdot 10^{27}$ г). В колоссальном гравитационном поле Солнца ($M_{\text{Солнца}} \approx 2 \cdot 10^{33}$ г) они движутся по орбитам, представляющим собой конические сечения: это — эллипс, парабола, гипербола, окружность, в фокусе которых находится Солнце. Гравитационное поле больших планет (Юпитера и Сатурна), возмущая орбиты комет, изменяет их, так что комета, движущаяся, например, по эллиптической траектории, может перейти на гиперболическую или параболическую. Ок-

ружность и эллипс — кривые замкнутые, парабола и гипербола — незамкнутые; поэтому кометы, имеющие эллиптические орбиты (возникновение в таких условиях правильной окружности крайне маловероятно), возвращаются к Солнцу. Их называют периодическими. Таких комет немногим более 70.

Самым большим периодом обладает комета Борелли, которая проходит через перигелий — точку орбиты, в которой комета максимально приближается к Солнцу, — один раз в 493 года. Самым коротким периодом обладает комета Энке — 3,3 года. Всего сейчас известно около 600 кометных орбит.

Можно предположить, что раз большинство комет движется по незамкнутым траекториям, значит, они рождаются за пределами Солнечной системы, где-то в Галактике. Однако исследования показали, что в действительности первичными орбитами всех комет были эллипсы, которые постепенно превратились в гиперболы и параболы под влиянием возмущающего их орбиты притяжения Юпитера и Сатурна. Это означает, что кометы возникли в пределах Солнечной системы. Сейчас наиболее популярна точка зрения голландского астронома Я. Оорта, согласно которой на границе Солнечной системы, приблизительно на расстоянии 150 000 а. е. от Солнца существует облако комет (так называемое облако Оорта) — «резервуар», из которого под влиянием тяготения звезд или больших планет время от времени вырывается какая-либо из комет и устремляется к Солнцу. Ее мы и фиксируем как очередную комету.

КОМЕТЫ С ФИЗИЧЕСКОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Практически вся масса кометы сосредоточена в ее ядре. Размеры ядер комет, по-видимому, заключены в пределах от нескольких до десятков километров. Даже в перигелии кометы оказываются от Земли на расстояниях, в лучшем случае порядка 0,5—1 а. е. Это означает, что в самые мощные современные телескопы увидеть ядро кометы нельзя — оно слишком мало. Действительно, угловой поперечник ядра кометы с диаметром, например, 10 км, находящейся от Земли на расстоянии 1 а. е., равен $0''{,}014$. Угловое разрешение лучших оптических телескопов, по крайней мере, в несколько раз хуже. Но дело не только в этом. Кометные ядра не имеют атмосфер только вда-

ли от Солнца, на расстояниях больших 5—6 а. е. Очевидно, при этом угловой размер ядра составляет $0''{,}001$, т. е. не может быть и речи о наблюдениях таких малых объектов в телескоп.

По мере приближения к перигелию кометные ядра обрастают атмосферами, состоящими из различных молекул и пыли. Атмосферы появляются вследствие прогрева солнечными лучами ядра, которое представляет собой, по-видимому, некую твердую смесь льдов различных химических соединений (метана, аммиака, воды

положную Солнцу. Хвосты комет подразделяются на три типа. Первый направлен вдоль линии SK, соединяющей Солнце и комету, или слегка отклонен от нее вниз, против движения, на угол в несколько градусов. Обычно — это гигантский хвост, простирающийся, например, у кометы Галлея на десятки миллионов километров. Хвосты II и III типа короткие и довольно сильно отклоняются от линии SK; иногда хвост III типа почти совпадает с траекторией кометы.

Химический состав кометных атмос-

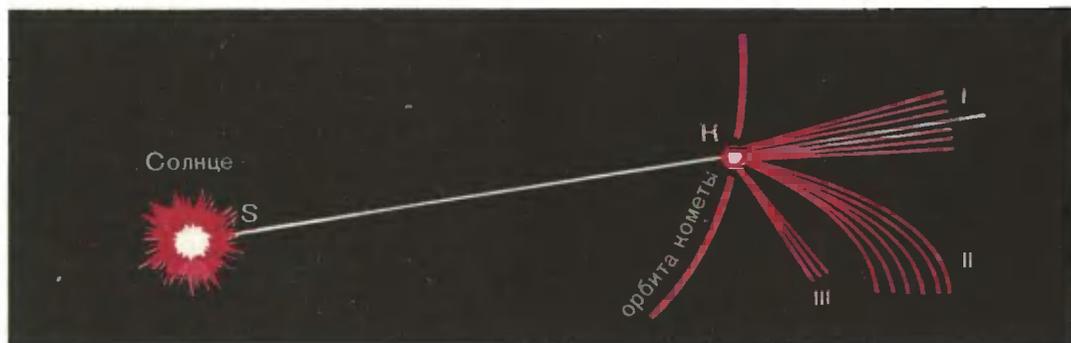


Схема трех типов кометных хвостов. SK — линия, соединяющая Солнце и комету.

и др.), камней, мелких частиц и т. п. При прогреве начинается испарение льдов, освобождаются мелкие частицы, появляется газопопылевая атмосфера. Ее размеры вблизи перигелия очень велики; например, у кометы Галлея в 1910 г. голова имела диаметр порядка 100 тыс. км.

Внеатмосферные наблюдения кометы Когоутека 1973 г. обнаружили вокруг нее колоссальное водородное гало, простирающееся на миллионы километров. В нем были открыты новые молекулы, излучение которых поглощается атмосферой, и в частности молекула воды, довольно сложные органические молекулы HCN, CH₃CN и др. Таким образом, если даже простые внеатмосферные наблюдения комет принесли столь неожиданные открытия, то от прямой экспедиции к комете можно ожидать много большего.

ХВОСТЫ КОМЕТ

Из головы типичной кометы обычно выходит один или несколько хвостов, которые всегда направлены в сторону, против-

фер (головы и хвоста) определяют по их спектрам, которые чрезвычайно похожи друг на друга. В голове на фоне слабого непрерывного спектра наблюдаются почти всегда одни и те же группы полос. Это говорит о том, что в головах комет, кроме пыли, имеются также газы, состоящие в большинстве случаев из одних и тех же молекул; чаще всего это молекулярный углерод (C₂), циан (CN), трехатомный углерод (C₃) и другие молекулы.

Сравнение кометных спектров со спектрами тех же химических соединений, полученными в лабораторных условиях, показывает, что газ головы должен находиться в весьма разреженном состоянии. На периферии головы кометы концентрация порядка 10 — 100 молекул/см³, вблизи ядра около 10^{10} — 10^{12} молекул/см³. По интенсивности полос той или иной молекулы в спектре можно судить об ее относительной распространенности. В головах комет наиболее велика концентрация CN и C₂. Хвосты I типа состоят из плазмы — ионизованных молекул N₂⁺, CO⁺ и электронов с концентрацией 10 — 100 частиц/см³. Хвосты III типа — пылевые. Хвосты II типа, по-видимому, смешанные — газопопылевые.

Нейтральные молекулы и пылинки в атмосферах комет движутся под действием

двух противоположно направленных сил: гравитационного притяжения к Солнцу и отталкивания от него, благодаря лучевому давлению солнечного ветра. Сила притяжения частиц к ядру кометы пренебрежимо мала по сравнению с этими силами.

То, что хвосты комет направлены в сторону, противоположную Солнцу, означает, что отталкивание от Солнца преобладает над притяжением. Ускорение а частиц в хвостах принято измерять безразмерной величиной $1 + \mu = a/g_0$; оно исчисляется в долях ускорения солнечного притяжения g_0 на данном расстоянии. В хвостах II и III типа $1 + \mu \approx 1 \div 20$. В хвостах I типа $1 + \mu \approx 100 \div 1000$. Может ли лучевое давление обеспечить такие ускорения пылинок и молекул? Пылинок — да, с молекулами дело обстоит сложнее. Здесь можно рассуждать так. Когда молекула поглощает квант солнечного света, она получает толчок в сторону, противоположную Солнцу, и переходит в возбужденное неустойчивое состояние с избытком энергии. От избытка энергии молекула избавляется, излучая его и вновь переходя в прежнее устойчивое состояние. Однако этот выброс происходит каждый раз в случайных направлениях. Поэтому толчки при отдаче, которые испытывает молекула в момент излучения, происходят в самых разнообразных направлениях и в среднем компенсируют друг друга. Неуравновешенным остается лишь толчок, полученный при поглощении солнечного кванта. Под действием таких толчков молекулы постепенно ускоряются и летят в сторону от Солнца, образуя газовый хвост.

Расчет показал, что максимально возможное ускорение, которое под действием лучевого давления получает молекула, равно 56. Этого достаточно, чтобы объяснить природу хвостов II типа, но не I.

Как оказалось, высокие ускорения в хвостах I типа, их причудливая, струйная, быстро меняющаяся структура объясняются не лучевым давлением, а электромагнитными силами. Межпланетное пространство, в котором движутся кометы, заполнено так называемым солнечным ветром, т. е. непрерывно истекающей из Солнца замечательной плазмой — протонами и электронами, уносящими с собой (вследствие своей высокой электропроводности) часть солнечного магнитного поля. Высокие ускорения и струйная структура хвостов I типа обусловлены взаимодействием ионов N_2^+ , CO^+ , из которых они состоят, с солнечным ветром.

Таким образом, не говоря уже о не

решенных до сих пор фундаментальных проблемах, таких как происхождение Солнечной системы, жизни в ней и т. п., на которые могут пролить свет исследования комет, даже в самой физике явлений, наблюдаемых в кометах, очень много неясного.

НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ КОМЕТ

Одно из центральных мест в списке нерешенных проблем занимает так называемая проблема ионизации. Ионизованные молекулы (CO^+ , N_2^+) всегда наблюдаются в мощных хвостах I типа. В голове кометы, как правило, мы почти не видим ионов. Если они и наблюдаются, то лишь вблизи кометного ядра, на расстояниях порядка 1 тыс.— 10 тыс. км (напомним, что диаметр головы кометы обычно составляет 100 тыс.— 1 млн км). Из наблюдений следует, что время, за которое происходит ионизация родительских молекул (т. е. тех, из которых получаются потом CO^+ , N_2^+), исчисляется двумя-тремя часами. Все действующие в космическом пространстве ионизаторы давно известны — это жесткое электромагнитное излучение Солнца (ультрафиолетовое, рентгеновское, γ -кванты), космические лучи и солнечный ветер. Поскольку величины потоков квантов и частиц хорошо известны из прямых экспериментов, то время жизни молекул CO и N_2 до их ионизации легко вычисляется. Оно оказывается в 100 раз больше наблюдаемого. Хотя за последние 20 лет предлагался ряд гипотез, пытавшихся разрешить этот парадокс, до сих пор его удовлетворительного объяснения не существует.

Отсутствует и естественное объяснение феномена галосов. Это расширяющиеся со скоростью 0,1—1 км/с замкнутые (или незамкнутые) концентрические области с центром в ядре кометы (или вне его). Спектральный анализ показывает, что они состоят из нейтральных молекул и (или) пыли. Неясны причины их появления.

В кометах часто наблюдаются вспышки яркости, которые, по-видимому, связаны с внезапным (взрывным) выбросом из ядра больших масс пыли и газа, достигающих миллионов тонн. Чем вызваны эти взрывы? Существует как будто бы связь между вспышками и солнечной активностью, обуславливающей так называемые магнитные бури на Земле. Магнитные бури связаны с воздействием солнечного ветра на магнитосферу Земли, так что и вспышки, по-видимому, возникают вслед-

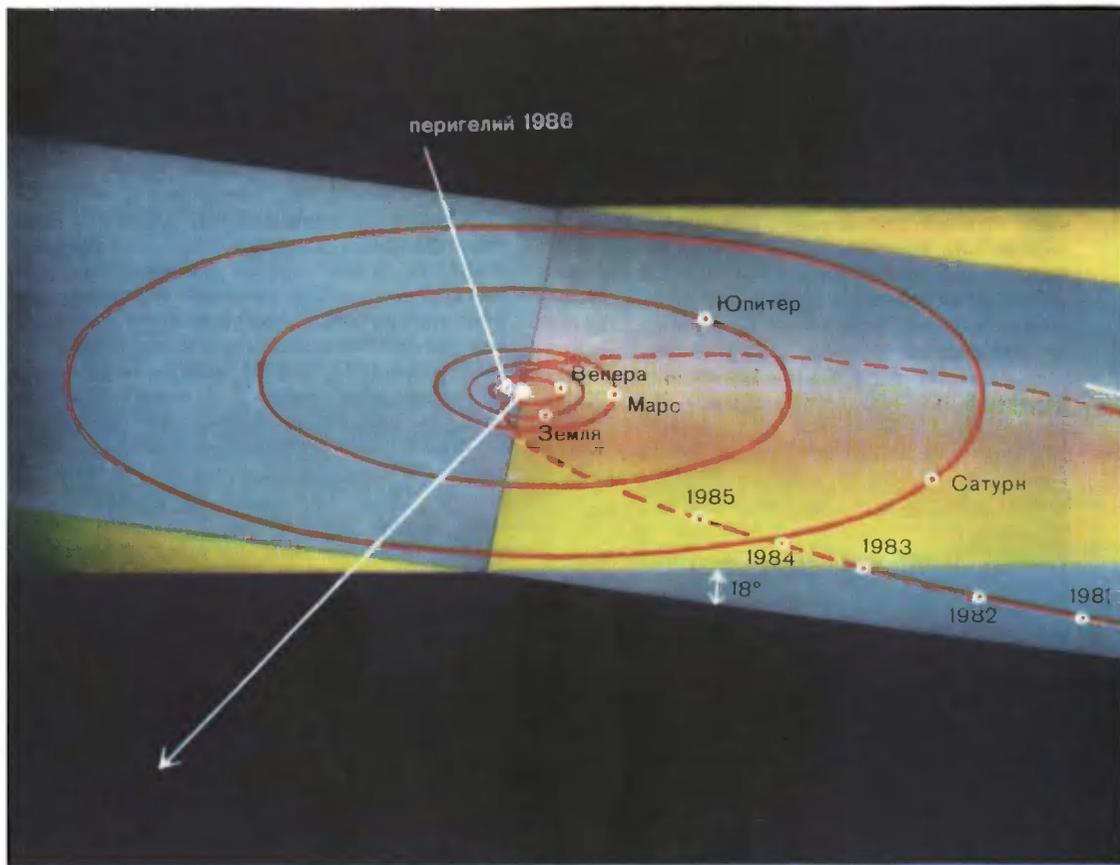


Схема взаимного расположения кометы Галлея, Солнца и планет. Стрелкой показано направление на точку весеннего равноденствия γ .

ствии воздействия солнечного ветра на ядро кометы. Но как? Дело в том, что у ядра плотность газа и пыли так высока, что уже в 100—1000 км от него кометная атмосфера непрозрачна для протонов и электронов солнечного ветра и не дает возможности оказать непосредственное воздействие на ядро.

Целый комплекс неясных явлений наблюдается в плазменных хвостах I типа. Здесь образуются движущиеся вдоль хвоста в сторону Солнца облака, причины возникновения которых неясны. Видна причудливая струйная структура хвостов, сложные спиралевидные формы, волны; иногда наблюдается отрыв хвоста и появление нового.

Остается открытым и вопрос о собственном радиоизлучении комет. Такое излучение на частоте 27,7 МГц как будто бы наблюдалось у кометы Аренда—Ролана в 1956 г. Однако радиоизлучения такого рода у других комет обнаружено не было, наблюдалось лишь радиоизлучение в миллиметровом диапазоне в линиях сложных органических молекул, таких как CH_3CN и HCN .

Отметим еще одно интереснейшее явление, зафиксированное при наблюдениях кометы Морхауза в 1908 г., причины которого до сих пор непонятны. На линии SK, соединяющей Солнце и комету, на стороне, обращенной к Солнцу, появлялась светящаяся точка, которая затем начинала двигаться по направлению к ядру. Точка постепенно превращалась в светящуюся дугу, длина которой росла по мере продвижения к ядру, так что в конце концов возникала охватывающая голову кометы оболочка, концы которой «схлопывались» в хвосте к линии SK, напоодо-

них — экспедициях к комете Галлея, планируемых на 1984—1986 гг.

ПРОЕКТЫ ЭКСПЕДИЦИЙ К КОМЕТЕ ГАЛЛЕЯ

Комета Галлея — одна из самых знаменитых в истории человечества. В музее Байе во Франции хранится гобелен XI в., на котором изображены норманны, пораженные явлением кометы Галлея 1066 г., явившей дурное предзнаменование королю Гарольду, погибшему затем в битве при Гастингсе. Вернувшаяся в 1456 г. та же комета Галлея считалась проявлением гнева божьего — незадолго до ее появления турки захватили Константинополь, превратили христианские церкви в мечети, вырезали почти все христианское население. Комета 1456 г. была, как писали историки того времени, «ужасной»: ее хвост напоминал бушующее пламя и занимал приблизительно треть звездного неба.

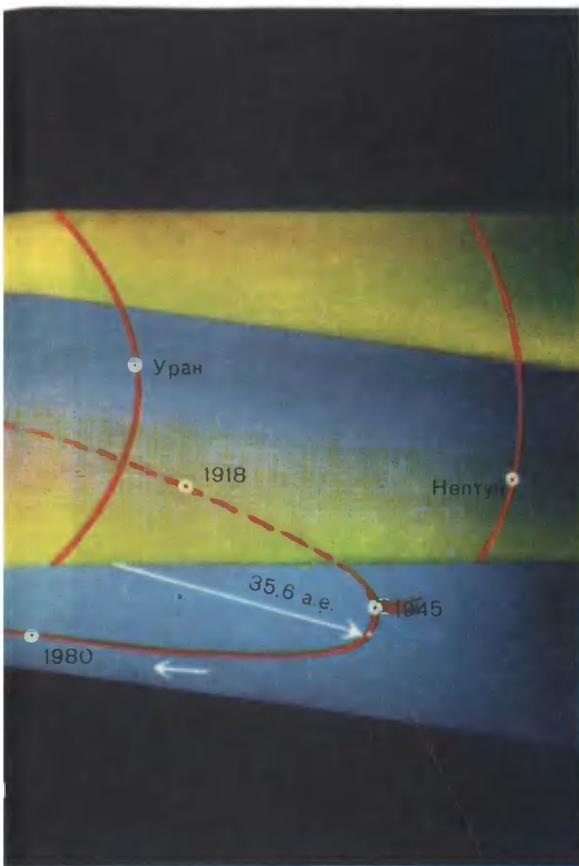
Современник и друг Ньютона Эдмунд Галлей, именем которого названа комета, вычислив ее траекторию и период, предсказал ее появление в 1758 г. Этим он хотел подтвердить закон всемирного тяготения Ньютона, в правильности которого тогда еще сомневались. Однако комета не появилась. Знаменитый французский математик А. Клеро понимал, что отсутствие кометы скорее всего связано с возмущениями ее орбиты большими планетами. Но нужны были титанические вычисления, чтобы правильно предсказать дату появления кометы. С помощью астронома Ж. Лаланда и математика Гортензии Лепот Клеро успел вовремя закончить вычисления и очень точно предсказать дату появления кометы Галлея. Закон всемирного тяготения Ньютона был блестяще подтвержден, вопреки сомнениям скептиков, а вывезенный из Индии французским астрономом Лежантием дотолле неизвестный в Европе цветок был назван в честь мадам Лепот—Гортензией.

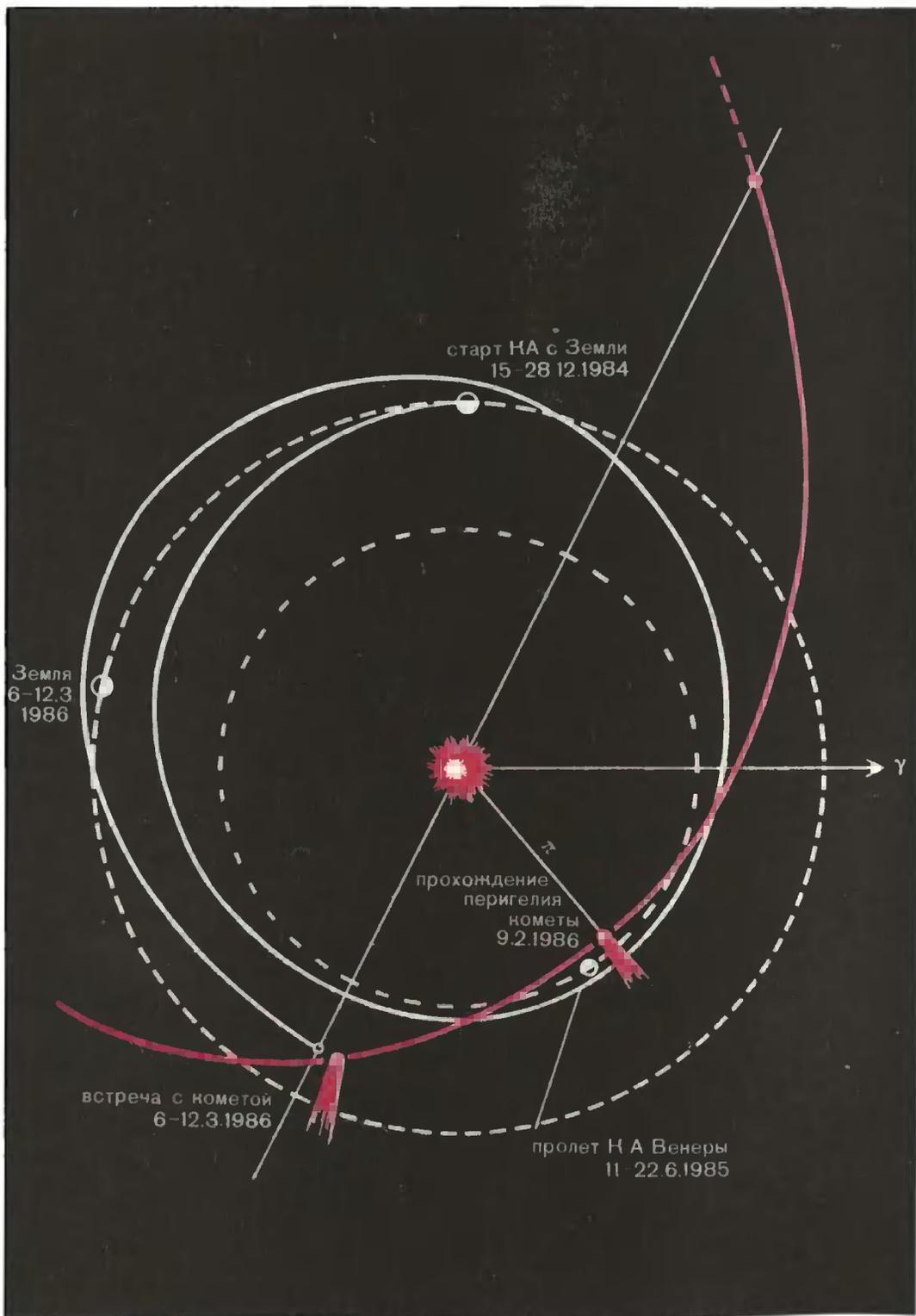
Комета Галлея периодическая, с периодом около 75 лет. В хрониках зарегистрировано 29 ее возвращений к Солнцу, а в 1986 г. ожидается тридцатое.

Первоначально проект экспедиции к комете Галлея разрабатывался совместно американским и европейским космическими агентствами (НАСА и ЕСА). Старт предполагалось осуществить в 1985 г. Рассчитано было все — от траектории запускаемого автомата до научной аппаратуры (с точностью до граммов веса). Идея эксперимента заключалась в том, чтобы после ухода автомата за пределы земного

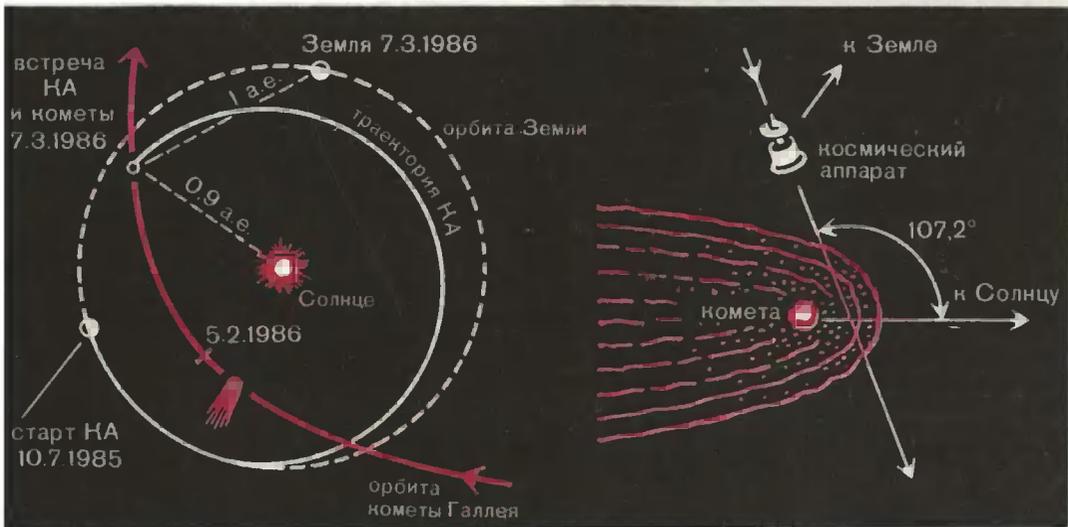
бие спиц закрываемого зонтика. Существенно, что вся голова кометы, а не только область вблизи ядра, светилась в полосах CO^+ , т. е. в основном состояла, по-видимому, из ионов, а значит, представляла собой хорошо ионизованную плазму. Отсюда был сделан вывод, что явление «схлопывающихся оболочек» имеет электромагнитную природу. Однако его конкретный механизм пока не очень понятен.

Таким образом, экспедиции к кометам имеют огромное научное значение. Они нужны исследователям, интересующимся физикой непонятных явлений, наблюдаемых в кометах, занимающихся фундаментальными проблемами происхождения Солнечной системы и систем, подобной ей, в нашей Галактике, происхождением жизни на Земле и вообще во Вселенной. Вопрос о том, какие экспедиции и к каким кометам планировались и планируются в последние годы, это, безусловно — предмет отдельного рассказа. Здесь мы остановимся на ближайших из





Траектории полетов космических аппаратов (КА) и кометы Галлея по советскому (слева), японскому (справа, сверху) и европейскому (справа, внизу) проектам.



тяготения включить небольшой двигатель, который переведет аппарат на спиралевидную траекторию, раскручивающуюся вокруг Солнца. На втором витке такой спирали аппарат должен был пролететь мимо кометы Галлея на расстоянии в 130 тыс. км. В момент пролета с основного аппарата должен был стартовать к комете маленький субавтомат весом 100 кг. По расчетам, он должен был пролететь всего в нескольких сотнях километров от ядра. Затем основной автомат делает еще один виток по спирали и в 1988 г. встречается с другой периодической кометой — Темпль-2. Предполагалось, что автомат сумеет «подстроиться» в хвост этой кометы и, медленно подтягиваясь, добраться почти до ядра, ле-

тя внутри кометной атмосферы. Стоимость этого проекта для НАСА составляла 250 млн. долл., и от него отказались.

В настоящее время подготавливаются к осуществлению три проекта: советский, японский и европейский.

Европейцы получили финансирование только на часть первоначального проекта — встречу с кометой Галлея. Этот проект носит условное название «Джотто». (Б. Джотто, знаменитый итальянский художник, был первым, кто еще в 1301 г. сделал зарисовку кометы Галлея.)

Японский проект условно называется «Планета-А» и в принципе мало отличается от «Джотто».

Наиболее оригинальным является советский проект под названием «Венера—Галлея», автором и научным руководителем которого является академик Р. З. Сагдеев.

Плоскость, в которой лежит орбита Земли, движущейся вокруг Солнца, называется плоскостью эклиптики. Орбита кометы Галлея расположена в плоскости, пересекающей плоскость эклиптики под углом около 162° . Если предыдущее прохождение кометы Галлея в 1910 г. было оптимальным для наблюдений, так как вблизи перигелия она находилась как раз на радиусе Солнца — комета — Земля и Земля даже прошла через гигантский ионизованный хвост кометы, то на этот раз ситуация для наблюдений неблагоприятная. Комета вблизи перигелия будет находиться как бы за Солнцем, и ее можно будет наблюдать только в короткие отрезки времени на рассвете и после захода Солнца. Кроме того, в отличие от большинства комет, комета Галлея имеет так называемое ретроградное движение, т. е. она летит по своей орбите в сторону, противоположную вращению Земли и других планет вокруг Солнца. Это очень осложняет эксперимент, поскольку во всех проектах космические автоматы и комета встретятся как бы на встречных курсах с относительной скоростью, близкой к 80 км/с. Поэтому время пролета аппарата вблизи ядра кометы будет очень мало, порядка нескольких минут, за которые нужно успеть осуществить огромную научную программу: сфотографировать ядро, измерить химический и изотопный состав кометной атмосферы, степень ионизации, величину магнитного поля и т. д.

Запуск аппарата по проекту «Джотто» для встречи с кометой Галлея планируется осуществить 10 июля 1985 г. Автомат полетит по спирали вокруг Солнца и встретит комету после прохождения ею перигелия 7 марта 1986 г.; аппарат будет находиться в пути 247 суток.

По японскому проекту «Планета-А» планируется последовательный запуск к комете Галлея двух автоматов: один — для исследования свойств солнечного ветра вдали от кометы и второй — «Планета-А» — для встречи с кометой Галлея. Первый автомат стартует 31 декабря 1984 г., второй — 14 августа 1985 г. Автомат «Планета-А» должен встретиться с кометой Галлея 8 марта 1986 г.

В отличие от японского и европейского, советский проект — многоцелевой. В декабре 1984 г. советская автоматиче-

ская станция стартует к планете Венера, с которой она встретится в июне 1985 г. После отделения спускаемого аппарата, который будет продолжать исследования Венеры, протельный космический аппарат (с помощью гравитационного маневра в поле тяготения планеты) будет направлен к комете Галлея. Встреча с ней должна произойти между 6 и 12 марта 1986 г. Остроумная идея советского проекта — последовательный полет к Венере, а затем к комете Галлея — возможна благодаря уникальному расположению Венеры и кометы вблизи перигелия последней. В момент встречи с кометой советская автоматическая станция будет находиться приблизительно на расстоянии 120—140 млн км от Солнца и в 135—170 млн км от Земли. Общая продолжительность полета к комете Галлея по советскому проекту составит 390—450 суток.

Как видим, все три экспедиции предполагают встречу с кометой в марте 1986 г. Это, как показывают математические расчеты, оптимальный вариант. Дело в том, что стартовые скорости космических аппаратов (например, с орбиты искусственного спутника Земли) составляют приблизительно 3—5 км/с, в то время как скорость Земли при ее движении по гелиоцентрической орбите порядка 30 км/с. Поскольку плоскость кометной орбиты довольно сильно наклонена к плоскости эклиптики (около 162°), то из-за малой величины стартового импульса встречу с кометой можно осуществить лишь в областях, близких к точкам пересечения кометой плоскостей земной и венерианской гелиоцентрических орбит (угол между которыми мал, порядка 4°). Комета пройдет восходящий узел (т. е. точку пересечения кометной орбиты с плоскостью эклиптики в момент перехода кометы из Южного в Северное полушарие неба) 9 ноября 1985 г., а нисходящий — 10 марта 1986 г. В перигелии она будет находиться 9 февраля 1986 г. Теоретически встреча возможна как в восходящем узле, т. е. до прохождения кометой перигелия, так и в нисходящем — после прохождения перигелия. По ряду технических соображений предпочтительней второй вариант. Именно поэтому все экспедиции планируют встречу с кометой Галлея вблизи 10 марта 1986 г.

Каковы научные цели экспедиций к комете Галлея? Естественно, во всех проектах они в принципе идентичны. По существу, речь идет о выяснении природы ядра и атмосферы кометы, неясных явле-

ний, наблюдаемых в кометах. Желательно определить размер, массу, химический и физический состав ядра, причины взрывов и выбросов из него вещества; химический, физический и изотопный состав кометной атмосферы — газа и пыли; концентрацию и состав кометной плазмы, величину магнитного и электрического полей, если они имеются, характер взаимодействия кометы с солнечным ветром, например, структуру возникающих при этом ударных волн и т. п. Поэтому «стандартная» аппаратура для таких экспедиций должна включать телевизионную камеру, которая могла бы фотографировать комету по мере приближения к ней космического аппарата; масс-спектрометры для определения видов нейтральных и ионизованных молекул кометной атмосферы и пылинок; магнитометр; электронный анализатор; радиокomплекс, позволяющий производить радиопросвечивание кометной плазмы, радиолокацию ядра, головы и хвоста кометы, принимать ее собственное радиоизлучение.

Вес научной аппаратуры, которую можно разместить на космических аппара-

тах, ограничен. Поэтому, несмотря на единые научные цели, преследуемые во всех трех проектах, состав приборов, размещенных на космических аппаратах, несколько различен. Не будем останавливаться на технических подробностях. Важно, что та суммарная информация, которую предполагается получить в результате всех трех экспедиций, должна оказаться достаточно полной, чтобы ликвидировать «белые пятна» в нашем понимании явлений, наблюдаемых в кометах, начальных условий, в которых формировалась наша Солнечная система, возможно, даже в проблеме происхождения жизни на Земле, а может быть, и в космосе.

Будем надеяться, что коллективные усилия специалистов разных стран, осуществляющих этот эксперимент, увенчаются успехом. В заключение, вместе с великим астрономом прошлого века Дж. Гершелем, наблюдавшим комету Галлея в 1835 г. и сделавшим прекрасные ее зарисовки, мы говорим: «Добро пожаловать, небесная гостья!»

ПРИРОДА

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИЗВЕСТИЯ

Новая обсерватория. В Алжире, близ Сетифа (Sétif), на высоте 1113 метров с сентября 1911 г. функционирует новая обсерватория под управлением М. Jarry-Desloges. Главная задача обсерватории — наблюдения поверхности планет. Ряд телеграмм уже возвестил о наблюдениях весьма большого числа интересных деталей на поверхности Марса и Сатурна, которые в течение зимы находились в очень благоприятных для нас положениях.

Фотографирование Венеры. Венера окружена густой атмосферой. Вследствие этого она кажется нам очень яркой, но на поверхности ее почти ничего не видно. Особенно благоприятные в этом отношении условия отмечает астроном Quéniisset на обсерватории Фламариона в Invizy (близ Парижа) для июня и июля 1911 года. Заметив на поверхности планеты пятна более определен-

ные, чем обыкновенно, он сделал даже попытку их сфотографировать. Ряд снимков планеты, на которых видно несколько темных и светлых пятен, представлен в Парижскую Академию Наук.

Фотографирование производилось с объективом диаметром 160 мм при фокусном расстоянии в 2,9 метра, причем употреблялась еще система линз для увеличения изображения. Пластины употреблялись фабрики Lumiere, фиолетовый этикет, время экспозиции — 1 секунда.

Кольца Сатурна. Американский астроном Голя телеграммой на латинском языке оповестил, что с помощью сильнейших телескопов ему удалось заметить близ краев больших осей в кольцах Сатурна мерцающую клочковатость. По-видимому, Голя склонен объяснить это явление рассеянием маленьких спутников, из которых по гипотезе Маквелла — Гирна состоят кольца Сатурна.

К Чукотке на «А. Сибирякове»

И. В. Гармонов

50 лет назад, в 1932 г., экспедиция Арктического института под руководством О. Ю. Шмидта на ледоколе «А. Сибиряков» впервые в одну навигацию, без зимовки прошла от Архангельска до Берингова пролива. В этом историческом походе были собраны научные и практические данные, которые, наряду с опытом всех предшествующих плаваний в морях Северного Ледовитого океана, позволили в дальнейшем сделать Северный морской путь важнейшей транспортной артерией Советского Севера. В том же 1932 г. было создано Главное управление Северного морского пути, 50-летие которого тоже будет отмечаться в этом году.

В этом номере журнала читатель познакомится с воспоминаниями участника похода на

«А. Сибирякове» геолога И. В. Гармонова и рисунками ленинградского художника Л. В. Кантаровича (1910—1941), сделанными во время экспедиции. Рисунки Л. В. Кантаровича были изданы в Москве и Ленинграде в 1933 г. издательством «ОГИЗ — ЛЕНИЗОГИЗ» под названием «Поход «Сибирякова» с предисловием О. Ю. Шмидта, который в нем писал: «...Л. Кантарович, сам работавший в первых рядах в самые трудные минуты экспедиции, дает альбом картин и рисунков, сделанных во время экспедиции, под непосредственным впечатлением. Я надеюсь, что эти рисунки талантливого художника еще более расширят круг друзей Арктики».

Рисунки воспроизводятся с подписями, сделанными самим художником.



Иван Владимирович Гармонов, доктор геолого-минералогических наук, научный консультант Всесоюзного института гидрогеологии и инженерной геологии Министерства геологии СССР. Специалист в области гидрогеологии. Участник многих экспедиций.

В начале лета 1932 г. Главным геологоразведочным управлением была скомплектована геологическая экспедиция для изучения района, расположенного между Колючинской губой и заливом Лаврентия на Чукотке. В нее вошли и мы с женой Ольгой Владимировной. Добраться в тот год до Чукотки со стороны Владивостока было нельзя: навигация была закрыта из-за тяжелых льдов в Беринговом проливе.

И тут нам подвернулась счастливая возможность попасть на Чукотку с другой стороны, из Архангельска, Северным морским путем.

Как раз в это время из Архангельска должна была выйти экспедиция Арктического института под руководством его директора Отто Юльевича Шмидта на пароходе ледокольного типа «А. Сибиряков». Задача экспедиции — пройти в одну навига-

цию через шесть морей Северного Ледовитого океана и, обогнув Чукотку, войти в Тихий океан.

Отправляемся в редакцию Большой Советской Энциклопедии, главным редактором которой был тогда О. Ю. Шмидт, и получаем его согласие взять нас пассажирами.

18 июля 1932 г. мы уже были в Архангельске. «Сибиряков» стоит у пристани судоремонтного завода в Соломбале. Наши каюты под палубой оборудованы в бывшем трюме. Их двери выходят в просторный зал, где стоят привинченные к полу столы, скамейки, кресла, пианино, шкафы с книгами. Это наша нижняя кают-компания. Каюты и кают-компания над палубой — для комсостава корабля. Еще выше — радиорубка. В носовой части живут матросы, на корме — коچهгары и машинисты.

Начали съезжаться участники экспедиции. Появился энергичный кинорежиссер В. А. Шнейдеров, с ним помощник Я. Д. Купер и оператор М. А. Трояновский. Они будут снимать фильм о походе «Сибирякова».

Приехал и Л. Ф. Муханов — секретарь экспедиции, он же корреспондент газеты «Комсомольская правда», судовой фотограф П. К. Новицкий, корреспондент «Известий» Б. В. Громов. Много провожающих. Толпа гудит, как пчелиный улей.

Остались считанные дни до отплытия. Подводят и грузят уголь, оборудование, горючее для зимовщиков Северной Земли, провиант из расчета не менее чем на два года (возможна зимовка). Коров и свиней поднимают лебедкой. Шум и грохот не прекращаются ни днем, ни ночью. В каютах нестерпимая жара — иллюминаторы открыты круглые сутки.

С участниками экспедиции нас знакомит судовой врач Леонид Федорович Лимчер. Рассказывает нам о Шмидте, Владимире Юльевиче Визе, заместителе Шмидта по научной части. Визе — океанограф, метеоролог, ученый с мировым именем и к тому же прекрасный музыкант. Он влюблен в Арктику и побывал в ней не раз. Визе возглавляет научную группу из девяти человек. Среди них гидробиолог П. П. Ширшов, будущий участник папанинской четверки, геолог В. И. Влодавец, химик Б. П. Брукс и др.

Капитан ледокола — известный полярник, потомственный помор Владимир Иванович Воронин. Вся команда «Сибирякова» от капитана до матроса — опытные моряки, не раз побывавшие в ледовых походах. Постепенно знакомимся и с другими

участниками экспедиции — писателем С. А. Семеновым, художниками Л. В. Кантаровичем и Ф. П. Решетниковым, радистами Э. Т. Кренкелем, также будущим папанинцем, и Е. Н. Гиршевичем, инженером-подрывником Б. Ю. Малером. Его работа — пробивать толщу льдов аммоналом там, где корабль не сможет справиться со льдами. Рядом с «Сибиряковым» готовится к походу ледокол «Русанов» с экспедицией под руководством известного полярного исследователя Р. Л. Самойловича. Вместе с нами они пойдут до Северной Земли, чтобы сменить зимовщиков.

В день отплытия, 28 июля, — яркое солнце, небо без единого облачка, настроение у всех приподнятое. Толпы людей наполняют площадь Красной пристани. Стоит несмолкаемый гул голосов. «Сибиряков» подходит вплотную к пристани, на капитанском мостике устроена трибуна. После митинга, на котором выступают Шмидт, Воронин, матросы, под звуки оркестра ледокол медленно отчаливает.

У выхода в Белое море корабль сильно трянуло, сели на мель. Через несколько часов «Сибиряков» на плаву. Все дальше и дальше уходим от берегов.

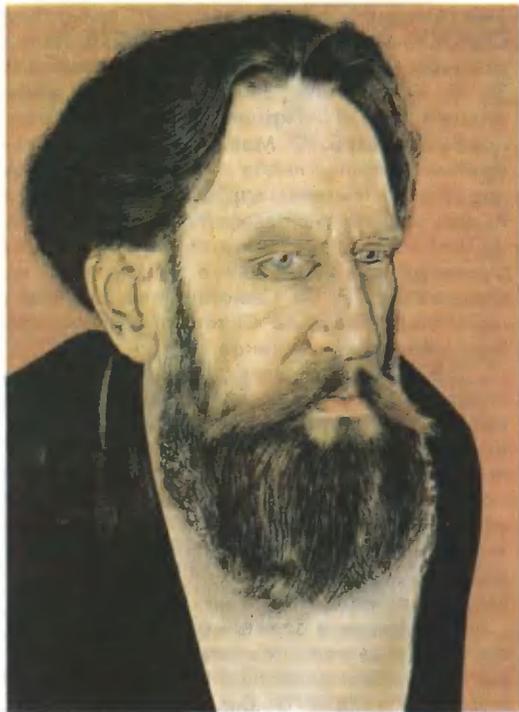
29 июля, утром, входим в Баренцево море. Скрылась земля. Вокруг, куда ни взглянешь, чистая вода.

Жизнь на «Сибирякове» постепенно входит в свою колею. На общем собрании избирается судком, культуркомиссия. Составляется график лекций по истории мореплавания от Архангельска до Чукотки. Читать их будет В. Ю. Визе.

В этот же день узнаем из лекции, что наш парход ледокольного типа, мощностью в 2400 лошадиных сил, построен в 1909 г. в Шотландии, в Глазго, и назывался «Бель авантюр», во время первой мировой войны в 1916 г. был куплен Россией уже в Канаде для службы в Белом море.

Судно назвали «А. Сибиряков», в честь Александра Михайловича Сибирякова, русского золотопромышленника (1849—1893), который принимал участие в организации и финансировании полярных экспедиций, в частности экспедиции А. Э. Норденшельда. Он финансировал также издание ряда трудов по истории Сибири. Сам написал несколько работ о Сибири. Именем Сибирякова Норденшельд назвал остров в Карском море.

Путь, которым должен был пройти «Сибиряков», уже прошли, но с зимовками: в 1879—1880 гг. А. Э. Норденшельд на зверобойном судне «Вега» и в обратном



Профессор Отто Юльевич Шмидт — начальник экспедиции на «Сибирякове».



Капитан «Сибирякова» Владимир Иванович Воронов.

направлении, в 1914—1915 русский гидрограф Б. А. Вилькицкий.

В каютах научных работников организованы лаборатории. Каждые четыре часа берут пробы воды с разных глубин, измеряют температуру воздуха, воды, вылавливают планктон.

Получили обмундирование — свитера, суконные брюки, куртки, ботинки, теплое белье, а с наступлением холодов выдадут меховую одежду.

Первая стоянка «Сибирякова» на Новой Земле. К ней мы подходим 31 июля, а 1 августа трогаемся в дальнейший путь.

Входим в Карское море, где начинают попадаться небольшие льдины. Но чем дальше, тем больше. И вот мы уже в ледовом плену. Лед пока не очень толстый, так что «Сибиряков» легко с ним справляется. Разгоняясь, он раскалывает его, отходит назад и опять повторяет маневр.

Медленно пробиваемся на чистую воду. Дует северный ветер, поднимается шторм, наш корабль начинает раскачиваться из стороны в сторону.

3 августа рано утром «Сибиряков» уже в устье Енисейской губы возле острова Диксона. Солнце, едва успев сесть за горизонт вновь вышло. Полярный день спутал все наши представления о времени. «Сибирякову» и «Русанову» предстоит пробыть в бухте несколько дней в ожидании норвежского судна «Вагланд» которое должно загрузить их углем.

Для всех свободных от дел организуется экскурсия на остров. Сели в шлюпки, море беспокойное, но все же благополучно высаживаемся на берег. Радиостанция на Диксоне построена в 1914—1915 гг., когда там зимовал Вилькицкий. Позднее здесь же была оборудована и метеостанция. Здесь хранится тетрадь с записями самых разных полярных исследователей — от Р. Амундсена до наших полярников — Н. И. Евгенова, А. М. Лаврова и др.

На Диксоне в основном живут зверобой, бьют белух, медведей, песцов. Имеют свой домашний скот — коров, свиней, летом здесь растет сочная трава. Умудрились в одном из барачков сделать «кол-



Руководитель научной части экспедиции профессор Владимир Юльевич Визе.



Радисты экспедиции — Эрнест Теодорович Кренкель и Евгений Николаевич Гершевич.

басный завод» и изготавливают колбасу из белух.

Во главе с Визе отправляемся на могилу матроса П. Тессема из экспедиции Р. Амундсена на судне «Мод». Зазимовав в 1918—1919 гг. в океане, Амундсен послал двух матросов доставить собранные экспедицией материалы на материк. Оба погибли. Место гибели Тессема было обнаружено на побережье близ Диксона.

Шмидт и Самойлович, чтобы использовать время до прихода угольщика, решают обследовать расположенный в 100 км от Диксона остров Свердруп. Ни одна из экспедиций пока на этом острове не высаживалась. Ночью 8 августа «Сибиряков» и «Русанов» вышли из бухты, а утром 9 августа подошли к Свердрупу. Спустили две шлюпки, доплыли до берега. Каждому хотелось первому выскочить на берег — это удалось Ф. П. Решетникову, который закричал: «Писатели, киношники, зафиксируйте: моя нога первой ступила на эту землю».

Сибиряковцы успели убить двух мед-

ведей. Свежевали туши, жарили шашлыки, а многие, по совету Отто Юльевича, пробовали медвежье мясо в сыром виде. Мясо перетаскивали к шлюпкам и отправляли на ледокол. Вернулись на Диксон очень поздно.

10 августа, наконец, появился «Ваг-ланд». На нем всего 9 человек, в том числе и комсостав, так что пришлось нашим сибиряковцам помочь, работали на славу. Загрузили 250 тонн угля. Трогаемся к Северной Земле 11 августа. «Сибиряков» идет по чистой воде. Опытные полярники говорят, что отсутствие льда — большая редкость. Настроение у участников похода приподнятое. Все уверены в успехе. Вечером, после ужина, в кают-компании Владимир Юльевич садится за пианино и льют-ся чудесные звуки Патетической сонаты Бетховена.

14 августа погода портится, стелется густой туман. Идти опасно, капитан Воронин нервничает. Наконец туман начинает понемногу рассеиваться. Впереди Северная Земля. Народ высыпает на палубу.

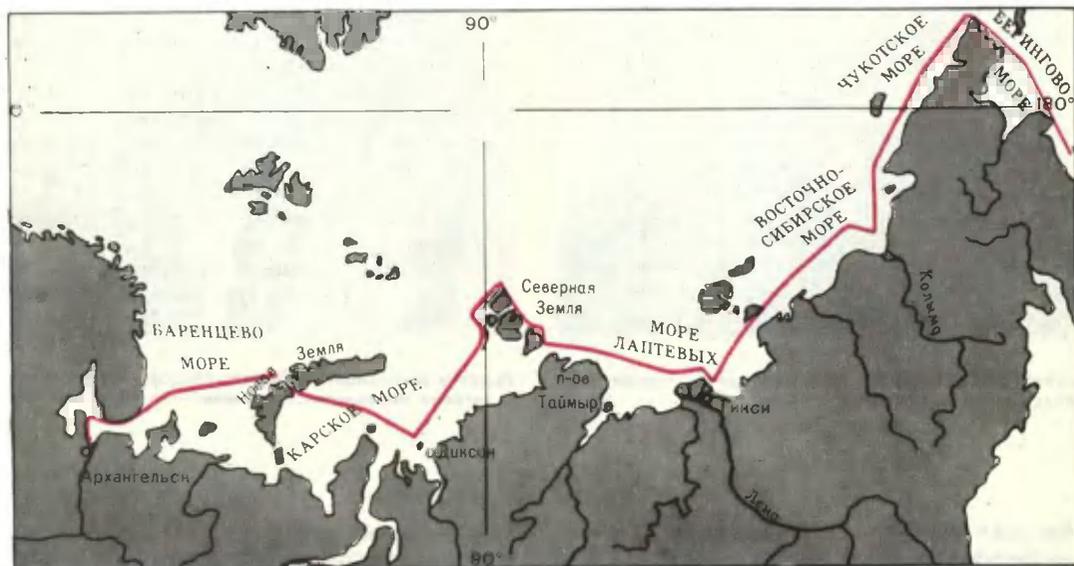
Шмидт по рации переговаривается с начальником Североземельской экспедиции Г. А. Ушаковым. Завидев очертания нашего корабля, зимовщики (их четверо) садятся в шлюпку и направляются к нам в гости.

Отто Юльевич приглашает гостей в верхнюю кают-компанию на ужин. Затем зимовщики спускаются в нашу кают-компанию. Поскольку все в сборе, очень тесно, негде яблоку упасть, многие рассаживаются на полу.

Георгий Александрович Ушаков рассказывает, что в середине августа 1930 г.

вах материалы будут отправлены на материк и изучены в лабораториях¹.

Перед тем как покинуть «Сибиряков» зимовщики приглашают посетить их скромное жилье. И вот мы на острове Домашнем. Домик-крошка, с радиомачтой. Заходим по несколько человек, все не помещаются. Тесно, обстановка самая необходимая и простая: на стенах полки с большим количеством книг, два стола, табуретки, койки как на корабле, одна над другой. Собаки в доме, сенях и на улице. Пока мы осматриваем жилище зимовщиков, матросы выгру-



Путь «Сибирякова» во время экспедиции 1932 г.

экспедиция была высажена с ледокола «Г. Седов» на маленький остров из группы островов Сергея Каменева, примыкающий к огромной территории Северной Земли. Островок был назван зимовщиками Домашним. За два года предстояло пройти вдоль и поперек эту нехоженную землю (всего 7 тысяч километров), обследовать и положить ее на карту. Геолог Николай Николаевич Урванцев рассказывает о топографической съемке архипелага, проведенной зимовщиками, исследовании его геологического строения, обнаруженном здесь олове, интереснейших образцах фауны и флоры. Все собранные на остро-

жут для них горючее. Расстаемся с гостеприимными хозяевами и отплываем к «Сибирякову».

Шмидт объявляет, что руководство «Сибирякова», посоветовавшись, решило попытаться впервые в мире обогнуть северную оконечность Северной Земли и далее войти в море Лаптевых.

Вначале нам попадаются небольшие льдины. Но вот уже появляются целые ледяные поля, а потом стали встречаться айсберги. «Сибиряков» перед такими громадинами кажется карликом.

Все труднее и труднее пробиваться кораблю сквозь льды. Лед трех- и четырехметровой толщины ему уже не по силам. Дается команда, и на лед спускается подрывник Малер с матросами и добровольцами, которые помогают стаскивать ящики

¹ Кремль Б. А. По нехоженной земле.— Природа, 1970, № 2, с. 86.

с аммоналом, копать лунки, закладывать взрывчатку. Взрыв за взрывом, а нужного эффекта нет. За целый день продвигаемся не более чем на 6—8 метров.

16 августа остановились на ночевку. На ледоколе непривычная тишина — машины выключены. Ночью раздается команда: «На лед!» Обиваем пешнями обшивку корабля.

17 и 18 августа — отчаянная борьба со льдом. Непрерывные взрывы аммонала, но не можем продвинуться даже на метр. Капитан решает отступить немного назад и по кромке льда идти на юго-восток. Лед становится тоньше, и мы вырываемся из ледового плена; еще немного, и снова лед окружает «Сибирякова». Только к 24 августа вышли к чистой воде. Потратили неделю, чтобы обойти Северную Землю. Прошли 360 миль.

Шмидт посылает радиogramму в Москву: «Экспедиция на ледоколе «Сибиряков» закончила первое в истории плавание вокруг Северной Земли. Вся восточная часть пути пройдена в непрерывной борьбе с тяжелыми льдами. 26 августа прошли остров Малый Таймыр и направились к востоку по морю Лаптевых. Вступили во вторую половину плавания вокруг севера Азии».

Идем по морю Лаптевых, сначала по чистой воде, а вскоре появляется лед. Он все больше и больше теснит корабль.

Только 27 августа утром прибыли в устье Лены. Навстречу нам выходит небольшой пароходик «Лена», чтобы провести нас до бухты Тикси, где нас ждет уголь. Капитан «Лены» якут Богатырев рассказал, что «Лена» вместе со знаменитой «Вегой» участвовала еще в экспедиции Норденшельда, а сейчас плавает только в неглубоких водах.

Высаживаемся на берег. Местные жители помогают грузить уголь на «Сибиряков», а свободные от вахты сибиряковцы строят дом зимовщикам. Радисту Э. Т. Кренкелю долгое время не удается связаться с Н. И. Евгеновым, руководителем Северовосточной экспедиции, суда которой должны были прибыть в устье Лены из Владивостока одновременно с «Сибиряковым», но задержались из-за тяжелых льдов на востоке. Не можем мы связаться и с ближайшей радиостанцией на острове Ляховский. Нужно сказать, что в те годы на побережье Северного Ледовитого океана было всего три радиостанции с весьма несовершенной аппаратурой, и лишь одна из них на Уэллене работала отлично, благодаря радисту И. К. Душкину.

30 августа отправляемся в дальнейший путь. «Сибиряков» берет на буксир два небольших суденышка — «Якут» и «Партизан» до Колымы. Буксировать эти суда должен был ледокол «Литке» из каравана Евгенова.

На острове Ляховский выгружаем 7 тонн груза, предназначенного для строительства здесь станции, и проливом Дмитрия Лаптева входим в Восточно-Сибирское море.

4 сентября «Сибиряков» — в устье Колымы. Все, кто спал, в 5 часов утра проснулись от бесконечного множества гудков, несшихся с разных сторон бухты; оказалось, что евгеновская экспедиция — караван из 20 судов — уже пришла, и, конечно, всем нам не до сна.

Высыпали на палубу. Подъезжает моторка, и по спущенному трапу поднимается Евгений, а за ним белый как лунь доктор Старокадомский. Он плавал еще в экспедиции Вилькицкого в 1914—1915 гг.

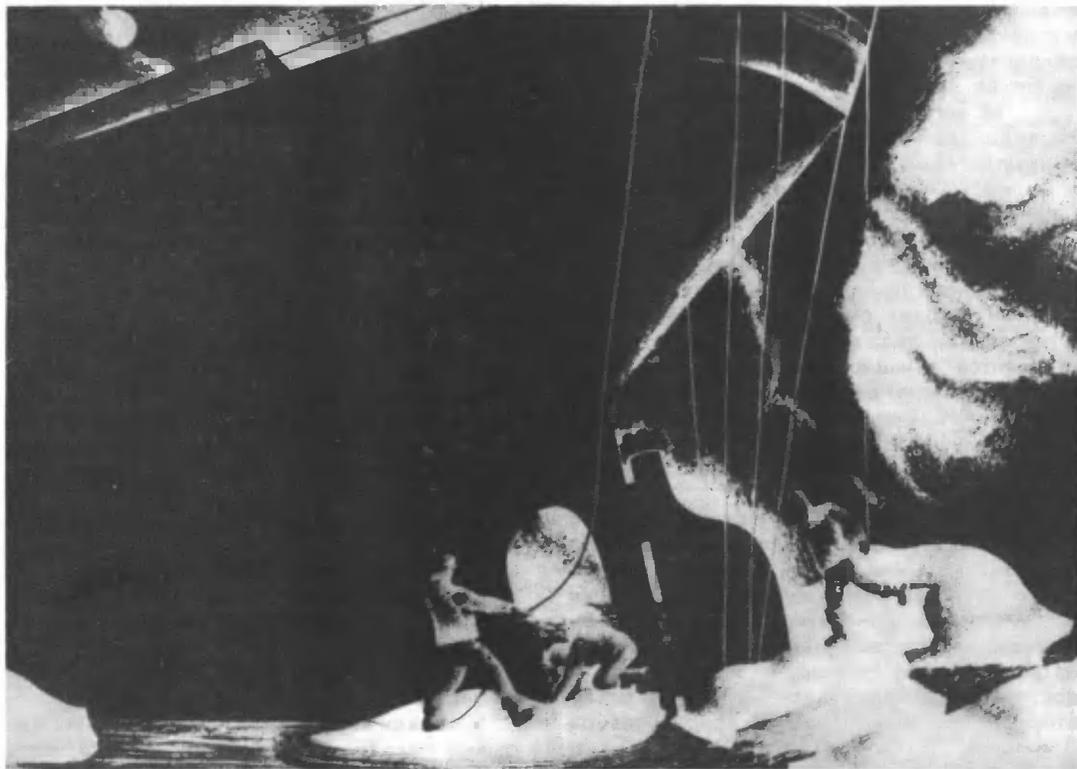
5 сентября тронулись в путь. Проходим мимо острова Айон, у входа в Чаунскую губу. Лед стал толще, и продвигаться «Сибирякову» становится с каждым часом все труднее.

Владимир Иванович Воронин непрерывно находится на капитанском мостике. Он управляет кораблем с настоящим искусством. Вот «Сибиряков» разгоняется и врывается в лед, потом старается втиснуться в трещины разбитых им льдов, а когда ему не хватает сил бороться со льдами, в ход идет аммонал, и огромные фонтаны воды с глыбами льда взлетают высоко в воздух.

7 сентября все та же тяжелая ледовая обстановка, но мы все же пробиваемся вперед. Кто-то различает в бинокль берег Северного мыса и даже людей. Полоса воды видна вдоль берега. Капитан отдает приказание пробиваться к воде. Шмидт посылает штурмана Ю. К. Хлебникова на моторке сделать промеры глубин возле берега. Но так слишком мелко для «Сибирякова». Двигаемся дальше. Надо подойти поближе к фактории, которая находится на мысе Северном (теперь мыс Шмидта).

8 сентября подходим близко к берегу, где видны уже фактория, яранги и люди. Громов и Муханов отправляются на берег и, вернувшись вечером, рассказывают о жизни чукчей (нам это особенно интересно — с этим народом судьба свяжет нас на целый год).

9 и 10 сентября все та же борьба со льдом.



В тяжелых льдах «Сибиряков» обломал лопасти гребного винта. Ремонт был сделан во льду. Пришлось приподнять корму, перегрузив на нос судна 400 тонн угля. Механики, работая по локоть в ледяной воде, поставили запасные лопасти вместо поврежденных. Вся работа была произведена авральным порядком в течение девяти суток.

Капитан «Сибирякова» уже не спит третьи сутки. Осунулся, синева под глазами. Молчит. Говорят, в такие минуты лучше не попадаться ему под руку. Наши товарищи спускаются на лед, чтобы помочь очистить обшивку судна.

На ночь корабль останавливается, так как идти в таких льдах опасно. Нарушен равномерный ритм жизни, только ученые работают и днем и ночью. Мы уже близко от острова Колючина, за ним должна быть чистая вода.

Вечером 10 сентября, после ужина как всегда собрались в кают-компании. В последние дни корабль останавливается на ночь, а сейчас продолжает двигаться. Вдруг сильный удар, наступает тишина. Вероятно, в лопасть попала льдина. Через несколько минут второй удар, посильнее первого. После третьего и последнего уда-

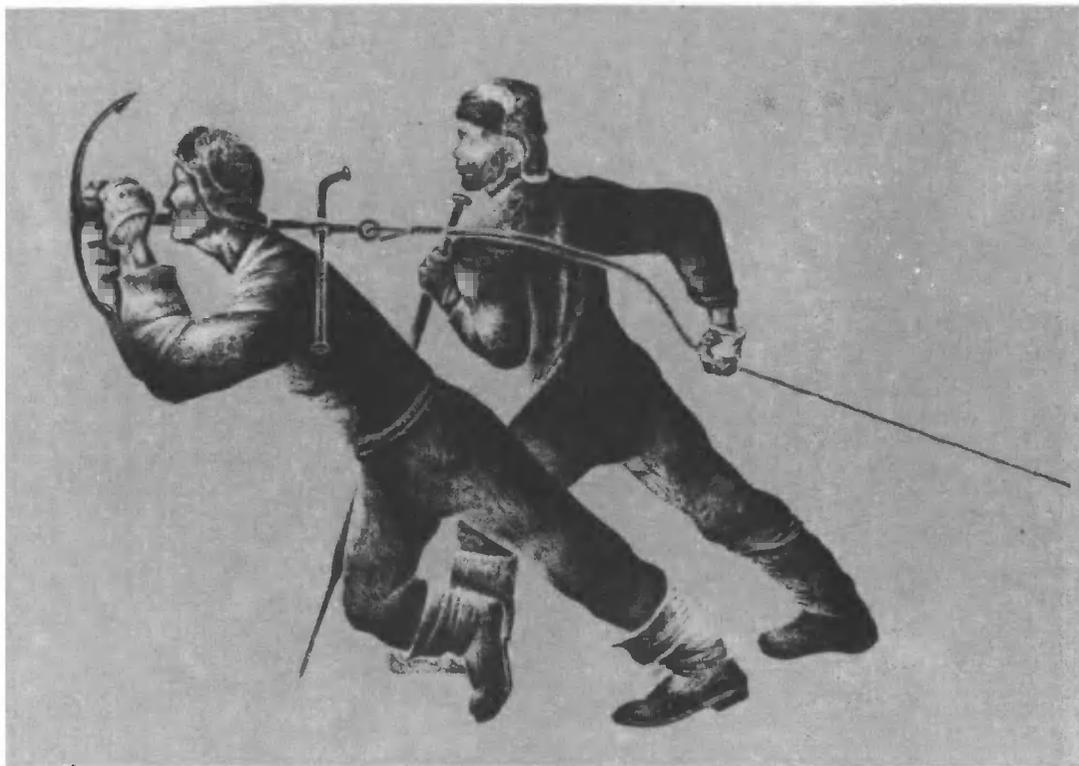
ра, корабль останавливается. Ясно, что случилась беда.

Около полуночи к нам спустился Отто Юльевич и приказал разбудить тех, кто спал. Узнаем, что «Сибиряков» потерял одну лопасть, она отпала и пошла на дно, а три очень погнуты, и в таком виде продвигаться дальше среди льдов корабль не может. Чтобы надеть запасные лопасти, необходимо весь уголь и все имущество с ящиками и мешками продуктов перетащить с кормы на нос, а затем, после установки лопастей, все отнести на старые места. Объявляется аврал. На всю операцию дается срок 10 дней. Отто Юльевич предлагает создать бригады.

В считанные минуты организованы две бригады, которые тут же приступили к работе. Одну бригаду возглавляет Лимчер, в нее входит и наша группа, вторую — Громов. Отто Юльевич рассчитал, какое количество груза надо перенести с кормы на нос, чтобы поднять корму на необходимые 10 футов.

Нелегко перенести на своих спинах 400 тонн груза, вытащить из трюмов снаряжение, перенести ящики и мешки и в оба конца.

Каждый мешок с углем весит не



Через сутки после починки лопастей «Сибиряков» снова потерял анит, после второй аварии пытались бороться с течением, заноса на льдины якорь и подтягиваясь на тресе.

меньше 5 пудов. Уголь вьелся в кожу рук, лица, шеи. У многих кровавые ссадины на плечах, спинах, но никто не сдаётся и все работают, не сбавляя темпа аврала, и даже умудряются устраивать соревнования «кто больше». После шести часов работы — шестичасовой отдых. Быстро поев, бежим к своим койкам и засыпаем мертвецким сном до следующего подъёма.

Особенно трудна работа матросов. Водолазных костюмов нет, а насаживать лопасти им приходится в ледяной воде. По распоряжению Шмидта матросы должны сменять друг друга на лесах как можно чаще.

Лопасты поставлены. Теперь мешки с углем надо нести обратно на корму и ссыпать в трюм и туда же перенести все прочее имущество. Всюду грязь, угольная пыль. Участники экспедиции помогают и в уборке корабля. На всю операцию — переноску угля, починку винта — уходит 7 дней вместо намеченных десяти — труд был поистине героическим.

18 сентября новая беда. В районе мыса Сердце-камень от удара о большую льдину отлетел и пошел ко дну вал метровой толщины. Вся трудоемкая работа с насадкой лопастью пошла насмарку. «Сибиряков» зажат огромным ледяным полем. Ветер, который мог бы нам помочь, — переметный.

20 и 21 сентября дрейф несет нас вдоль берега. Шнейдеров со своей группой — на льдине, приготовились снимать штурмана Маркова с матросами, которые ищут пресную воду, у нас ее уже нет, и мы пьем солоноватый чай и кофе.

К вечеру нас окутывает туман, но все же продвигаемся медленно на восток. Прошли мыс Инкигур, а 22, 23 и 24 сентября дрейфом несет нас обратно. Матросы беспрерывно спускаются на лед, закладываяют аммонал. После взрыва образуется небольшая полынья, и корабль освобождается от ледовых тисков. Иногда, зацепив якорь за какой-нибудь большой торос, лебедкой подтягивают корабль на несколько метров вперед, и опять все сначала — аммонал, якорная цепь, якорь, лебедка и еще немного пробиваемся вперед. Топки погашены, греется небольшой котел для отопления кают. Экономим электроэнергию.



На самодельных парусах из кусков брезента «Сибиряков» самостоятельно вышел в Тихий океан, окончив экспедицию и выполнив задание партии и правительства.

Муханов приносит телеграмму от Евгенова с ледокола «Литке», которую вешает на доску:

«Горячо, искренне сочувствуем вашей неудаче на пороге завершения исторического перехода. Если «Литке» удастся благополучно выйти в Ледовитый океан, несомненно рады будем помочь вам. Сообщите, в каком расстоянии от Инкигура, какой глубине, какой ледовой обстановке находитесь.

Имеем по-прежнему штормовую погоду. Вне зависимости выгрузки предполагаем 23-го, 24-го выйти судами обратно до возможного предела, случае неудачи, попытаемся пробиться одним «Литке». Просим ежедневно информировать вашем положении. Имеете ли связь центром?

Искренний привет ЕВГЕНОВ»².

Вторая телеграмма от Наркомвода: «Ледоколу «Литке», пароходу «Совет» дано

приказание оказать вам помощь. Информируйте положение».

25 сентября опять вернулись в район мыса Сердце-камень, нас несет на какую-то каменную гряду, но благополучно пронесит мимо. Некоторые поговаривают, что придется зимовать. У многих мрачные и озабоченные лица.

26 сентября вечером на общем собрании Шмидт рассказывает о тяжелом положении, в котором мы оказались. Разосланы телеграммы о помощи нескольким судам. Для нашего освобождения ищут и другие пути. О том, чтобы оставить корабль и попытаться всем добраться до берега на зимовку, пока и разговора быть не может. Но на аварийный случай уже разработан план эвакуации участников экспедиции. Секретарь партиячейки Н. А. Адаев награждает грамотами всех, кто участвовал в авралах и круглосуточных дежурствах.

29 сентября, наконец, подул ветер, которого так долго ждал капитан Воронин. Раздается команда натянуть паруса. Они шиты матросами из кусков брезента, собранных в трюмах.

Паруса натянуты, и «Сибиряков» становится похожим на пиратский корабль. Теперь все находятся на палубе и наблюда-

² Шнейдеров В. А. Великим северным (Поход «Сибирякова»). М., 1963, с. 156.

ют за дрейфом корабля. Несмотря на тяжелую и, казалось бы, безвыходную обстановку, сибиряковцы удивительно спокойны. Велика в этом заслуга Отто Юльевича, он сумел подобрать коллегтив, который в трудную минуту оказывается единым сплоченным ядром.

Ветер начинает нести нас в нужную сторону, уже попадают полыньи. Когда лед смыкается, опять раздается команда: «Всем на лед!» Так, с переменным успехом, мы идем в нужном направлении. Уже виден тральщик «Уссуриец», идущий нам на помощь из Владивостока, но сильным течением его отбросило на далекое от нас расстояние. Накануне 1 октября «Сибиряков» самостоятельно выходит на чистую воду.

Полная победа. Радость обуяла всех, все обнимаются. Подошел «Уссуриец», перебростил трап, и капитан Кострубов поднялся к нам, матросы прилаживают буксир.

Отто Юльевич направляет молнию в Москву:

«ЦК ВКП(б), Совнаркому. Экспедиция Арктического института на ледоколе «Сибиряков» целиком выполнила задание правительства, прошла вдоль северных берегов Союза из Белого моря в Тихий океан. Это третий в истории поход и первый, совершенный в одно лето без зимовки.

Выйдя из Архангельска 28 июля, экспедиция совершила первый обход Северной Земли, достигла устьев Лены и Колымы с запада, что открывает новые возможности хозяйственного развития Якутской республики.

Потеряв 10 сентября в тяжелом льду лопасти винта, ударной пятидневной работой сменили их среди льдов, не заходя в порт. Когда 18 сентября сломался вал и потеряли винт, экспедиция не прекратила работы, а двигалась к цели, пользуясь всеми средствами: морским течением, взрыванием ледовых препятствий, подтягиванием от льдины к льдине на тросах и поднятием самодельных парусов.

Во время дрейфа во льдах собран научный материал, освещающий неясную раньше картину морских течений.

В результате упорной борьбы со стихией 1 октября на парусах вышли на чистую воду, достигнув цели — Берингова пролива.

Трудности были преодолены и успех завоеван благодаря организованности и энтузиазму всего экипажа ледокола и всех научных работников, благодаря развитию соцсоревнования смен и бригад, давшего рекордные темпы погрузочных работ, и поголовному охвату ударничеством.

Во время пути восемь матросов и чегаров вступили в партию и подано несколько заявлений от научных сотрудников.

Свою работу по открытию и исследованию новых морских путей считаем частью великого плана социалистического строительства и под этим знаменем преодолевали преграды.

Начальник экспедиции Шмидт, капитан ледокола Воронин.

Заведующий научной частью Визе.

Председкома машинист Крючков.

Секретарь ячейки ВКП(б) матрос Адаев»³.

Скоро весть о нашем походе разнесется по всей стране, и весь мир узнает о новой победе советских людей.

Поступают поздравительные телеграммы. Для них уже не хватает места на доске. Представляем, какая радость в домах наших близких. Они пережили немало горьких минут, слушая по радио и читая в газетах сообщения о наших трудностях. Скоро мы расстанемся с теми, с кем сжились и сроднились за долгий путь.

Рано на рассвете «Уссуриец» ведет нас мимо острова Крузенштерна, направляемся к мысу Дежнева или к бухте Лаврентия, где будет удобнее высадить нашу группу. Но подойти не можем из-за нагромождения льдов, идем к бухте Провидения. Здесь мы покинем корабль. Отто Юльевич дает нам продовольствие на два года.

Подплывает катер. Мы прыгаем в моторку, и вот уже берег. Матросы выгружают наше имущество. Волны такие высокие, что захлестывают все ящики в моторке, уже позже мы отыскали на косе ящики, выброшенные волной на берег — в них меховая одежда. Все не удается выгрузить — начинается шторм, приходится отложить выгрузку до утра. Утром мы стоим на берегу и машем платками отходящему «Сибирякову», в ответ множество рук приветливо машут нам.

³ Там же, с. 178.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Визе В. Ю. НА «СИБИРЯКОВЕ» В ТИХИЙ ОКЕАН. Л.: Изд-во Глав. упр. Сев. мор. пути, 1934.

Громов Б. В. ПОХОД «СИБИРЯКОВА». М.: Сов. лит., 1934.

Шнейдеров В. А. ВЕЛИКИМ СЕВЕРНЫМ (Поход «Сибирякова»). Изд. 2-е М.: Гос. изд. геогр. лит., 1963.

Грецкий орех в ущельях Копетдага

К. П. Попов,
кандидат биологических наук
Туркменская опытная станция Все-
союзного научно-исследователь-
ского института растениеводства
им. Н. И. Вавилова,
пос. Кара-Кала

В ущельях юго-западного Копетдага, с его жарким и сухим климатом, в изобилии растут дикie плодовые деревья: инжир, гранат, зизифус, мелкоплодная вишня, алыча, мушмула, айва, груша, яблоня и различные виды рябины. Кустарники — боярышник, шиповник, барбарис, виноград и ежевика часто образуют здесь труднопроходимые колючие заросли. Встре-

чаются в ущельях и туркменский подвид грецкого ореха — *Juglans regia* L. ssp. *turcomanica* M. Pop.— и обыкновенный миндаль.

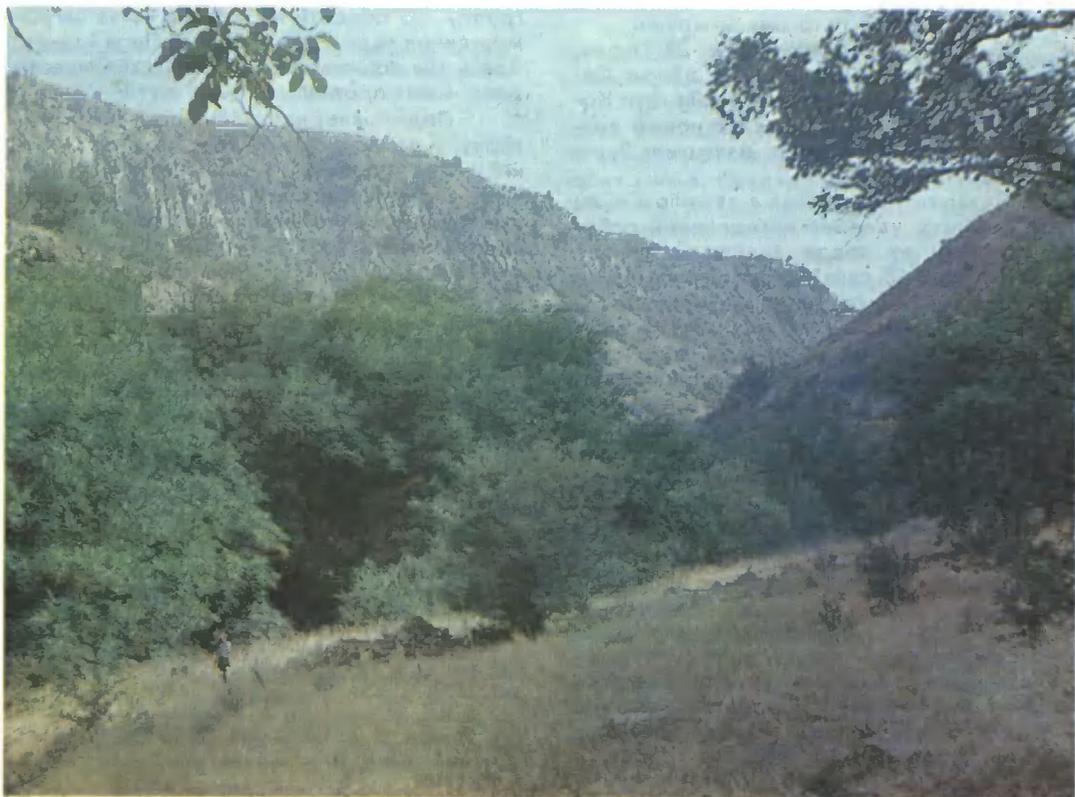
Грецкий орех в Копетдаге — эндемичное растение. Его основной ареал в Средней Азии — горы Южного Тянь-Шаня и Памиро-Алая. Величественные многоярусные ореховые леса покрывают склоны Ферганского и Чаткальского хребтов в Южной Киргизии, их общая площадь здесь составляет 25 тыс. га. Могучие деревья грецкого ореха нуждаются в высокой влажности не только почвы, но и воздуха, поэтому и растет орех в тех местах Средней Азии, где сумма годовых

осадков составляет, а иногда и превышает 800—1000 мм.

Удивительно поэтому, что грецкий орех встречается на Копетдаге, где в год выпадает всего 300 мм осадков, а относительная влажность воздуха летом снижается до 10—12%. Чтобы как-то выжить в столь неблагоприятном для него климате, орех буквально упрятался в каньоноподобные ущелья, по дну которых струятся непересыхающие речушки. Потому и

Участок ореховой рощи в ущелье Айдера.

Фото А. Ю. Савицкого.



сохранился в юго-западном Копетдаге до наших дней этот реликт минувших эпох с более влажным климатом. Основные убежища его находятся в боковых ответвлениях ущелий Айдере, Пордере и Орехового. За их пределами он изредка встречается также в ущельях Хозлы, Калмок, Юзбеги, Хозлыдаг, Иолдере, а в недалеком прошлом был, очевидно, широко распространен по всему юго-западному Копетдагу.

В ущельях Айдере и Пордере на высоте 1000—1400 м орех вместе с сирийским ясенем и иглолистной высокорослой (до 25 м) ивой образует тенистые рощи галерейного типа. Во втором ярусе обычно преобладают свидина Мейера и туркменский клен, а в подлеске — жимолость, туркменский барбарис, боярышники, шиповники и другие кустарники. В густых тенистых рощах из трав господствует кузиния тенистая, а там, где кроны ореховых деревьев не смыкаются, зеленый покров образуют пырей, лесная корот-

коножка и фиалка приятная. Тепло- и влаголюбивый аройник Королькова несет на длинных ножках красно-оранжевые «початки». Берега речек в ущельях обрамляет ажурным бордюром ветвистый хвощ, а подножия гор покрывают наскальные мхи. Встречаются и папоротники, в том числе редчайший в Средней Азии ужовник (*Ophioglossum vulgatum*), впервые найденный в Туркмении в ущелье Иолдере лишь в 1960 г. Теперь этот папоротник обнаружен и в ущелье Айдере, где есть и очень редкие орхидеи — тайник овальный (*Listera ovata*), офрис закаспийский (*Ophrys transhyrcana*), дремлик (*Epipactis veratrifolia*), ятрышники обезьяний (*Orchis simia*) и болотный (*O. palustris*). Уже этот краткий перечень свидетельствует о том, что ущелья юго-западного Копетдага представляют собою рефугиумы для древней гирканской флоры. Некоторые дожившие до наших дней влаголюбивые растения нашли свое убежище в глубоких ущельях Копетдага, врезанных

в известняки. Все они — живые памятники природы, и едва ли не первое место по ценности среди них занимает орех.

Почему же именно об орехе идет речь в этой статье? Да потому, что эндемичной популяции его в юго-западном Копетдаге грозит вымирание. За последние 50 лет количество ореховых деревьев уменьшилось более чем в 2 раза. В конце прошлого века, когда грецкий орех не был редкостью, его вырубали для изготовления из его красивой древесины конных экипажей и карет. Но не только прямое уничтожение причина того, что год от года все более сокращается численность этого ценного дерева. Человек долго и планомерно уничтожал леса Копетдага, и незащищенные от иссушающих солнечных лучей

Ветви упавшего ореха могут разрастаться в стволы нового дерева.
Фото А. Ю. Савицкого.



Результаты обследования ореховых рощ в 1980—1981 гг.

Ущелья	Измерено стволов	Из них с толщиной ствола [в см]				
		более 80	80—60	59—40	39—20	менее 20
Айdere	713	80	184	239	183	27
Пордере	397	60	79	153	97	8
Ореховое	95	5	25	45	20	0
Всего измерено	1205	145	288	437	300	35
%	100	12,0	24,0	36,0	25,5	2,5

горные речки оскудели, даже в ущельях уменьшилась влажность, столь необходимая ореховым деревьям. Некогда полноводный Сумбар — главная речка юго-западного Копетдага — теперь летом превращается в ручей. Зато во время обильных дождей по его руслу проносятся бурные селевые потоки, повсюду на своем пути мосты и дамбы.

После организации на Копетдаге лесного надзора, а затем, уже в советское время, лесхозов рубка ореха прекратилась. И если это предотвратило его быстрое уничтожение, то старение ореховой популяции и постепенное сокращение количества деревьев продолжается и сейчас.

Еще в 1930 г. видный дендролог А. В. Гурский, анализируя состояние грецкого ореха в юго-западном Копетдаге, заметил, что молодые деревья его, выросшие из семян, так же как и преклонного возраста «старцы», встречаются очень редко, а преобладают деревья, средний возраст которых достигал тогда 90 лет. Причину этого Гурский видел в том, что еще за 70—80 лет до этого молодую поросль в ущельях Айdere и Пордере дали уцелевшие от пожаров или вырубки деревья ореха.

В 1935 г., проводя ревизию древесной растительности в юго-западном Копетдаге, сотрудники Туркменской опытной станции Всесоюзного института растениеводства (ВИР) при участии Гурского насчитали 3823 дерева ореха. Ореховые рощи занимали площадь в 226 га, а средняя годовая урожайность оценивалась в 11,5 т сухих орехов с га.

С тех пор прошло всего полвека. В 1980—1981 гг. мы повторили обследование грецкого ореха. Итоги были удручающими: в ущелье Айdere сохранилось 1145, Пордере — 560 и в Ореховом — 129 деревьев, т. е. всего 1834 экземпляра вместо 3823, отмеченных в 1935 г. Если полвека назад молодые деревья были редкими, то сейчас уже очевидно, что семенное возобновление ореха практически прекратилось. Средний возраст деревьев уже не 90, а 120 лет. Местная популяция ореха неуклонно стареет: большинство крупных деревьев, с диаметром ствола 80—100, а иногда и 130 см, имеют крупные дупла. Часто деревья ореха многоствольны: от одного пня погибшего первичного ствола вырастают несколько новых. Так, в ущелье Айdere 18% деревьев имеют по 2—6 стволов. Общее старение ореховых деревьев привело и к снижению их продуктивности: если раньше в урожайные годы Каракалинский лесхоз собирал по 10—12 т ореха, то в последние годы заготовки его не превышают 3—4 т. Старение популяции ореха в Копетдаге наглядно иллюстрирует приведенная здесь таблица.

Каковы же причины вымирания копетдагской популяции ореха, и нельзя ли предотвратить эту потерю?

Основная причина — систематические сборы орехов (особенно досадно, что сборы продолжались даже после того, как ущелье Айdere стало заповедным), причем настолько полные, что лишь самые недоступные плоды остаются на деревьях, но, упав, и они не успе-

вают прорасти, а становятся добычей животных — кабанов, дикобразов, грызунов (заметим, что раньше орехи составляли немалую долю в рационе этих животных). А самому ореху для продолжения рода уже не остается ни единого семени. Потому и нет сейчас под материнским пологом грецкого ореха сеянцев, и если все еще уцелела копетдагская популяция, то только благодаря удивительной цепкости этого дерева к жизни: даже у поверженных временем деревьев, если живут еще его корни, появляются вегетативные побеги и развивается новая поросль. Однако вегетативное возобновление грецкого ореха ограничено предельной продолжительностью жизни корневой системы и не может продолжаться вечно.

Как узколокальный эндемичный подвид с сокращающимся ареалом, грецкий орех внесен в списки Красной книги Туркменской ССР. Но для его спасения нужны действенные меры, ведь просто охранить орех не возобновишь. Необходимо продолжить сбор плодов грецкого ореха, но уже не на пищевые цели, а на семенные. И ежегодно, вплоть до получения надежного семенного возобновления, нужно подсевать осенью новые семена. Одновременно необходимо полностью запретить выпас скота, который, к сожалению, все еще продолжается в верхьях даже заповедного ущелья Айdere. Только такими мерами можно предотвратить угасание изолированной своеобразной популяции дикорастущего грецкого ореха на юго-западной границе ареала этого вида в Средней Азии. В составе копетдагской популяции есть очень ценные высокоурожайные, устойчивые к вредителям и болезням деревья. Встречаются также крупноплодные деревья с тонкой скорлупой ореха. Некоторые ценные формы копетдагской популяции ореха отобраны Туркменской опытной станцией ВИР и закреплены прививкой. Хотя, так мы считаем, генофонд ореха в Копетдаге еще полностью не изведен, но и сейчас он представляет большую ценность и сохранить грецкий орех на Копетдаге — насущная необходимость.

Кугитангский слепой голец — первая слепая пещерная рыба в фауне СССР

Н. В. Парни,
доктор биологических наук

В. Ю. Должанский
Москва

Изучение фауны подземных водоемов имеет довольно продолжительную историю. Так, первая рыба, лишенная глаз и принадлежащая к числу истинных обитателей пещер (троглобионтов), — *Amblyopsis spelaea* из знаменитой Мамонтовой пещеры (штат Кентукки, США) — была описана еще в 1842 г. Вслед за этим последовали находки рыб в других подземных озерах и реках Северной, Центральной и Южной Америки, что дало основание считать пещерную ихтиофауну характерной только для этого континента. Ошибочность такого представления стала очевидной только в 1921 г., когда была описана слепая рыба *Saecobarbus geertsi* (семейство карповых), обитающая в подземных водах Заира (бассейн нижнего течения реки Конго). Позднее пещерные рыбы были найдены в Южной Азии, Австралии и на некоторых островах.

К настоящему времени список пещерных рыб — лишенных кожного пигмента, с недоразвитыми глазами или вовсе без глаз — включает около 50 видов из 12 семейств, относящихся к 6 отрядам (см. табл.¹);



Карстовый провал в пустыне Булак-Дара у поселка Карлюк. В озере, находящемся внутри этого провала, были обнаружены кугитангские слепые голцы.

Фото В. Ю. Должанского.

кроме них в пещерах нередко встречаются и рыбы-троглоксены² (характерные для наземных водоемов, но обитающие и в пещерах).

Независимое происхождение видов, населяющих отдельные системы подземных водоемов, вполне очевидно. Они встречаются в водах, существенно различающихся по температуре, степени минерализации и химическому составу, но всегда хорошо приспособлены к жизни в условиях полной темноты. Не-

которые пещерные рыбы достаточно хорошо изучены (*Astyanax jordani* даже принадлежит к числу довольно обычных объектов аквариумного разведения), другие до сих пор остаются известными по одному или нескольким экземплярам.

В подземных водоемах СССР пещерные рыбы до недавнего времени не отмечались, хотя было известно, что два вида карпообразных — *Iranocypris typhlops* и *Noemacheilus smithi* — обитают в пещерах гор Загрос (юго-западный Иран), недалеко от южных границ нашей страны.

Честь первооткрытия слепых пещерных рыб в пределах СССР (на территории Туркмении) принадлежит геологу и спелеологу В. А. Мальцеву, который летом 1979 г. работал в предгорьях юго-западных отрогов Гиссарского хребта (горный массив Кугитангтау) и поймал в карстовом провале близ поселка Карлюк, Чарджоуской области, несколько маленьких слепых рыбок, к сожалению, впоследствии утерянных при пересылке в Москву со случайной оказией. В ноябре—декабре 1981 г. В. А. Мальцев возглавил спелеологическую экспедицию, организованную Центральным советом по туризму и экскурсиям при ВЦСПС с целью комплексного изучения пещер Кугитангтау (проводилась топографическая съемка, исследовались микроклимат, геология, фауна и т. д.). В состав этой экспедиции входили специалисты различного профиля, в том числе зоолог-энтимолог (В. Ю. Должанский, один из авторов этого сообщения) и спелеологи-аквалангисты. В числе прочих объектов были обследованы подземные водоемы пещеры Кап-Котан, а также Чикжирский карстовый источник и участок подземной реки, где ра-

¹ По: Thinh's G. L'évolution régressive des poissons cavernicoles et abyssaux. P., 1969, p. 394; с дополнениями по более поздним работам.

² Троглоксены — буквально «чуждые пещерам».



Кугитангские слепые гольцы в аквариуме. Плавая у стенок сосуда и в толще воды, рыбы часто принимают вертикальное положение, переме-

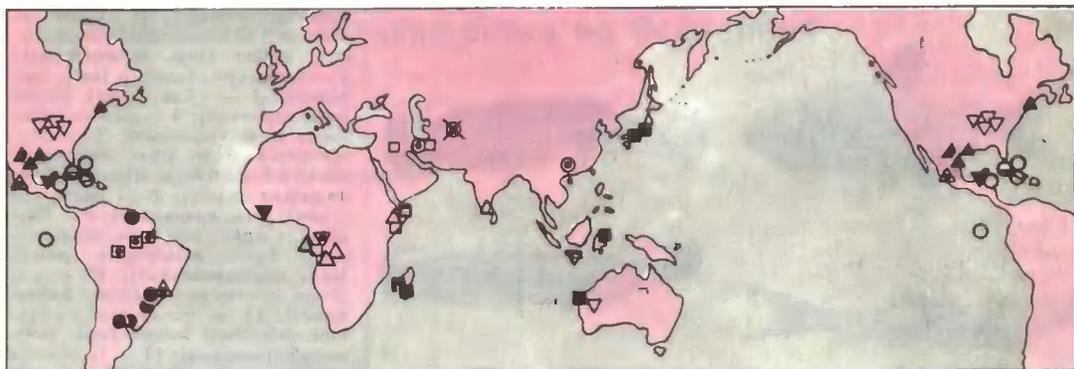
щаются на боку и даже кверху брюхом; при резких бросках выскакивают из воды почти наполовину. Фото А. Ф. Новгородова.

нее В. А. Мальцевым были пойманы слепые рыбы.

Эти рыбы были обнаружены в водоеме и при новом исследовании. Место их поймки представляет собой подземное озеро в карстовом провале, который находится в пустыне Булак-Дара у подошвы одного из отрогов Кугитангтау, восточнее поселка Карлюк (примерно в 45 км от железнодорожной станции Чаршанга и в 60 км от города Гаурдак).

Провал имеет глубину (до поверхности воды) около 10 м и почти отвесные скальные стенки, сложенные известняками. Площадь подземного озера невелика — около 30 м², а глубина не превышает 5—7 м. Подземная река проникает в него со стороны хребта по узкому ходу, устьевая часть которого длиной около 15 м представляет собой вертикальную полузатопленную щель, прикрытую скальным карнизом. С противоположной стороны озера вода уходит под землю через полностью затопленный ход. Во время посещения водоема (3 декабря 1981 г.) течение в нем было очень слабым, вода очень теплой (около 24°С при температуре воздуха около 12°), прозрачной, с заметным минеральным привкусом. В освещенной части озера растут водные мхи и нитчатые водоросли, покрывающие камни. В толще воды были замечены мелкие планктонные рачки, напоминающие циклопов, а на дне — брюхоногие моллюски.

Слепые рыбы длиной 3—7 см были обнаружены аквалангистами в разных участках водоема, но большая часть их держалась стойкой на глубине 4—5 м в районе поступления подземных вод, а также на глубине 1—2 м среди водной растительности. Здесь сачком было отловлено 10 экземпляров рыб; три из них были зафиксированы глицерином, а остальные посажены в большой термос, наполненный водой из озера, и доставлены в Москву, в Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР и в Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР. Полное отсутствие глаз и наружного пигмента на теле, хорошо видимое и на цветных фотографиях, позво-



Географическое распространение рыб-троглобионтов. Крестиком обозначено место помки слепого кугитангского голца.

▲ Харациновые

□ Карповые

● Вьюновые

▲ Пимелодовые

▣ Кошачьи сомы

● Клариевые

△ Ванделловые

▽ Слепоглазковые

○ Бротуловые

▽ Слитножаберниковые

■ Бычковые

▽ Хоботнорылые

Таблица
Рыбы-троглобионты

Отряд, семейство	Число видов
Cypriniformes [карпообразные]	
Characidae (харациновые)	4
Cyprinidae (карповые)	6
Cobitidae (вьюновые)	2
Siluriformes [сомообразные]	
Pimelodidae (пимелодовые)	3
Ictaluridae (кошачьи сомы)	4
Clariidae (клариевые)	5
Trichomycteridae (ванделлиевые)	5
Percopsiformes [перкопсообразные]	
Amblyopsidae [слепоглазковые]	3
Ophidiiformes [ошибиеобразные]	
Bythitidae (бротуловые)	4
Synbranchiformes [слитножаберникообразные]	
Synbranchidae (слитножаберниковые)	4
Perciformes [окунеобразные]	
Gobiidae (бычковые)	6
Mastacembelidae (хоботнорылые)	1

ляет с полной уверенностью отнести этих рыб к числу настоящих троглобионтов.

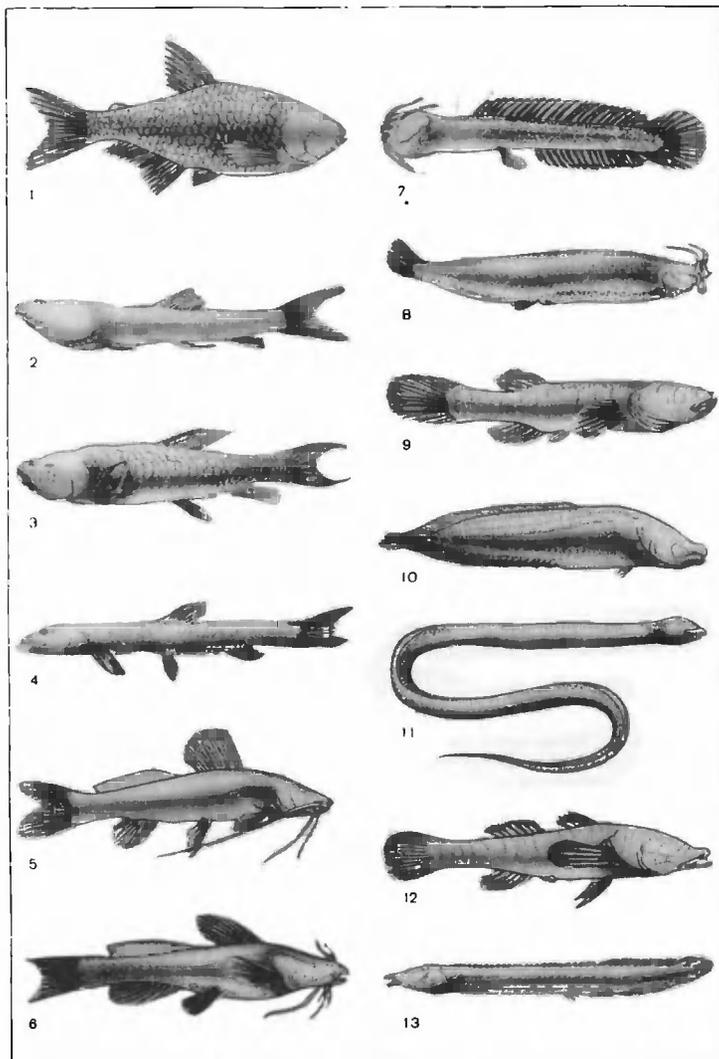
Фиксированные экземпляры рыб были изучены Н. В. Париным. Эти рыбы относятся к роду голецов (*Noemacheilus*) семейства вьюновых, представленному многими видами в водоемах советской Средней Азии и прилегающих стран (Иран, Афганистан). Наличие хорошо развитых гребней на хвостовом стебле и ряд других осо-

бенностей указывают на близость этих рыб к подроду гребенчатых голецов (*Paracobitis*), который объединяет около 10 видов; три из них — *N. cristatus*, *N. rhadineus* и *N. longicauda* — встречаются в пределах Туркменской ССР (последний вид обитает и в наземных водах Кугитанга³). К этому же подроду

относится и единственный известный ранее слепой голец *N. smithi*, из юго-западного Ирана, описанный в 1976 г.

Совершенно несомненно, что пещерный кугитангский голец — это новый для науки вид. Он четко отличается от всех известных представителей рода *Noemacheilus* меньшим числом лучей в брюшных плавниках (всего 5 против 7—8 у прочих видов). От наземных гребенчатых голецов его отличают

³ Старостин И. В. — Изв. Туркм. фил. АН СССР, 1945, № 5—6, с. 131



Рыбы-троглобиты из разных семейств: 1 — *Astyanax* (= *Anoptichthys*) *jordani* (сем. харациновых); 2 — *Iranocypris typhlops* (сем. карповых); 3 — *Saescocypris basimi* (сем. карповых); 4 — *Noemacheilus smithi* (сем. вьюновых); 5 — *Saescorhamdia urichi* (сем. пимелодовых); 6 — *Satan eurystomus* (сем. кошачьих сомов); 7 — *Horaglanis krishnai* (сем. кларневых); 8 — *Pigidianops eigenmanni* (сем. ванделловых); 9 — *Amblyopsis spelaea* (сем. слепоглазковых); 10 — *Lucifuga subterranea* (сем. бротульиных); 11 — *Monopterus* (= *Typhlosynbranchus*) *boueti* (сем. слякножаберниковых); 12 — *Typhlotris madagascarenensis* (сем. бычковых); 13 — *Mastacembelus* (= *Saecomastacembelus*) *brichardi* (сем. хоботных).

не только отсутствие глаз и пигментации, но также полная потеря чешуйного покрова и многие пропорции тела. Среди важнейших черт, отличающих кугитангского гольца от иранского пещерного вида (*N. smithi*), можно отметить большее число лучей в хвостовом плавнике, иную его форму, а также положение анального отверстия, смещенного вперед⁴.

⁴ Научное описание этого нового вида будет опубликовано в «Зоологическом журнале».

Кугитангский слепой голец, известный пока по единственному местонахождению, обязательно должен быть включен в «Красную книгу СССР».

Необходимо провести более детальные исследования той подземной речной сети, в одном из участков которой найдена эта уникальная для нашей фауны рыба, с тем чтобы получить сведения об экологии и образе жизни этого вида. Не представляется невероятным обнаружение пещерных рыб в других водоемах Кугитангтау: их гидрофауна очень древняя и включает

целый ряд эндемичных реликтовых видов.

В заключение следует отметить, что замечательные пещерные экосистемы Туркмении заслуживают самой тщательной охраны вплоть до введения в некоторых из них заповедного режима. Между тем в ряде пещер сейчас ведется промышленная разработка мраморного оникса, в результате которой не только теряется убранство подземных залов и ходов, но и нарушается сложившееся на протяжении многих тысячелетий равновесие биоценологических систем.

Вещество и антивещество во Вселенной

А. Д. Долгов, Я. Б. Зельдович



Александр Дмитриевич Долгов, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики. Область научных интересов — физика элементарных частиц и космология. Лауреат премии Ленинского комсомола.



Яков Борисович Зельдович, академик, лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР, трижды Герой Социалистического Труда. Автор фундаментальных работ в области физической химии, теории элементарных частиц, ядерной физики. В последние годы активно разрабатывает проблемы астрофизики и космологии. Неоднократно печатался в нашем журнале.

ВВЕДЕНИЕ

Триумфальным успехом теоретической физики нашего столетия, родившимся при столкновении теории относительности с квантовой теорией, было предсказание Дираком существования антивещества. Теория говорила о симметрии свойств частиц и античастиц: массы частиц и античастиц должны быть в точности равны друг другу, их заряды — равны по величине, но противоположны по знаку. Открытие позитрона и много лет спустя антипротона (а потом и множества других частиц и античастиц) блестяще подтвердило теорию.

Симметрия между веществом и антивеществом естественно приводила к мыс-

ли, что в природе вещество и антивещество должны существовать в равном количестве.

Разумеется, такая симметрия и равенство концентраций локально, т. е. везде и всюду, явно невозможны. Перемешанные вещество и антивещество аннигилируют, выделяя огромное количество энергии, хотя по отдельности каждое из них — как вещество, так и антивещество — стабильны. Например, аннигиляция 1 г вещества и антивещества по энерговыделению эквивалентно взрыву атомной бомбы среднего размера (порядка 10 килотонн тротила). Значит, вещество и антивещество — если и то и другое присутствуют во Вселенной — должны быть пространственно разделены. Были попытки объяснения энер-

говыведения квазаров аннигиляцией. Ставился вопрос о том, не состоят ли соседние звезды или соседние галактики из антивещества. Приходящее к нам излучение звезд состоит из нейтральных фотонов, которые не несут информации о том, испущены ли они атомом ($p + e^-$) или антиатомом ($\bar{p} + e^+$), так как фотон тождествен антифотону, а энергии атомов и антиатомов в точности равны. Однако отсутствие в заметном количестве антипротонов и более тяжелых антиядер в космических лучах, а также тот факт, что в межзвездном газе не происходит аннигиляции протонов и антипротонов, показывает, что антивещества в нашей Галактике нет.

Что касается других галактик, то здесь вопрос более сложный. Прямые наблюдения не исключают, что некоторые из них могли бы состоять целиком из антивещества. Астрономам, однако, известны сталкивающиеся галактики; кроме того, большое число галактик входит в одно скопление, которое «омывается» одним общим облаком газа. Во всех этих случаях можно сказать, что эти галактики состоят из вещества одного типа.

Кажется совершенно невероятным, чтобы мог существовать механизм, приводящий к разделению вещества и антивещества в столь гигантских масштабах. В настоящее время общепринятой является точка зрения, что в окружающем нас мире нет антивещества, несмотря на симметрию между частицами и античастицами.

Новая эра в космологии, начавшаяся с установления модели горячей Вселенной, привела к новой постановке вопроса об асимметрии между веществом и антивеществом в природе. Если сейчас избыток вещества является подавляющим (антивещества практически нет), то, как можно показать, на ранней стадии количество вещества и антивещества было почти одинаково. Это кажется еще более странным, чем 100%-ный избыток вещества. В этом свете по-другому расценивается смелая гипотеза Б. П. Константинова (в тот период директора Ленинградского физико-технического института) о существовании антивещества в непосредственной близости к нам в Солнечной системе. Нельзя ли объяснить вспышки метеоритов в атмосфере Земли тем, что они состоят из антивещества и аннигилируют? Буквально это предположение оказалось ошибочным, но сама постановка вопроса представляется глубоким предвидением. Не в настоящее время, а на ранней стадии во Вселенной были одинаково представлены и вещество и антивещество.

Развитие физики элементарных частиц за последние два десятилетия привело к красивой гипотезе, позволяющей понять современную асимметрию мира — ее называют зарядовой, или барионной, асимметрией (последний термин мы поясним ниже) — и, более того, выразить ее величину через характеристики элементарных частиц.

Дело в том, что симметрия между частицами и античастицами не является вполне точной. В основном, как уже говорилось, свойства частиц и античастиц одинаковы, но в «мелочах» существует небольшое различие, и оно подтверждено опытом. Например, существует частица — так называемый нейтральный К-мезон, — которая способна распадаться двумя способами: $K^0 \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}$ и $K^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu$.

Для понимания дальнейшего не нужно знать все свойства частиц, участвующих в этих распадах; достаточно отметить главное — все образовавшиеся в результате одного из способов распада частицы (π^+ , e^- , $\bar{\nu}$) являются античастицами по отношению к конечному состоянию во втором способе распада (π^- , e^+ , ν). При этом оказывается, что вероятности двух путей распада отличаются примерно на 0,3%. Различие мало, но важность его столь велика, что не случайно нарушение симметрии между частицами и античастицами, экспериментально обнаруженное, хотя и в явлении другого типа, было отмечено Нобелевской премией 1980 г.¹

Можно сказать, что от небольшого нарушения симметрии во взаимодействиях элементарных частиц зависит сама возможность нашего существования: встреча с антивеществом была бы для нас губительной. Более того, в случае полной симметрии аннигиляция вещества с антивеществом произошла бы еще до образования самих звезд и планет. В результате, просто не было бы строительного материала, из которого создано все богатство окружающего нас мира, не возникла бы, разумеется, и жизнь.

Нет ли в сказанном противоречия? Мы говорим о малом нарушении симметрии, о малом различии частиц и античастиц, вместе с тем утверждая, что сегодня в мире есть вещество и совсем нет антивещества. Каким образом малое различие в свойствах частиц и античастиц создало подавляющее различие в их количестве сегодня?

¹ См.: Смондырев М. А. Лауреаты Нобелевской премии 1980 г. по физике — Дж. Кронин и В. Фитч. — Природа, 1981, № 1, с. 98.

Современная физика дает на это достаточно убедительный ответ. Чтобы рассказать, в чем он состоит, нужно сообщить основные сведения о модели горячей Вселенной². Эта модель была предложена в 1946 г. Г. Гамовым и лежит в основе современной космологии. Еще раньше на основе теоретических работ А. А. Фридмана, наблюдений Э. Хаббла и других астрономов был установлен факт расширения Вселенной: скопления галактик и даже отдельные галактики разлетаются, причем скорость их разлета тем больше, чем дальше они находятся друг от друга. Очевидно, что в прошлом, когда галактики были ближе друг к другу, плотность вещества во Вселенной была больше. Пользуясь уравнениями общей теории относительности и физики элементарных частиц, можно продолжить экстраполяцию вспять до гигантских значений плотности, когда уже надо говорить не о галактиках и звездах, а о сверхплотной плазме элементарных частиц.

Гамов высказал предположение, что вещество Вселенной было горячим. При этом, чем плотнее было вещество, тем выше была и его температура. Был период высокой температуры, но при расширении газа произошло ее понижение. В горячей первичной плазме находилось примерно равное количество всех частиц, с массами ниже или порядка температуры плазмы T . В частности, при температуре, примерно равной энергии покоя протона³, первичная плазма состояла из фотонов, нейтрино, электрон-позитронных пар, пар протонов и антипротонов, нейтронов и антинейтронов и т. п. (последняя часть этого высказывания не вполне точна, поскольку при столь высоких температурах уже проявляется неэлементарность протонов, нейтронов и их античастиц; они диссоциируют на фундаментальные составляющие материи — кварки и антикварки).

Из сегодняшних наблюдательных данных следует, что в этот период разница

в количестве частиц и античастиц была весьма небольшой: на каждый миллиард (или даже десять миллиардов) антипротонов в плазме содержался миллиард и еще один протон (или десять миллиардов и еще один). В дальнейшем при расширении (и охлаждении) каждая частица нашла себе партнера, с которым и проаннигилировала, образовав в конечном счете кванты электромагнитного поля — фотоны. А лишние протоны, не найдя себе напарника для взаимного уничтожения, послужили в дальнейшем строительным материалом нашего мира.

А какова судьба фотонов, образовавшихся при этом в первичной плазме? Они тихо и мирно дожили до наших дней, остывая по мере расширения Вселенной, и сейчас однородно заполняют ее в виде холодного фотонного газа с температурой около 3 К. Это и есть знаменитое реликтовое излучение, за открытие которого А. Пензиасу и Р. Вильсону была в 1978 г. присуждена Нобелевская премия⁴.

Величина зарядовой асимметрии, или избытка частиц над античастицами на горячей стадии, как раз и была определена на основе данных о реликтовых фотонах и о плотности вещества. Мы знаем, что сейчас средняя плотность реликтовых фотонов во Вселенной составляет около 500 штук в кубическом сантиметре. С другой стороны, в среднем мы имеем примерно один протон на кубометр (или даже несколько меньше). Таким образом, число фотонов во Вселенной в миллиард или, возможно, в 10 миллиардов раз больше числа протонов. Можно сказать, что Вселенная состоит, главным образом, из света, а точнее, из миллиметровых радиоволн. Правда, надо признать, что в настоящее время вклад этих фотонов в полную плотность энергии во Вселенной ничтожен, но не так было в течение первых тысячелетий развития Вселенной из сверхплотного «начального» состояния, когда эти фотоны, в то время еще горячие, составляли основную массу Вселенной и определяли динамику ее расширения.

Говоря о фотонах и протонах, мы забыли упомянуть еще о реликтовых нейтрино. Можно показать, что сейчас в каждом кубическом сантиметре в среднем находится примерно 75 нейтрино каждого сорта и столько же антинейтрино. Если

² См., напр.: Вайнберг С. Первые три минуты. Пер. с англ. под ред. и с послесл. Я. Б. Зельдовича. М., 1981.

³ Здесь и ниже используется естественная система единиц, в которой три фундаментальные постоянные — скорость света c , постоянная Планка \hbar и постоянная Больцмана k — положены равными единице. Единственной размерной величиной в такой системе единиц является величина размерности энергии (или, что то же, массы), а время, расстояние и температура измеряются в энергетических единицах. Для перехода к обычным единицам удобно помнить, что, например, масса протона $m_p = 1,6 \cdot 10^{-24}$ г $= 1,6 \cdot 10^{-10}$ Дж $= 940$ МэВ $= 10^{10}$ К $= (2 \cdot 10^{14}$ см⁻¹)⁻¹ $= (7 \cdot 10^{-28}$ с)⁻¹.

⁴ Зельдович Я. Б., Сюняев Р. А. Лауреаты Нобелевской премии 1978 г. по физике — А. Пензиас и Р. Вильсон. — Природа, 1979, № 1, с. 101.

нейтрино массивны (как свидетельствует недавний эксперимент, проведенный в Институте экспериментальной и теоретической физики, $m_\nu \approx 30$ эВ), то сейчас именно в этих нейтрино сосредоточена в основном масса Вселенной. Заметим, что можно с уверенностью сказать: масса нейтрино не должна превышать 100 эВ, так как в противном случае, как отмечалось еще 15 лет назад С. С. Герштейном и Я. Б. Зельдовичем, Вселенная расширялась бы слишком быстро и к настоящему моменту ее возраст был бы меньше 10 млрд. лет — в противоречии с существующими данными.

Вернемся теперь к протонам. Их относительно малое число сегодня по сравнению с реликтовыми фотонами и нейтрино и есть отражение того факта, что было невелико различие между числом частиц и античастиц. Избыток протонов над антипротонами на горячей стадии развития Вселенной ($T \geq m_p = 10^{13}$ К) практически равен отношению современных концентраций протонов и реликтовых фотонов:

$$\beta = N_p / N_\gamma = 10^{-9} \div 10^{-10}.$$

До недавнего времени величина β — важнейшая космологическая постоянная — определялась не из фундаментальной теории, а из астрономических наблюдений. Однако сейчас, благодаря впечатляющим достижениям физики элементарных частиц, появилась принципиальная возможность получить эту величину из физической теории, основанной на лабораторных экспериментах.

Говоря о протонах и нейтронах, мы подразумеваем, что полное число их сохраняется. Действительно, при описании горячей стадии и последующего более холодного периода предполагалось, что протон или нейтрон⁵ могут исчезнуть, только встретившись с соответствующей античастицей. Далее предполагалось, что имевшийся в то далекое время (10 млрд лет назад) избыток нуклонов над антинуклонами благополучно доживает до нашего времени, так что количество частиц в единице объема, расширяющегося вместе со всей Вселенной, остается постоянным. И надо сказать, что для этих предположений есть весьма надежные экспериментальные основания. Прежде всего об этом свидетельствует стабильность окружающего нас вещества — протонов и атомных ядер. Например, распад протона никогда не наблюдался. Согласно современным экспериментальным

данным, время жизни протона больше 10^{30} лет. Оно во столько же раз больше возраста Вселенной, во сколько раз возраст Вселенной больше одной тысячной секунды. Далее из опытов, выполненных на ускорителях, известно, что рождение антибариона в какой-либо реакции обязательно сопровождается рождением бариона, так что разность между общим числом барионов и антибарионов в начальном и конечном состояниях остается неизменной.

Нейтрон нестабилен — его время жизни составляет около 10 мин. Однако во всех зарегистрированных до настоящего времени распадах нейтрона (свободных или связанных в ядрах) обязательно появлялся протон. То же самое относится и к большому числу барионов, открытых за последние 30 лет (странным Λ -, Σ -, Ξ -гиперонам, очарованным барионам и т. д.): они образуются из протона и после цепи распадов в конце концов снова превращаются в протоны. Во всех случаях общее число барионов сохраняется.

Однако неизвестно никакого физического закона, который запрещал бы распад протона (например, на позитрон и нейтральный мезон). С другой стороны, характерные времена в распадах частиц измеряются (как правило) малыми долями секунды. Ясно, что-то сильно мешает протону распадаться.

Для феноменологического описания этой закономерности и было введено понятие сохраняющегося барионного заряда B . Всем барионам (протону, нейтрону или гиперонам) приписывается значение $B = +1$, а антибарионам $B = -1$, причем барионный заряд системы частиц должен быть равен сумме зарядов всех частиц. Введение понятия барионного заряда не означает понимания наблюдаемого явления сохранения барионов — это лишь экономный способ описания этого факта.

Понятие барионного заряда построено по очевидной аналогии с электрическим зарядом. Еще в средней школе мы узнаем, что существуют положительно заряженные частицы — протоны и отрицательно заряженные частицы — электроны. Электрический заряд тела равен разности числа протонов и электронов. В школе протоны и электроны рассматриваются как абсолютно прочные кирпичики мироздания, не исчезающие и не появляющиеся. Сохранение электрического заряда в этом случае является простым следствием неразрушимости частиц. Электрический ток есть перемещение частиц, но, если откуда-то уходят электроны, то там их остается меньше

⁵ Общее название этих частиц — нуклоны, или еще более общее, включающее также ряд тяжелых частиц — странных и очарованных, — барионы.

и возникает положительный заряд. При этом заряд измеряется по электрическому полю, а ток — по магнитному. Отметим еще, что сохранение электрического заряда органически присуще уравнениям Максвелла.

Известно, что частицы могут рождаться, погибать, превращаться друг в друга. Однако Природа хочет, чтобы при этом (или несмотря на это) оставался в силе закон сохранения электрического заряда. Для этого нужно, чтобы в каждом акте рождения или распада сохранялся заряд:

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}, \quad \gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^- \text{ и т. д.}$$

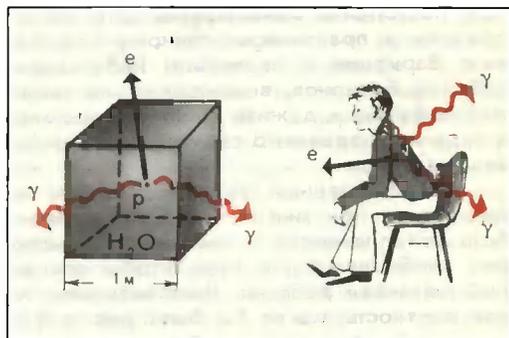
На уровне элементарных частиц и их превращений сохранение барионного заряда формулируется и проверяется опытами точно так же: $p + p \rightarrow p + \Lambda^0 + K^+$, $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$, ... Разница, однако, заключается в том, что нет способа определить барионный заряд по внешнему полю (не подсчитывая отдельные частицы), как это можно сделать для электрического заряда.

Если барионы действительно сохраняются, то наши надежды на объяснение зарядовой асимметрии Вселенной обречены на провал. В этом случае — сколько барионов было «положено» с «самого начала» в нашу Вселенную, столько и остается в ней навсегда⁶.

Однако строгое сохранение барионного заряда всегда представлялось загадочным, а в последние годы появились очень веские основания, правда, пока еще не подкрепленные прямым экспериментом, считать, что этого сохранения вообще нет. Предсказывается, что наблюдаемая стабильность протона является лишь приближенной и что в простейших вариантах теории он имеет время жизни относительно самопроизвольного радиоактивного распада не намного выше существующего экспериментального предела.

Распад протона пока не обнаружен, но эксперименты по его поиску интенсивно ведутся как у нас в стране, так и за рубежом. Не исключено, что в ближайшем будущем эти «эксперименты века» дадут нам положительный ответ. Несохранение барионного заряда в принципе может происходить и при столкновениях частиц на ускорителях. При энергиях, доступных сегодняшней лаборатории, эффект ничтожно мал, однако он растет с увеличением энергии. При

фантастически высоких энергиях, порядка 10^{14} ГэВ, процессы с несохранением барионного заряда должны происходить примерно с той же вероятностью, что и процессы, в которых барионный заряд сохраняется. К сожалению, нет никакой надежды в обозримое время построить ускоритель, на котором можно было бы непосредственно изучать законы взаимодействия частиц при таких энергиях⁷. Однако самопроизвольный распад протона, если он будет обнаружен, косвенно позволит нам «заглянуть» в область этих сверхбольших энер-



Чтобы зарегистрировать распад протона, если он нестабилен, не надо ждать, пока пройдет время, сравнимое с его временем жизни. Дело в том, что такой распад может с равной вероятностью произойти в любое мгновение. Только вероятность эта весьма мала. Можно, однако, наблюдать за большим числом протонов. Например, в 1 м^3 воды содержится 10^{30} протонов, и при времени жизни протона 10^{30} лет в кубометре воды будет в среднем происходить распад одного протона в год. Дело «только» за тем, чтобы зарегистрировать это событие. Заметим еще, что если протон живет 10^{30} лет, то в теле человека на протяжении жизни должно распасться несколько протонов.

Укажем также, что несохранение барионного заряда могло бы проявиться не только в распаде протона, но и в рождении антинейтронов в пучке свободных нейтронов — это так называемые нейтрон-антинейтронные осцилляции. Опыты по их поискам также ведутся. В этом случае барионный заряд меняется сразу на две единицы, зато процесс резонансный, так как

⁶ В конце статьи мы кратко остановимся на возможной роли первичных черных дыр в образовании избытка барионов.

⁷ Для сравнения: максимальная энергия, получаемая на современных ускорителях, — порядка 500 ГэВ. Рекордная энергия, которую изредка удается наблюдать в космических лучах, около 10^{11} ГэВ. До сих пор 1 ГэВ энергии на ускорителе стоил в среднем 1 млн. долл. По такому расчету, 10^{14} ГэВ будут стоить 100 млрд млрд долл., что равно валовому продукту всего человечества за 100 млн лет.

масса (энергия) антинейтрона в точности равна массе нейтрона.

Если в истории развития Вселенной был период, когда температура достигала величины порядка 10^{14} — 10^{15} ГэВ (10^{27} — 10^{28} К), а плотность — 10^{75} г/см³, то в это время несохранение барионного заряда должно было быть велико. Именно тогда за счет отличия в свойствах частиц и античастиц и мог бы возникнуть небольшой избыток барионов над антибарионами. В дальнейшем, по мере расширения Вселенной, расстояния между частицами росли и силы, приводящие к несохранению барионов, постепенно выключались. Это вскоре привело к практически точному сохранению барионов и позволило небольшому избытку барионов, возникшему на сверхплотной стадии, дожить до нашего времени в виде наблюдаемого сейчас во Вселенной вещества.

Неискушенный читатель может содрогнуться при мысли о той неимоверно большой плотности и температуре, которая необходима для того, чтобы описанный механизм работал. Действительно, такая плотность могла бы быть достигнута, если всю видимую часть Вселенной сжать до кубика со стороной около 10 см. Современная теория, опираясь на астрономические наблюдения, с неизбежностью приводит к тому, что в отдаленном прошлом вся видимая Вселенная могла бы поместиться в литровой банке.

Допустима ли такая экстраполяция? Естественной первой реакцией, даже у крупных ученых, является недоверие, переходящее иногда даже в резкий протест. Но на самом деле хорошо известные законы физики позволяют с большой уверенностью определить закон изменения объема и плотности на ранней стадии. Единственное дополнительное предположение, которое при этом приходится делать, — это однородная (зависящая только от времени, но не от координат) плотность и одинаковая скорость расширения Вселенной во всех направлениях.

Эти предположения хорошо подтверждаются уже в том интервале времени, который доступен исследованию: сегодня вещество очень однородно (галактики), но 10 — 20 млрд лет назад, когда плотность вещества была в 10^9 раз больше, а температура порядка 3000 К, вещество во Вселенной было распределено в высокой степени однородно и изотропно. Об этом свидетельствует реликтовое излучение. Экстраполируя еще дальше, можно утверждать, что так было и в интересующую

нас эпоху: когда температура достигала 10^{27} К, вещество также было распределено однородно⁸.

Закljučая описание общих идей, объясняющих наличие вещества и отсутствие антивещества в нашем мире, хотелось бы упомянуть еще об одном весьма важном обстоятельстве. Дело в том, что даже если барионный заряд сильно не сохраняется и свойства частиц и античастиц заметно различны, тем не менее в равновесной системе количество барионов обязательно должно быть равно количеству антибарионов. Это есть следствие так называемой СРТ-теоремы, которая сохраняет некоторую симметрию между частицами и античастицами, требуя равенства их масс и времен жизни.

Выдерживая систему при постоянной температуре и давлении достаточно долго, мы обязательно придем к термодинамическому равновесию. В этом случае N_B будет равно $N_{\bar{B}}$ независимо от начального соотношения барионов. Но, к счастью, как мы знаем, Вселенная нестационарна — она расширяется. Не будь этого, не было бы избытка барионов над антибарионами и мир был бы совершенно иным.

Итак, подобно древним, мы можем утверждать (правда, на качественно ином уровне), что наш прекрасный мир покоится на трех китах: на малом отличии свойств частиц и античастиц, на несохранении барионов и на нестационарности Вселенной⁹.

⁸ Сделав эти выводы, мы опустили некоторые довольно существенные детали. Дело в том, что при падении температуры в первичной плазме возможны фазовые переходы, меняющие симметрию исходного состояния. Эти процессы могли существенно повлиять и на однородность Вселенной и на содержание в ней барионов. Это очень интересная область физики и космологии развилась в последние годы из работ Д. А. Киржница и А. Д. Линде и требует для своего описания отдельной статьи.

⁹ Впервые подобная идея о генерации барионов во Вселенной была выдвинута почти 15 лет назад. См.: Сахаров А. Д. — Письма в ЖЭТФ, 1967, т. 5, с. 32. Тремя годами позже была рассмотрена несколько иная модель барионов. Кузьмин В. А. — Письма в ЖЭТФ, 1970, т. 12, с. 335. Однако в те времена мысль о несохранении барионного заряда казалась кощунственной, и эта тема была надолго забыта. Но в последние годы развитие физики элементарных частиц естественным путем привело к идее о несохранении барионов, в связи с чем возник большой поток работ по вопросу о происхождении барионной асимметрии Вселенной. Список литературы по этой теме и ряд специальных подробностей можно найти в обзоре: Долгов А. Д., Зельдович Я. Б. — УФН, 1980, т. 130, с. 559. Мы отметили здесь лишь две работы, послужившие зародышами последующей лавины статей:

Излагаемая концепция еще не достигла состояния количественной теории; мы не умеем сколько-нибудь точно вычислять сегодняшнюю концентрацию барионов. Однако и на этой стадии качественных представлений теория приводит к существенным выводам, относящимся к структуре Вселенной. Неизвестна точная величина отношения $N_B/N_{\bar{B}}$, но известно, что эта величина должна быть везде одинакова. Уже из этого утверждения следует, что малые возмущения однородности Вселенной на ранней стадии должны быть такими, что и плотность барионов и плотность фотонов (излучения) меняются пропорционально. Такая взаимосвязь приводит к вполне определенным выводам о структуре Вселенной сегодня, о существовании сверхскоплений галактик и их расположении. Но эти вопросы выходят далеко за рамки статьи.

На этом читатель, не интересующийся деталями, может закончить чтение — мы специально старались написать введение именно таким образом.

Ниже мы более подробно обсудим три основополагающих принципа «сотворения» мира, о которых уже шла речь, и опишем конкретную модель возникновения барионной симметрии.

ДИСКРЕТНЫЕ СИММЕТРИИ В ФИЗИКЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ, ИЛИ О СХОДСТВЕ И РАЗЛИЧИИ ЧАСТИЦ И АНТИЧАСТИЦ

Четверть века назад существовала глубокая вера в то, что свойства частиц и античастиц в точности одинаковы и законы природы в мире из вещества в точности такие же, как в мире из антивещества. Эта неизменность законов физики при переходе от частиц к античастицам называлась зарядовой инвариантностью, а операция замены частиц на античастицы — операцией зарядового сопряжения (ее обозначают латинской буквой C , от англ. charge conjugation).

Другая важная операция симметрии — зеркальное отражение (P — от англ. parity). P -преобразование некоторого физического процесса эквивалентно рассмотрению этого процесса в зеркале. При этом правая перчатка превращается в левую, изменяется направление стрелок часов.

И, наконец, последней (по порядку, но не по важности) в этом ряду преобразований симметрии стоит операция обращения времени (T -преобразование, от англ. time inversion; здесь, в отличие от предыдущего, T — время, а не температура). Операция обращения времени означает изменение скоростей частиц (соответственно и импульсов, и угловых моментов), а также перестановку начального и конечного состояний, т. е. переход к процессу, идущему вспять во времени.

В настоящее время мы не можем представить себе теорию, в которой отсутствовала бы инвариантность относительно совместного действия всех трех преобразований — CPT . Ниоткуда, однако, не следует, что взаимодействия частиц инвариантны относительно действия этих преобразований по отдельности. Долгая вера в последнее основывалась (помимо любви к симметрии) на том, что таковы конкретные теории электромагнитного и гравитационного взаимодействий, которые ранее других были установлены. В частности, они являются четными относительно операции P . Этот факт незаконно экстраполировался на все виды взаимодействий. Однако в 1956 г. работа Т. Ли и Ч. Янга поставила под сомнение догму о сохранении четности, а эксперимент Ц. Ву с сотрудниками подтвердил ее крушение в β -распаде, т. е. в слабом взаимодействии¹⁰. Именно, было показано, что при зеркальном отражении физические процессы протекают иначе, чем исходные: P -инвариантность оказалась лишь приближенной симметрией нашего мира.

Одновременно стало ясно, что нарушается инвариантность относительно зарядового сопряжения, т. е. взаимодействия частиц и античастиц различны. Тем не менее оставалась надежда, что симметрия между веществом и антивеществом по-прежнему сохраняется, если одновременно с переходом от частиц к античастицам сделать операцию зеркального отражения. Соответствующее преобразование получило название комбинированной инверсии, или CP -преобразования. Эту необычайно привлекательную идею высказал Л. Д. Ландау в 1957 г.

Однако в 1964 г. выяснилось, что и эта симметрия является лишь приближенной¹¹. Стало ясно, что различие между

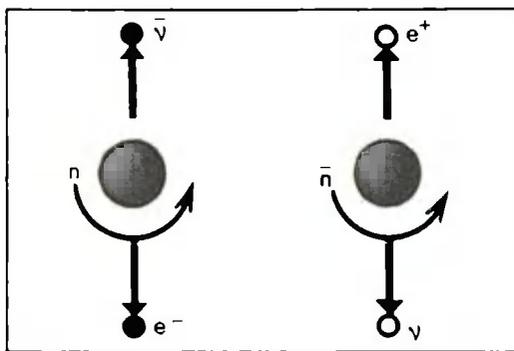
Ignatiev A. Yu., Kraskov N. V., Kuzmin V. A., Tavkhelidze A. N.— Phys. Lett., 1978, v. B76, p. 436; Voshimura N.— Phys. Rev. Lett., 1978, v. 41, p. 281; v. 42, p. 746.

¹⁰ См., напр.: Варденга Г. Л., Окно в Э. О. Слабые взаимодействия сокрушают симметрии. — Природа, 1970, № 9, с. 8.

¹¹ См. сноску 1.

частицами и античастицами еще сильнее. В частности, вероятности распада частиц и античастиц в определенное конечное состояние должны отличаться. Именно это и обеспечивает преимущественное выживание частиц в нашем мире. Мы обязаны своим существованием ничтожно малому нарушению симметрии между частицами и античастицами. Крушение C - и CP -симметрии в этом смысле оказалось созида- тельным началом.

Единственно неизбежной среди этого семейства рухнувших симметрий остается



Требование CP -инвариантности приводит к равенству вероятностей процессов с участием частиц или соответствующих античастиц. Дифференциальные вероятности (вероятность вылета частиц под определенным углом или со значением импульса или энергии в определенном интервале) могут быть различны. Например, при распаде поляризованного нейтрона электроны вылетают преимущественно в направлении, противоположном направлению спина последнего (слева), а при распаде антинейтрона позитроны вылетают наоборот, в основном по спину (справа). Однако суммарные вероятности распада, получаемые путем интегрирования по различным направлениям вылета электрона или позитрона, в силу CP -инвариантности, должны быть одинаковыми.

инвариантность относительно CPT -преобразования. Это понятно, так как, в отличие от всего предыдущего, для этой симметрии имеются твердые теоретические основания. Именно CPT -инвариантность, как можно показать, обеспечивает равенство масс частиц и античастиц, а также равенство их времен жизни.

Таким образом, некоторая симметрия между частицами и античастицами все же остается. Оказывается, что именно благодаря этому обстоятельству в стационарной Вселенной не возникло бы избытка частиц над античастицами, несмотря на нарушение C и CP . Но Вселенная нестационарна. Она расширяется, направление течения време-

ни, таким образом, задано. В итоге различие между частицами и античастицами проявляется в полной мере.

Естественный вопрос — велика ли эта «полная мера»? Мы все время говорим о малом отличии свойств частиц и античастиц, о малой величине избытка барионов. Случайно ли именно такое различие? Связано ли оно специальным подбором малых чисел в теории или является следствием некоторых общих принципов? Разумеется, второй вариант эстетически более привлекателен, и оказывается, что именно он и реализуется.

Численные оценки величины избытка барионов над антибарионами удобнее привести после того, как будет рассказано, что такое схемы Великого объединения.

ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ. НЕСОХРАНЕНИЕ БАРИОННОГО ЗАРЯДА

Сначала несколько слов о барионном заряде. Природа его сохранения оказалась совершенно загадочной. Мы думаем, что со всяким сохраняющимся зарядом связана некоторая безмассовая частица, взаимодействующая с этим зарядом. Например, сохранение электрического заряда тесно связано с безмассовостью фотона¹².

Никаких безмассовых частиц, аналогичных фотону, и отвечающих им дальнедействующих сил, но связанных с барионным, а не электрическим зарядом на опыте обнаружено не было. Анализ, проделанный Т. Ли и Ч. Янгом и позже уточненный Л. Б. Окунем¹³, показал, что сила взаимодействия между барионными зарядами (если существуют «барионные фотоны») по крайней мере в 10^{43} раз меньше, чем сила взаимодействия между электрическими зарядами¹⁴. Это настолько мало, что естественно предположить отсутствие барионного дальнего действия вообще. Но тогда возникает вопрос: а может быть, барионный

¹² Выше упоминалось сохранение заряда как следствие уравнений Максвелла. Недавно М. Б. Волошин, Я. Б. Зельдович и Л. Б. Окунь подробно анализировали, как малое изменение уравнений Максвелла повлияло бы на этот вывод: Okun L. B., Zeldovich Ya. B. — Phys. Lett., 1978, v. 87B, p. 597; Волошин М. Б., Окунь Л. Б. — Письма в ЖЭТФ, 1978, т. 28, с. 156.

¹³ Lee T. D., Yang C. N. — Phys. Rev., 1955, v. 98, p. 1501; Окунь Л. Б. — Яд. физ., 1969, т. 10, с. 358.

¹⁴ Такие силы действовали бы наряду с гравитационным полем и нарушали бы равенство ускорений различных веществ в общем поле тяготения.

заряд сохраняется лишь приближенно? Зарядовая асимметрия Вселенной наталкивала на эту мысль. Развитие теории элементарных частиц за последние годы подтвердило этот вывод.

В настоящее время вывод о несохранении барионного заряда делается в рамках так называемых теорий Великого объединения (Grand Unification Theories). Еще десятилетие назад все взаимодействия между частицами делились на четыре не связанных между собой типа: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное. Сила и свойства этих взаимодействий существенно различны. Силу взаимодействия принято характеризовать так называемой константой связи: при характерных энергиях порядка 1 ГэВ для сильных взаимодействий она порядка единицы, для электромагнитных равна $1/137$; ранее использовавшаяся константа слабых взаимодействий — размерна и составляет около $10^{-5}/m_p^2$, константа гравитационных взаимодействий также размерна и равна $10^{-38}/m_p^2$ (m_p — масса протона).

Однако, несмотря на столь большое различие в силе при малых энергиях, слабое и электромагнитное взаимодействия имеют сходные черты. Это отмечалось в работах Я. Б. Зельдовича о распаде $\pi^+ \rightarrow \pi^0 e \nu$ и С. С. Герштейна и Я. Б. Зельдовича о сохранении векторного тока еще в 1955 г. Гипотеза о том, что слабое взаимодействие осуществляется векторными токами, приняла законченный вид в работах Р. Фейнмана и М. Гелл-Манна и Р. Маршака и Е. Сударшана в 1958 г. В этом смысле слабое взаимодействие подобно электромагнитному.

Революционный шаг был сделан в 1967 г. А. Саламом и С. Вайнбергом независимо. Они завершили построение схемы, намеченной Ш. Глэшоу¹⁵, в которой электромагнитные и слабые взаимодействия имеют одну природу и описываются, хочется сказать — одной, но в действительности двумя безразмерными константами связи одного порядка величины. Различие между слабыми и электромагнитными взаимодействиями при малых энергиях связано с тем, что переносчики слабого взаимодействия — промежуточные бозоны W^\pm и Z^0 имеют массу около 100 ГэВ, в то время как переносчик электромагнитного взаи-

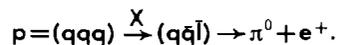
действия — фотон — является безмассовым. Поэтому электромагнитные взаимодействия оказываются далекодействующими, слабые — короткодействующими, с характерным радиусом $(100 \text{ ГэВ})^{-1} \approx 10^{-16}$ см. Массивностью переносчиков слабого взаимодействия и объясняется его слабость при энергии, малой по сравнению с массой переносчика.

После объединения слабого и электромагнитного взаимодействий (при этом возник термин электрослабые взаимодействия) естественно было попытаться найти схему, которая объединяла бы сильные и электрослабые взаимодействия. Одна из первых моделей такого типа была предложена Х. Джорджи и Ш. Глэшоу. Она основывалась на том обстоятельстве, что в принятых теориях электрослабого и сильного взаимодействий их константы по-разному зависят от энергий и при некоторой энергии все три константы становятся равными друг другу.

Однако скорость сближения этих констант как функций энергии весьма мала — «встреча» происходит при невообразимо высокой энергии, порядка 10^{14} — 10^{15} ГэВ. Эта энергия называется энергией унификации. Итак, мы думаем, что при сверхвысоких энергиях сильное и электрослабое взаимодействия становятся неотличимыми друг от друга.

При доступных пока энергиях лептоны участвуют только в электрослабых взаимодействиях, а кварки, кроме того, еще и в сильных. Теория Великого объединения, однако, предсказывает, что выше энергии унификации взаимодействия кварков и лептонов становятся одинаковыми, т. е. при таких энергиях уже нельзя отличить кварк от лептона.

Естественно ожидать, что в теориях, где кварки и лептоны входят на равных основаниях, барионный заряд может не сохраняться. (Как известно, барионный заряд кварков отличен от нуля и равен $+1/3$, а лептоны не имеют барионного заряда.) Эти теории предсказывают существование еще одного типа взаимодействия и переносящих его сверхтяжелых векторных бозонов (X-бозонов) с массой порядка энергии унификации, взаимодействия которых могут нарушать сохранение В. Предполагается, что X-бозон имеет заряд $4/3$ e или $1/3$ e и может взаимодействовать по схемам: $X \leftrightarrow \bar{q} + \bar{l}$, $X \leftrightarrow q + q$ (q — кварки, l — лептоны). Из этих реакций легко составить схему распада протона:

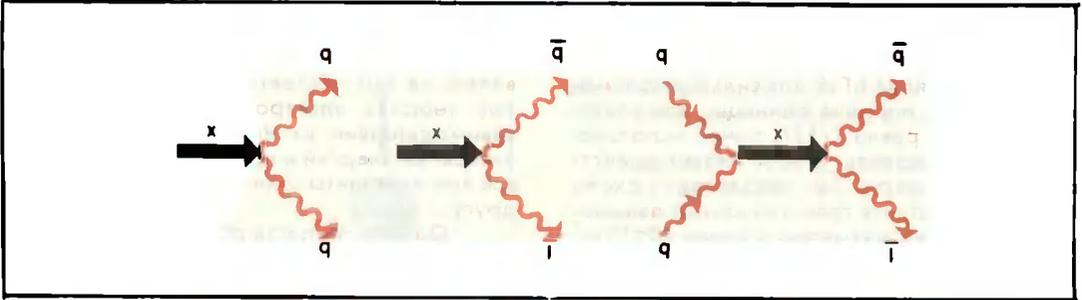


¹⁵ О теории электрослабого взаимодействия и возможности ее дальнейшего объединения с сильными взаимодействиями см.: Ансельм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий — Природа, 1980, № 6, с. 9; № 7, с. 63.

Из-за большой массы X -бозонов процессы с несохранением B сильно подавлены. В результате практически наблюдается сохранение барионного заряда. В частности, время жизни протона при этом больше или порядка 10^{30} лет, хотя протон и должен быть, вообще говоря, нестабилен. По этой причине и любое атомное ядро оказывается нестабильным. Наблюдение этой нестабильности будет величайшим триумфом теории. Возможно, время жизни протона заметно выше указанной величины, тогда опыт окажется практически неосуществи-

от того момента, когда температура и плотность энергии первичного вещества ρ (согласно классической теории, обратно пропорциональная t^2) были бы бесконечно велики.

Согласно выписанному соотношению, через 1 с после «начала» температура составляла около 1 МэВ, или 10^{10} К. Вселенная в это время представляла собой горячую плазму, состоящую из фотонов, электрон-позитронных пар и различных сортов нейтрино. Мы уже знаем, прежде всего из опыта, из наблюдений, что в этой плазме



Для X -мезонов возможны два способа распада: на пару кварков ($X \rightarrow qq$) и на антикварк и антилептон ($X \rightarrow q\bar{l}$), аналогичные распады возможны для \bar{X} -мезонов. В первом случае барионный заряд конечного состояния равен $2/3$, а во втором — $[-1/3]$. Если бы был разрешен только один из этих двух распадов, то барионный заряд остался бы сохраняющимся, при этом пришлось бы X -мезону приписать некий барионный заряд. Именно наличие двух способов распада одной и той же частицы с различными барионными зарядами в конечном состоянии и приводит к несохранению B . Если первый процесс провести в обратном направлении, а затем включить второй ($qq \rightarrow X \rightarrow q\bar{l}$), то в сумме барионный заряд изменится на единицу — справа.

мым (при $\tau_p > 10^{30}$ лет), и если это так, то ситуация будет довольно унылой: наша вера в теории Великого объединения не сможет быть в обозримом будущем подкреплена экспериментом ни в распаде протона, ни на ускорителях.

ЗАКЛАДКА ФУНДАМЕНТА МИРОЗДАНИЯ

Итак, мы полагаем, что в далеком прошлом температура вещества во Вселенной была чрезвычайно высока. Можно показать, что закон изменения температуры со временем имеет вид:

$$T \text{ (МэВ)} = t^{-1/2} \text{ (с)}.$$

В этом равенстве опущен числовой коэффициент порядка единицы. Время t отсчитывается от момента сингулярности, т. е.

находилась очень малая примесь барионов — примерно один барион на миллиард фотонов, и практически отсутствовали антибарионы. Повторим, что этот ничтожный барионный избыток сыграл впоследствии великую роль — он оказался тем строительным материалом, из которого построены галактики, звезды, планеты.

Наша цель выяснить, откуда возникли эти лишние барионы. Для этого придется отправиться ближе к «началу», когда температура превышала 10^{14} ГэВ, т. е. 10^{27} К — это отвечает моменту времени порядка 10^{-34} с.

Чрезвычайно важно, что в это время первичная плазма находилась в термически равновесном состоянии. Может показаться удивительным, что за столь короткий период могло установиться равновесие. Оценки показывают, что это действительно возможно. Равновесие успевает установиться, если скорость реакций в плазме больше темпа расширения мира. Последний оказывается порядка t^{-1} , а скорость реакций с участием X -бозонов обратно пропорциональна их времени жизни $\tau_X \approx (\alpha m_X)^{-1}$, где $\alpha \approx 0,02$ — единая константа сильного и электрослабого взаимодействия. Таким образом, характерное время распада и обратного рождения X -бозона оказывается порядка 10^{-36} с. Следовательно, через 10^{-36} с после «начала» (т. е. от момента сингуляр-

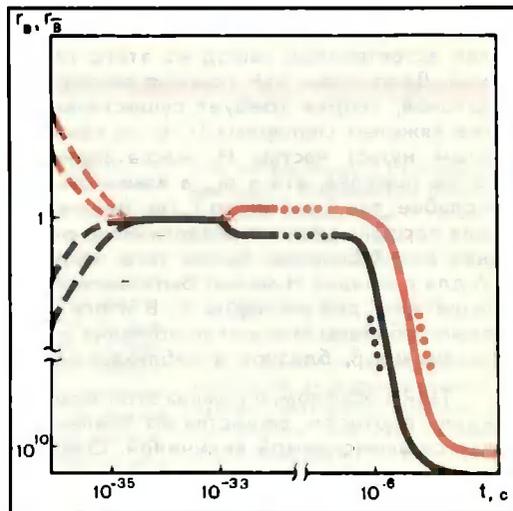
ности) скорость процессов $X \leftrightarrow qq, \bar{q}\bar{q}$ больше, чем скорость расширения мира. На этом этапе Вселенная как бы стационарна, т. е. за то время, пока она успевает заметно расширяться, происходит много реакций прямого и обратного распадов X -бозона. В результате распределение X -бозонов, а тем более легких частиц (в том числе и кварков), должно быть близким к термодинамически равновесному.

Термодинамическое равновесие означает, что в это время концентрация X -бозонов в плазме была велика. На этом этапе процессы с участием X -бозонов приводят к выравниванию числа барионов и антибарионов именно в силу того, что плазма находится в равновесном состоянии. Это — период «забывания» начальных условий, поскольку известно, что равновесное состояние не должно от них зависеть. Однако X -бозоны массивны, поэтому при расширении Вселенной, когда температура становится меньше или порядка m_X , их концентрация несколько отклоняется от равновесной. Важно, что это отклонение универсально и не зависит от начальных условий. В силу отклонения X -бозонов от равновесия возникает небольшой избыток кварков над антикварками, так как из-за нарушения C и CP вероятности распадов $X \rightarrow qq$ и $\bar{X} \rightarrow \bar{q}\bar{q}$ различны. Скорость ликвидации этого избытка по мере падения температуры быстро уменьшается, так как реальные X -бозоны практически исчезают из первичной плазмы при $T < m_X$, а вероятности процессов с обменом виртуальными X -бозонами уменьшаются, как пятая степень температуры. Поэтому реакции с несохранением B происходят крайне редко, не оказывая заметного влияния на величину барионного заряда плазмы. С падением температуры барионный заряд становится практически сохраняющимся, и образовавшийся избыток частиц над античастицами доживает до наших дней.

Очень красивой чертой этой схемы является независимость количества избыточного вещества от начальных условий. Независимо, состояла ли Вселенная в непосредственной близости к сингулярности (т. е. при $t \approx 10^{-43}$ с) только из вещества или только из антивещества или была, например, истинно нейтральной смесью того и другого. На термически равновесной стадии, т. е. за время порядка 10^{-35} с, все это будет «забыто», и к этому моменту Вселенная окажется с большой точностью зарядово-симметричной, т. е. в ней будет равное количество частиц и античастиц. Позже, примерно к моменту, когда

$T = 0,1 m_X$, за счет совместных «усилий» расширения мира и нарушения C и CP в несохраняющих барионный заряд распадах X -бозонов возникает небольшой избыток барионов над антибарионами. На все это уходит не более 10^{-33} с. Однако именно в течение этого неизмеримо малого, по нашим понятиям, промежутка времени и был заложен фундамент мироздания.

Подробно кинетика возникновения барионной асимметрии Вселенной исследовалась А. Д. Долговым. Для величины барионного избытка была получена оценка:



Зависимость относительного числа барионов $r_B = N_B/N_\gamma$ и антибарионов $r_{\bar{B}} = N_{\bar{B}}/N_\gamma$ от времени. Пунктирные кривые при $t < 10^{-33}$ с показывают различные возможные начальные состояния. Период времени от 10^{-35} до 10^{-33} с отвечает термодинамическому равновесию, когда исчезает зависимость от начальных условий и число барионов равно числу антибарионов. При $t > 10^{-33}$ с избыток барионов, возникший в распаде X - и \bar{X} -бозонов, не компенсируется другими процессами. В результате возникает небольшое, но не нулевое значение среднего барионного заряда $\langle B \rangle = r_B - r_{\bar{B}}$. Далее процессы с несохранением барионного заряда эффективно прекращаются и величина B остается постоянной. При $t > 10^{-6}$ с (что соответствует $T < m_p$) происходит аннигиляция протон-антипротонных пар в первичной плазме. В результате аннигиляции r_B и $r_{\bar{B}}$ сильно уменьшаются, но их разность не меняется. В итоге вещество в мире становится доминирующим.

$$\beta = \Delta \frac{K_X}{K_{tot}} \cdot \frac{m_X^2 \sqrt{G}}{\Gamma_X}$$

Здесь $\Delta = [\Gamma(X \rightarrow qq) - \Gamma(\bar{X} \rightarrow \bar{q}\bar{q})] / \Gamma_{tot}$ — параметр нарушения CP -инвариантности; K_X — число различных типов X -бозонов, K_{tot} — полное число различных типов элементарных частиц, таких как кварки, лептоны, промежуточные бозоны (с учетом их спи-

нов, ароматов, цветов...) — в современных моделях $K_{tot} = 100 \div 200$, а $K_x = 5 \div 10$; $\Gamma_x \approx \approx \alpha m_x$ — полная ширина (обратное время жизни) X -бозона, а G — постоянная тяготения, которая вошла из-за расширения мира (в используемой нами системе единиц $G = 10^{-19}$ ГэВ⁻²).

Если X — векторный бозон с $m_x = = 3 \cdot 10^{14}$ ГэВ, то $\beta \approx 3 \cdot 10^{-4} \Delta$. Оценки величины Δ довольно неопределенны, но можно ожидать, что Δ весьма мала, порядка 10^{-8} . В итоге β оказывается на два-три порядка ниже наблюдаемого числа. Можно было бы надеяться, что какой-то неизвестный нам механизм приводит к большей, чем мы думаем сейчас, величине Δ . Но есть и другой, более естественный выход из этого положения. Дело в том, что, помимо векторных X -бозонов, теория требует существования также тяжелых скалярных (т. е. со спином, равным нулю) частиц H , масса которых того же порядка, что и m_x , а взаимодействие слабее, так что фактор Γ_{Hx}/m_x примерно на два порядка меньше аналогичного отношения для X -бозонов. Более того, величина Δ для распадов H может быть несколько больше, чем для распадов X . В итоге скалярные H -бозоны спасают положение и дают значение β , близкое к наблюдаемому.

Таким образом, в рамках этой модели средняя плотность вещества во Вселенной является вычисляемой величиной. Она выражается через константу гравитационного взаимодействия, массы элементарных частиц и параметр нарушения зарядовой инвариантности.

ДРУГИЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ОБЩЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ

Обсудим сначала, насколько крепок фундамент нашего построения.

Нарушение CP твердо установлено, так что с первым основополагающим фактом качественно все в порядке. Заметим, что CP-нарушение в лабораторных опытах непосредственно не связано с величиной Δ для частиц X и H , введенных выше.

Мы видим, что Вселенная расширяется, и наблюдение реликтового излучения, а также распространенность легких элементов показывают, что в прошлом Вселенная действительно была горячей. Однако эти данные позволяют непосредственно сделать вывод только о довольно позднем времени — т. е. более, чем через одну секунду от «начала». Наши знания об элементарных частицах проверены на опыте до энергий в несколько десятков ГэВ. Поэтому можно считать известным уравнение

состояния вплоть до температур такого порядка. Это позволяет продвинуться к «началу» до момента $t \approx 10^{-8} - 10^{-7}$ с. Дальнейшее восстановление событий при движении к нулю возможно только с помощью теории, которая представляется вполне естественной.

Несохранение барионного заряда необходимо, но, строго говоря, оно не доказано. Однако теории, которые его предсказывают, довольно красивы и по этой причине, вероятно, правильны. Если распад протона, предсказываемый подобными теориями, будет обнаружен, то целый ряд принципиальных вопросов физики элементарных частиц (а также космологии) можно будет считать решенным.

А если барионный заряд строго сохраняется?

Простейшая возможность состоит в том, что в мире «с самого начала» был какой-то избыток барионов над антибарионами, и в силу сохранения B этот избыток был, есть и будет одним и тем же. При таком подходе — это невычисляемая фундаментальная постоянная.

Другая возможность обсуждалась примерно пятнадцать лет назад Р. Омнесом¹⁶, который предполагал, что «с самого начала» Вселенная была зарядово симметрична, т. е. содержала равное количество вещества и антивещества, но вещество и антивещество отталкивались друг от друга и в итоге в одних областях пространства возник избыток вещества, а в других — наоборот. Эта схема сейчас непопулярна, так как теория не позволяет получить разделения вещества и антивещества в таких масштабах.

В 1974 г. С. Хокинг предсказал квантовое испарение черных дыр. Он отметил, что нарушение CP могло привести к преимущественному испусканию барионов черной дырой. В итоге во внешнем пространстве накапливались бы частицы, а внутри черной дыры, которая в результате исчезла бы из нашего мира, были бы законсервированы антибарионы¹⁷.

Испарение черной дыры, содержащей барионы, приводит к полному исчезновению этих барионов из нашего пространства. Следовательно, эффективно, с точки зрения внешнего наблюдателя, барионный заряд не сохраняется, хотя и не введен никакой процесс исчезновения индивидуальных барионов или кварков. Попытки конкретной реализации такого процесса, впрочем, натолкнулись на ряд трудностей,

¹⁶ Omnes R. — Phys. Repts., 1972, v. 36, p. 3.

¹⁷ Hawking S. — Nature, 1975, v. 248, p. 30.

в связи с чем в литературе даже появилось утверждение о невозможности преимущественного испарения черной дырой частиц по сравнению с античастицами. Однако в работах авторов настоящей статьи и позднее в работах Хокинга были найдены механизмы, приводящие к подобной асимметрии, что позволяет первичным черным дырам принять участие в «сотворении мира».

Кроме перечисленных, в литературе обсуждались и другие более или менее экзотические возможности, однако ни одна из них не сравнима по красоте с рассмотренной в предыдущем разделе. Хочется

надеяться, что вскоре мы будем знать больше о нестабильности протона.

Заключая, мы можем сказать, что космология переживает новую увлекательную стадию развития: исходные величины, которые определялись из наблюдений, находят, по крайней мере в принципе, возможное объяснение. Остается объяснить расширение Вселенной, наличие и величину возмущений плотности вещества, а может быть, и сам факт существования Вселенной, тогда космология станет частью физики в том же смысле, как химия стала частью физики после открытия квантовой механики.

НОВОСТИ НАУКИ

Физика

Аномальный магнитный момент позитрона

Р. Ван Дейк, П. Швинберг и Г. Демельт (Вашингтонский университет, Сиэтл, США) провели исключительно точные измерения магнитного момента позитрона.

Собственный магнитный момент элементарной частицы с зарядом e , массой m и спином s определяется выражением $\mu = g(e\hbar/2mc)s$. Здесь g — численный коэффициент, так называемый g -фактор, для которого из уравнения Дирака следует значение $g=2$. Поэтому для электрона ($s=1/2$) магнитный момент в точности равен магнетону Бора $e\hbar/2m_e c$. Однако в 1947 г. было установлено, что на самом деле магнитный момент электрона на 0,1% больше из-за излучения и поглощения виртуальных фотонов и поляризации вакуума виртуальными электрон-позитронными парами. Отсюда следует, что g -фактор несколько отличается от 2.

В квантовой электродинамике g -фактор получают в виде ряда по степеням постоянной тонкой структуры $\alpha = e^2/\hbar c$. Сейчас известны четыре коэффициента ряда¹:

$$g/2 = 1 + 1/2(\alpha/\pi) - 0,3284790 \times$$

$$\times (\alpha/\pi)^2 + 1,1765(13)(\alpha/\pi)^3 - 2,3(3,6) \cdot (\alpha/\pi)^4.$$

Для расчета каждого коэффициента надо вычислить вклад определенного числа фейнмановских диаграмм, каждая из которых является многократным интегралом. Число диаграмм, а следовательно, и сложность расчетов быстро растет: от одной диаграммы, дающей первый коэффициент, до более восьмисот диаграмм для последнего коэффициента. Первые два члена довольно давно вычислены «на руках» аналитически. Следующие коэффициенты найдены лишь в 1981 г.: третий — с помощью аналитических вычислений на ЭВМ, четвертый также оценивался на ЭВМ, но численно, отсюда большая ошибка в его значении.

Подставляя в ряд для g -фактора численное значение постоянной тонкой структуры ($\alpha^{-1} = 137,035963(15)$), можно получить: $(g/2)_{\text{теор}} - 1 = 1\ 159\ 652\ 415(166) \cdot 10^{-12}$.

Эксперименты в Сиэттле с позитроном дали значение: $(g(e^+)/2)_{\text{эксп}} - 1 = 1\ 159\ 652\ 222(50) \cdot 10^{-12}$. Несколько лет назад аналогичные измерения для электрона дали $(g(e^-)/2)_{\text{эксп}} - 1 = 1\ 159\ 652\ 200(40) \cdot 10^{-12}$. Видно, что теория находится в блестящем согласии с экспериментом, причем точность экспериментальных данных выше точности расчетов. Равенство g -факторов электрона и позитрона связано даже не с квантовой электродинамикой, а с более общими принципами симметрии

(так называемой СРТ-инвариантностью). Впервые эти принципы удалось проверить с такой колоссальной точностью: из экспериментальных значений следует, что

$$|(g(e^+) - g(e^-))/g(e^-)|_{\text{эксп}} = (22 \pm 64) \cdot 10^{-12}.$$

Измерения проводились с помощью электромагнитной ловушки, которую можно рассматривать как искусственный атом («геониум»); «ядро» его — корпус ловушки — имеет макроскопические размеры и покоится, будучи жестко связано с Землей.

Удалось создать условия, когда в течение нескольких недель в установке вращалась одна частица. Как и в обычном атоме, ее движение в «геониуме» квантуется, т. е. имеется набор дискретных уровней энергии, переходы между которыми сопровождаются излучением.

Измерялось отношение частот излучения, возникающих при переходах с переворачиванием спина и без него. Это отношение непосредственно определяет «аномалию» $(g/2 - 1)$ и не зависит ни от значений электрического и магнитного полей в «геониуме», ни от значений фундаментальных констант e , m , \hbar , c . Поэтому точность определения g -фактора ограничивалась лишь относительной точностью измерения частот перехода. Эксперимент стал одним из самых прецизионных в истории физики.

Physical Review Letters, 1981, v. 47, No 24, p. 1679 (США).

¹ В круглых скобках после результата указана ошибка в последних значащих цифрах; так, $1,1765(13) = 1,1765 \pm \pm 0,0013$ и т. д.

Расширяющаяся и пульсирующая Земля

Е. Е. Милановский



Евгений Евгеньевич Милановский, член-корреспондент АН СССР, заведующий кафедрой исторической и региональной геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается вопросами региональной геотектоники и вулканизма геосинклинальных и рифтовых областей, а также выяснением общих закономерностей геологического развития Земли. Исследователь геологии Кавказа и других горных стран Альпийского пояса, рифтовых зон Восточной Африки и Исландии. Неоднократно публиковался в «Природе».

Идея о возможном расширении, или росте, Земли в геологическом прошлом зародилась уже более ста лет назад, но, как и высказанные несколько позже предположения о периодических пульсациях ее объема, до недавнего времени она не привлекала серьезного внимания. В последние годы, однако, отношение к этим идеям начало существенно изменяться. Нарастающий поток посвященных их обсуждению научных публикаций в советской и зарубежной печати¹, а также организация специальных научных совещаний — международного симпозиума «Расширяющаяся Земля» в Сиднее (Австралия) в феврале 1981 г. и конференции «Проблемы расширения и пульсаций Земли» в Москве в ноябре 1981 г. — свидетельствует о возрастании интереса к этим гипотезам как возможному средству разрешения противоречий, с которыми сталкиваются как фиксистские, так и мобилистские концепции тектонического развития Земли.

ЕЩЕ РАЗ О ФИКСИЗМЕ И МОБИЛИЗМЕ

С фиксистских позиций хорошо описывается историческое развитие континентов, и в особенности их древних, относительно «жестких» ядер — платформ, огромная длительность унаследованного развития обширных поднятий и впадин которых указывает на неразрывную связь их коры с подстилающей мантией по крайней мере до глубин в десятки сотен километров. Однако ортодоксальная фиксистская концепция встречает затруднения, когда пытается объяснить происхождение складчато-покровной структуры бывших геосинклинальных областей, несущей признаки сильного горизонтального сжатия, а также происхождение океанических впадин и особенно внутриокеанических рифтовых хребтов, в которых предполагается горизонтальное расширение и образование коры океанического типа. С позиций фиксизма трудно объяснить и сходство контуров некоторых океанических впадин и рифтовых поясов внутри них.

Современная версия мобилизма — концепция тектоники литосферных плит — считает формирование складчато-покровной структуры геосинклинальных областей следствием их сильного горизонтального

¹ Милановский Е. Е. Расширение и пульсации Земли — возможный ключ к пониманию ее тектонического развития в фанерозое. — Природа, 1978, № 7, с. 22.

сжатия, а явления, происходящие в срединно-океанических рифтовых хребтах,—результатом длительного подъема нагретого мантийного материала в их осевых зонах и связанного с ним раздвигания (спрединга) флангов срединных хребтов и прилегающих частей океанических впадин в разные стороны. Реальность спрединга и его глобальная роль, по крайней мере на протяжении позднего мезозоя и кайнозоя, ныне почти не вызывают сомнений. Разногласия сводятся, в основном, к оценке масштаба, скорости этого процесса и ширины охваченной им зоны океана.

Однако существование и, тем более, огромный масштаб компенсирующего спрединг гипотетического процесса субдукции, в ходе которого при неизменности размеров нашей планеты должны «поглощаться» участки земной коры, равные возникающим в ходе спрединга, пока не подтвердилось ни данными сейсмических исследований, ни материалами глубоководного бурения. Согласно концепции тектоники плит, начиная с середины мезозоя, т. е. за последние 150 млн лет, в зонах субдукции, а также в зонах столкновения (коллизии) литосферных плит должна была «поглотиться» часть земной коры, составляющая около 2/3 всей поверхности Земли. Если же, как предполагают многие сторонники этой концепции, механизм спрединга и субдукции «работал» и раньше, хотя бы в течение всего фанерозоя и позднего протерозоя (т. е. 1,5 млрд лет), то зоны субдукции и коллизии должны были уже несколько раз «поглотить» и пропустить через себя всю ранее существовавшую земную кору. В действительности же большая часть площади континентов обладает древней корой континентального типа, возраст которой превышает 1,5—2 млрд лет.

С большими трудностями концепция тектоники плит сталкивается и при попытках объяснить тектонические и магматические процессы, протекающие во внутренних частях континентов, и в частности в пределах древних платформ. Если бы последние в составе относительно тонких (около 100 км) литосферных плит скользили по астеносферному слою, то каким образом крупные участки платформ площадью в миллионы квадратных километров могли на протяжении сотен миллионов и даже нескольких миллиардов лет сохранять свойственный им характер вертикальных движений? Геофизические данные, полученные в последние годы, показали, что под внутренними стабильными частя-

ми континентов астеносфера не имеет сплошного распространения и мощность литосферы здесь составляет не 100—150 км, как это предполагается в модели тектоники плит, а достигает, по крайней мере, 300—500 км. Если эти толстые континентальные глыбы вообще «скользят» по какой-то пластичной зоне, то она расположена значительно глубже, чем принимается в модели тектоники литосферных плит. Данные палеомагнитных исследований, указывающие на то, что в течение мезозоя и кайнозоя, т. е. последних 250 млн лет, расстояние между отдельными континентами существенно изменилось (в основном, увеличилось), показали, вместе с тем, что на протяжении всего раннего протерозоя (2,5—1,5 млрд лет назад) относительное положение платформенных ядер ряда современных континентов оставалось неизменным. При этом материк Гондваны, составляющие более половины общей площади древних платформенных ядер континентов, сохраняли свое взаимное расположение вплоть до начала или даже середины мезозоя.

Все эти данные ограничивают возможность применения гипотез, предполагающих значительные горизонтальные перемещения континентальных блоков главным образом на последних этапах геологической истории Земли.

Итак, одна часть фактов и эмпирических закономерностей истории Земли находит удовлетворительное объяснение с позиций фиксизма, а другая — с позиций мобилизма. Вместе с тем такие важнейшие геологические явления, как планетарные эпохи усиления складчато-покровных деформаций и рифтогенеза, периодические усиления и ослабления глобальных проявлений вулканизма, глубинной магматической деятельности и регионального метаморфизма, планетарные трансгрессии и регрессии, а также связанные с ними циклы горообразования, осадконакопления и т. д. не вытекают непосредственно ни из фиксистой, ни из мобилистской концепций. Они требуют для своего объяснения дополнительных факторов, способных обусловить глобальную периодичность всех этих тектонических, магматических и других сопряженных с ними процессов. Нуждаются в объяснении и многие геологические явления, отражающие эволюцию Земли в ходе ее развития. К их числу следует отнести, в частности, смену главных структурных элементов земной коры; перемещение арены вулканической активности из одних структур в другие;

смену типов магматической активности и особенностей химического состава магматических продуктов на протяжении геологической истории; существенное усиление интенсивности вулканизма и расширение площади его проявления в мезокайнозой по сравнению с поздним протерозоем; эволюцию типов рудообразования;

Наличие геологических явлений, отражающих периодичность и направленную эволюцию процессов, вещественных комплексов структур, и стремление дать им естественное и непротиворечивое объяснение, заставляет геологов обращаться к различным гипотезам, и в первую очередь к предположениям о возможном расширении или пульсациях Земли в геологическом прошлом.

ГИПОТЕЗА О РАСШИРЕНИИ ЗЕМЛИ

Первые натурфилософские высказывания о росте и дыхании Земли, как своеобразного живого организма, мы находим у Леонардо да Винчи: Идея расширения Земли в качестве допущения, позволяющего объяснить возникновение океанических впадин и сходство конфигурации береговых линий континентов, вероятно, впервые была выдвинута русским ученым-самоучкой Е. В. Быхановым в 1877 г. Спустя 11 лет русский инженер И. О. Янковский высказал идею о постепенном росте массы и объема Земли, вытекающую из оригинальной трактовки природы гравитации как материального потока, направленного к Земле и другим небесным телам. Таким образом, уже в этих работах определились два направления, по которым в дальнейшем развивались гипотетические представления о расширении или росте Земли: геологическое, в котором идея расширения привлекалась для объяснения закономерностей строения и истории Земли или предполагаемых физико-химических процессов в ее недрах, и физическое (точнее, космологическое), в котором она вытекала из того или иного своеобразного понимания природы тяготения, а позднее — из допущения об изменениях гравитационного поля, и в частности уменьшении со временем гравитационной постоянной. Геологические данные в этом случае служат не основанием гипотезы, а лишь одним из средств ее проверки.

Высказывания основоположников идеи расширения, или роста, Земли остались незамеченными, но в первой половине 30-х годов нашего века идея расшире-

ния снова появляется в трудах немецкого геофизика О. Хильгенберга, южноафриканского астронома Дж. К. Холма и советских геологов М. М. Тетяева и В. М. Бухановского. На этот раз гипотеза расширения Земли вызвала значительный интерес. В 30—50-х годах предположение о расширении Земли и других небесных тел высказывали П. Дирак, Л. Эдъед, П. Иордан, Д. Д. Иваненко и другие физики, связавшие это явление с гипотетическим процессом изменения гравитационной постоянной, которая, согласно взглядам некоторых физиков-теоретиков, должна уменьшаться пропорционально возрасту Вселенной при ее расширении.

С конца 50-х годов, по мере того как в результате развития геолого-геофизических исследований дна Мирового океана начала вырисовываться мировая система рифтовых хребтов, в пределах которой происходило значительное горизонтальное расширение земной коры, к идее общего расширения Земли почти одновременно пришли десятки геологов в Австралии, Советском Союзе, Западной Европе и США. Эта идея, высказанная первоначально в довольно схематической форме, встретила на первых порах весьма прохладное отношение, но в 60—70-х годах стала постепенно крепнуть, развиваться и приобретать все большее число сторонников, включая ряд крупных ученых, как в нашей стране, так и за рубежом.

Высказываемые в последнее время гипотетические представления о расширении или росте Земли в ходе ее геологической истории довольно существенно различаются как в отношении масштабов, так и причин предполагаемого увеличения размеров нашей планеты. Некоторые исследователи, например известный австралийский геолог С. Кэри, прямо заявляют, что они не знают этих причин и прибегают к гипотезе расширения как к единственному, по их мнению, допущению, позволяющему объяснить, не впадая в противоречия, главные закономерности тектонического строения и развития Земли. Другие авторы склоняются к принятию одной из трех предполагаемых причин увеличения размеров Земли.

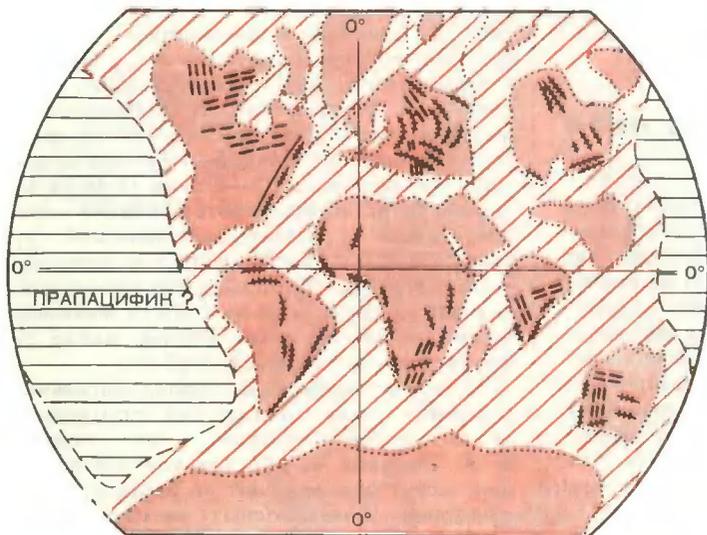
Одни из них, вслед за И. О. Янковским, допускают, что увеличение объема Земли и других небесных тел во времени сопровождалось пропорциональным ростом их массы. Подобные представления, претендующие на пересмотр фундаментальных законов физики, вероятно, имеют право на

существование, но пока очень слабо обоснованы. Подчеркнем, что сторонники этих взглядов предполагают значительный рост силы тяжести на протяжении истории Земли, чему, как будто, противоречат геологические данные. Кроме того, они считают, что наряду с Землей в равной мере увеличивали свои размеры и все другие планеты Солнечной системы, а это не подтверждается новейшими данными по изучению планет земной группы.

Другие исследователи, вслед за П. Дираком, предполагают, что в ходе развития

Наконец, если бы расширение Земли было обусловлено только уменьшением гравитационной постоянной, ему следовало быть равномерным и в равной мере проявиться на всех планетах Солнечной системы, чего нет в действительности.

Наконец, можно допустить, что радиус Земли после завершения эпохи аккреции увеличивался и продолжает увеличиваться без сколько-нибудь заметного возрастания ее массы исключительно за счет разуплотнения вещества в результате тех или иных процессов в ее недрах. Ус-



-  Территории древних платформ, сложенные в основном архейскими метаморфическими породами
-  Линейные зоны растяжения в пределах архейских зеленокаменных поясов
-  Раннеархейские [1] гранулитовые пояса — зоны многократного растяжения и сжатия
-  Приблизительные контуры будущих древних платформ
-  Области с предполагаемой сиалической корой, сформировавшейся между древними платформами
-  Тихоокеанская область с сиалической корой, обособившаяся в результате расширения Земли в архее — раннем протерозое

Первый этап предполагаемого расширения и пульсаций Земли в архее (3,5—2,5 млрд лет назад) и, может быть, в раннем протерозое (2,5—1,65 млрд лет назад).

Вселенной уменьшалась гравитационная постоянная, в связи с чем постепенно уменьшалось давление на вещество нашей планеты и происходило его разуплотнение, приводившее к увеличению земного радиуса². Однако представление об уменьшении гравитационной постоянной во времени пока не доказано и принимается лишь некоторыми физиками-теоретиками. Согласно этому представлению, за время существования Земли ее радиус мог увеличиться лишь на 10—20% (в том числе, за мезозой и кайнозой — менее чем на 1%).

корение силы тяжести на поверхности Земли в ходе геологического времени должно уменьшаться пропорционально квадрату возрастания ее радиуса. При этом можно предположить, что расширение Земли в ходе геологического времени не было равномерным: оно могло, например, постепенно усиливаться или проявляться отдельными импульсами либо размеры Земли могли периодически подвергаться колебаниям (пульсациям) на фоне преобладающего ее расширения. Этот гибкий вариант гипотезы расширения Земли открывает максимальные возможности для объяснения многих вопросов геологии.

Наиболее перспективным для геологов следствием гипотезы о расширении Земли является возможность объяснить происхождение современных океанических впадин (или, во всяком случае, срединно-океанических рифтовых хребтов) как результат спрединга, не прибегая при этом к гораздо менее обоснованному допущению о компенсирующей его субдукции.

² Американский физик В. Кануто высказал недавно сомнение в том, что уменьшение гравитационной постоянной должно было сопровождаться увеличением радиуса Земли.

Одни исследователи, придерживающиеся идеи расширения Земли, совсем исключают субдукцию, другие, как, например, Дж. Стейнер, допуская ее, отмечают, что максимальная площадь земной коры, «поглощенной» в процессе субдукции в течение мезокайнозоя, по крайней мере, на 1/3 должна уступать площади новой коры океанического типа, одновременно возникшей в процессе спрединга. Согласно этой гипотезе, увеличение объема проявлялось не равномерно на всей поверхности планеты, но в связи с ее неоднородностью происходило главным образом в наиболее ослабленных ее зонах — в первую очередь, в линейных подвижных поясах и, возможно, в океанических впадинах.

ДОВОДЫ В ПОЛЬЗУ РАСШИРЕНИЯ ЗЕМЛИ

Признаки вероятного расширения Земли мы находим начиная с самых ранних стадий ее развития. Возможно, оно происходило на протяжении всей ее геологической истории, но, как уже говорилось, скорее всего проявлялось неравномерно и в разные эпохи существования Земли выражалось в несколько различных формах. При этом густота сети линейных структур растяжения со временем уменьшалась, а их размеры увеличивались, что естественно связать с последовательным утолщением литосферы.

Исследования Е. С. Штенгелова (доклад на Московской конференции), проведенные с помощью геофизических, гидрогеологических и геохимических методов в ряде областей Советского Союза, показали, что существуют четко локализованные полосовидные зоны открытой, проницаемой для флюидов, трещиноватости, образующие густую, преимущественно решеткообразную сеть, которая разбивает земную кору на блоки. Эти зоны затрагивают весь вскрытый бурением геологический разрез, включая самые молодые отложения. Ширина трещиноватых зон варьирует от сотен метров до нескольких километров, а ширина заключенных между ними блоков — от 2—3 до 20—30 км. Для некоторых трещенных зон имеются геодезические данные об их современном расширении. К зонам открытой трещиноватости или их продолжениям в некоторых сейсмоактивных районах (например, в Крыму) приурочены очаги землетрясений, причем во многих случаях отмечается перпендикулярность ориенти-

ровки осей растягивающих напряжений в этих очагах к ориентировке трещинных зон.

С гипотезой о расширении Земли, точнее, о ее последовательном разуплотнении, согласуются данные, свидетельствующие об уменьшении силы тяжести в ходе геологического времени. К их числу следует отнести очень глубокий метаморфизм широко распространенных раннеархейских пород гранулитовых поясов. Высокая степень метаморфизма заставляет, опираясь на данные экспериментальных исследований, предполагать, что эти породы образовались на геологически почти невероятных глубинах в 30—40 км (если считать, что давления и температуры в недрах соответствовали современным). Однако, если допустить, как это делают К. А. Шуркин, Ф. П. Митрофанов, Э. Н. Лишневецкий и другие, что радиус Земли в начале архея (т. е. 3,5 млрд лет назад) был меньше современного, скажем, в 1,5—2 раза, то та же величина литостатического давления могла достигаться на значительно меньшей глубине (7,5—10 и 15—20 км, соответственно). Температура, необходимая для возникновения пород гранулитовой ступени метаморфизма, в начале архея вполне могла существовать на подобной глубине.

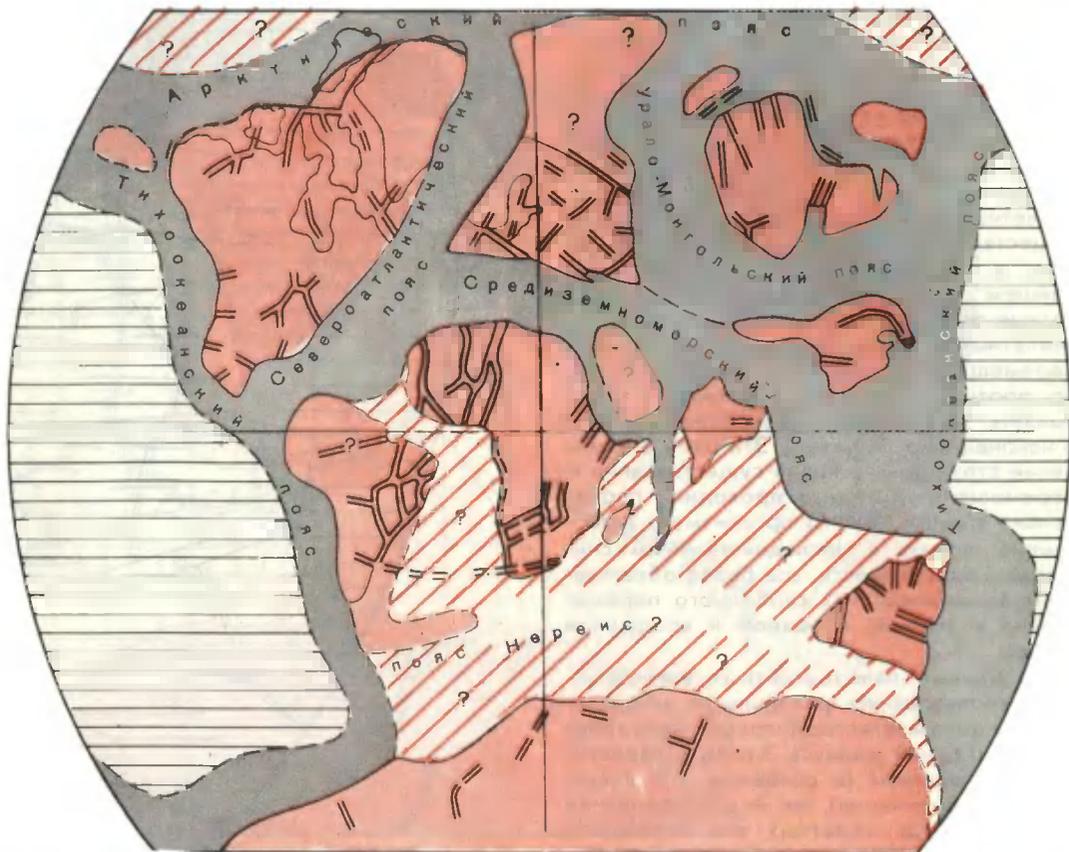
Представления о последовательном снижении силы тяжести на протяжении геологической истории, как показал Б. А. Мальков на Московской конференции, могут пролить свет на загадку происхождения алмазоносных кимберлитовых трубок. По экспериментальным данным, заключенные в них алмазы и некоторые их спутники могли возникнуть лишь при температуре и давлении, достигаемых ныне на глубине более 150—200 км, тогда как основная часть вещества кимберлитовых трубок, несомненно, образовалась на гораздо меньшей глубине. Абсолютный возраст алмазов, заключенных в трубках, в тех случаях, когда удается его определить, оказывается гораздо более солидным (архейским), чем возраст самих трубок, большинство которых датируется мезозоем или палеозоем, и лишь древнейшие из них являются позднепротерозойскими. В свете гипотезы о постепенном снижении силы тяжести в ходе развития Земли можно высказать предположение, что в формировании алмазоносных кимберлитовых месторождений было несколько этапов: ранний, когда алмазы могли возникать в самой верхней части мантии на глубине в несколько десятков километров, и поздний, когда они захватывались с этой глубины и поднимались с ультрабазитовым веществом

кимберлитовых трубок вплоть до земной поверхности. Наличие некимберлитовых источников алмазов, приуроченных к тектоническим выступам докембрийской верхней мантии Земли, делает эти предположения еще более вероятными³.

Количественные данные, позволяющие судить о большей величине силы тяжести в геологическом прошлом, дает

³ М а р а к у ш е в А. А. Происхождение алмазов. — Природа, 1982, № 2, с. 46.

палеонтология. Современные электронно-микроскопические методы исследований эпителики (наружной части скелета) одиночных кораллов позволяют установить в ней, наряду с годовыми циклами нарастания, суточные ритмы ее роста. При этом, если у современных кораллов число суточных ритмов в годовом цикле составляет примерно 365, то у позднекаменноугольных — около 390, а у среднедевонских — около 400. Следовательно, скорость вращения Земли (точнее, количество ее оборотов вокруг оси в течение года) со



Второй этап предполагаемого расширения и пульсаций Земли в позднем протерозое и палеозое (1,65—0,25 млрд лет назад).

 Древние платформы

 Алакагены и аллако-геосинклинали, возникшие в результате общего слабого растяжения в позднем протерозое и регенерированные в палеозое

 Предполагаемые участки суперконтинента Гондваны, впоследствии испытавшие погружение и растяжение

 Геосинклинальные пояса, зародившиеся в результате более сильного растяжения в позднем протерозое; в их последующем развитии чередовались растяжения и сжатия

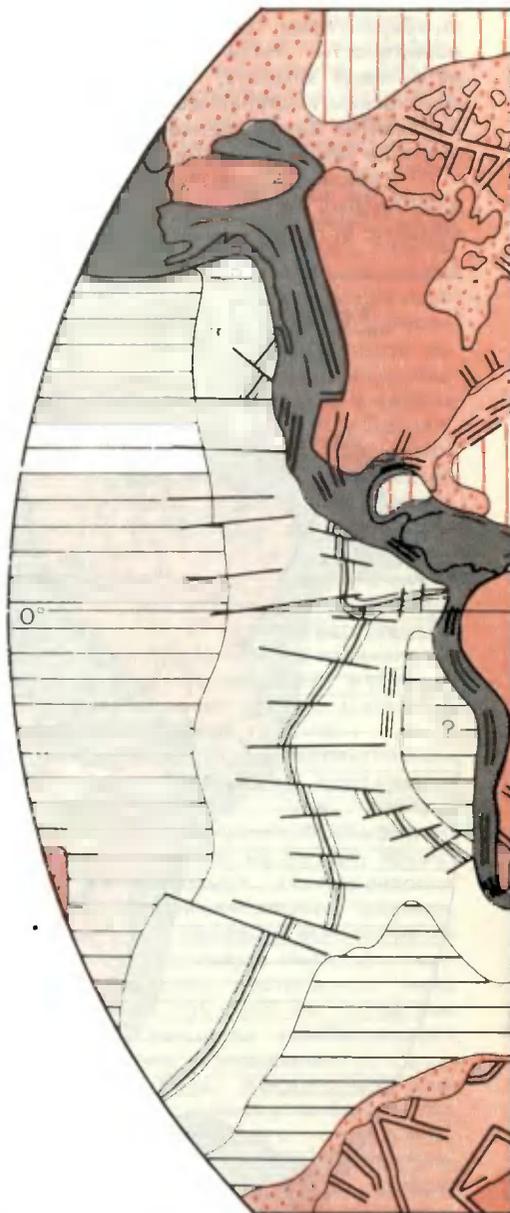
 Тихоокеанская область с симметричной корой

временем постепенно уменьшалась, что, возможно, связано с последовательным увеличением объема Земли и уменьшением ее средней плотности¹. Если пренебречь влиянием приливного трения, то можно подсчитать, что такое уменьшение скорости вращения Земли могло быть вызвано увеличением земной поверхности с середины девона на 8,5% и с конца карбона — на 7%; радиус же Земли увеличивался соответственно на 4,2% и 3,5%.

Палеонтология дает и косвенные указания на постепенное уменьшение силы тяжести в ходе геологического времени. Вплоть до конца докембрия на Земле существовали лишь бесскелетные, мягкотелые животные с плотностью тела, равной плотности воды, в которой они обитали, находясь как бы в состоянии «невесомости». Лишь на рубеже докембрия и кембрия представители сразу ряда групп беспозвоночных практически одновременно обрели скелетные элементы, причем плотность вещества последних и их относительная роль в общем весе организмов в дальнейшем последовательно возрастали. Животные получили возможность с помощью скелетных конструкций сперва активно перемещаться в водной среде (или успешно противостоять ее движениям), затем ползать и ходить по поверхности суши и наконец смогли летать. Эти шаги в изменении структуры, условий существования и перемещения, которые проходили параллельно разные группы организмов, естественно связать с последовательным снижением силы тяжести, все более облегчавшим возможность их свободного перемещения в водной, наземной и воздушной среде.

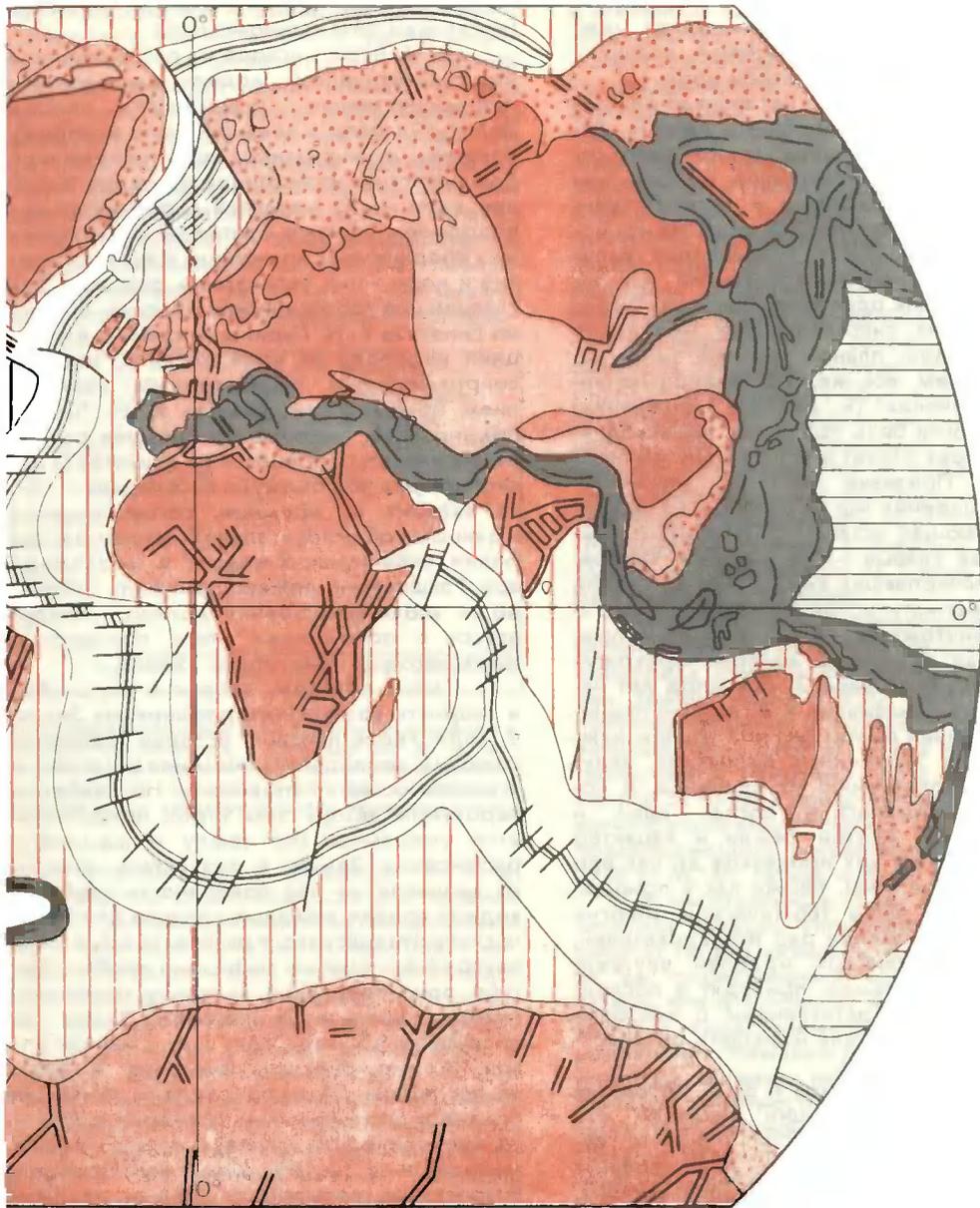
Данные палеомагнитных исследований использовались различными авторами как для доказательства довольно значительных измерений радиуса Земли в геологическом прошлом (в основном его постепенного увеличения), так и для отрицания сколько-нибудь заметных его колебаний. Совсем недавно австралийские палеомагнитологи П. Шмидт и Б. Эмблтон выступили с обоснованием представления о том, что еще около 1,6 млрд лет назад (т. е. на рубеже раннего и позднего протерозоя) радиус Земли составлял около 55% от современного и все нынешние массивы с континентальной корой близко примыкали друг к другу, а затем, в интервале 1,6—

¹ Следует оговориться, что эти данные могут свидетельствовать об абсолютном замедлении вращения Земли лишь в том случае, если длительность года не уменьшалась.



Третий этап предполагаемого расширения и пульсаций Земли в палеозое и кайнозое (0,25 млрд лет назад — наше время).

- Древние платформы
- Палеозойские складчатые области
- Палеозойские платформенные и складчатые области в пределах океанического мелководья



 **Континентальные мезозойские и кайнозойские рифтовые зоны (зоны растяжения)**

 **Периферические зоны молодых океанов — области умеренного растяжения, опускания и переработки коры в мезозое**

 **Кайнозойские и мезокайнозойские геосинклинальные и складчатые области [области чередования растяжения и сжатия]**

 **Внутриокеанические рифтовые пояса — области интенсивного растяжения и образования океанической коры в позднем мезозое и кайнозое.**

 **Ложе Тизого океана, обновленное в мезокайнозое**

1,0 млрд лет, началось значительное расширение объема нашей планеты, когда между континентальными глыбами возникли первые участки океанической коры.

Таким образом, накапливается довольно много разнообразных данных, получающих наиболее естественное истолкование с позиций допущения о постепенном увеличении объема и соответственном понижении плотности Земли. Не исключая роли возможного уменьшения величины гравитационной постоянной или ее флуктуаций, как одного из факторов, контролировавших гипотетические изменения объема Земли, планет земного типа, мы предполагаем все же, что главной причиной увеличения (и вообще изменения) объема могли быть процессы, происходившие в недрах планет в ходе их внутреннего развития. Признаки наиболее значительного расширения мы наблюдаем на Земле, продолжающей оставаться «живой» планетой, более слабые — на Марсе и Венере, раньше исчерпавших внутренние источники тектоно-магматической активности, и практически ничтожные — на Меркурии и Луне, эндогенная активность которых прекратилась по крайней мере 3—3,5 млрд лет назад. Все это доказывает, что главную причину расширения планет земной группы нужно искать в эндогенных процессах, ведущих к разуплотнению их вещества. К сожалению, химический состав ядра и нижней части мантии Земли и характер происходящих в них процессов до сих пор еще далеко не ясны, так же как и природа значительной части термической энергии Земли. Тем не менее ряд исследователей, исходя из различных моделей внутреннего строения Земли, приходят в последнее время к представлениям о неизбежности ее большего или меньшего разуплотнения и расширения.

Так, В. Л. Барсуков и В. С. Урусов на Московской конференции показали, что силикатно-окисное вещество мантии с глубиной испытывает серию полиморфных фазовых превращений, обуславливающих, в частности, скачки в скорости продольных и поперечных волн и в плотности вещества на границах зоны, переходной между верхней и нижней мантией. Разогрев недр с ходом времени сдвигает глубину этих границ, причем верхняя и нижняя границы переходной зоны смещаются, вероятно, в разных направлениях. В результате фазовых переходов, а также термического расширения вещества недр, согласно представлениям Барсукова и Урусова, радиус Земли должен увеличиваться со временем

по крайней мере на несколько процентов (несколько сотен километров).

В. Н. Ларин, исходя из предложенной им гипотетической модели изначального преимущественно гидридного состава Земли (металлы и кремний плюс водород), полагает, что внутреннее ядро современной Земли состоит из гидридов металлов, внешнее ядро — из металлов с растворенным водородом, нижняя мантия — из металлов и их соединений с кремнием, а верхняя мантия и кора — из силикатов и окислов⁵. Все главные геологические явления, согласно гипотезе В. Н. Ларина, связаны с дегазацией водорода от ядра планеты, которая сопровождается существенным увеличением объема ядра. Модель В. Н. Ларина предполагает значительно большее расширение планеты в процессе ее развития (в несколько раз по объему) и акселерацию этого явления во времени, согласующуюся с данными об относительно быстром расширении океанических впадин в мезокайнозое. Расширение должно протекать циклично, и эпохи расширения должны чередоваться с остановками этого процесса и даже эпохами некоторого сжатия.

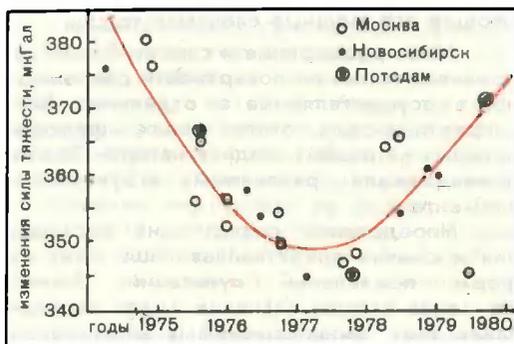
Таким образом, вопрос о масштабах и скорости возможного расширения Земли в ходе геологической истории решается разными исследователями неодинаково и в целом остается открытым. Но наиболее вероятным автору этих строк представляется умеренное (по темпу и масштабу) расширение Земли, в результате которого возникла не вся поверхность глубоководных впадин молодых океанов (Атлантического, Индийского, Арктического), а лишь внутриокеанические рифтовые хребты. Сугубо ориентировочно величину предполагаемого увеличения радиуса Земли за последние 3,5 млрд лет, т. е. с начала архея, можно оценить примерно в 50%; за последние 1,5 млрд лет, т. е. с начала позднего протерозоя, — примерно в 30% и за последние 250 млн лет, т. е. с начала мезозоя, — в 5—10% (чему соответствует возрастание поверхности Земли на 10—20%). Три главных этапа предполагаемого расширения Земли показаны на рисунках.

ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИОННОЙ ГИПОТЕЗЫ

Хотя гипотеза расширения Земли облегчает решение ряда трудных проблем

⁵ Ларин В. Н. Новая геохимическая модель Земли. — Природа, 1981, № 12, с. 5.

геологии, она, как и концепции фиксизма и мобилизма, не в состоянии удовлетворительно объяснить некоторые серьезные вопросы развития нашей планеты. К числу их относятся мощные деформации горизонтального сжатия в земной коре, периодичность и глобальная синхронность таких важнейших геологических явлений, как планетарные эпохи и фазы усиления складчато-покровных деформаций, периодическое усиление и ослабление глобальных проявлений вулканизма, плутонизма и регионального метаморфизма, планетар-



Глобальные изменения силы тяжести, измеренные в Москве, Новосибирске и Потсдаме (по Ю. Д. Буланже, 1981). Видно, что период заметных изменений составляет примерно 5 лет. Они вызваны, вероятнее всего, неравномерностью вращения Земли.

ные трансгрессии и регрессии и т. д. Естественное объяснение всех этих явлений дает пульсационная гипотеза геотектоники.

Идея пульсаций Земли была подготовлена исследованиями ученых, установивших периодичность и планетарный характер проявлений интенсивных тангенциальных деформаций сжатия в земной коре, и прежде всего работами известного немецкого геолога Г. Штилле о фазах складчатости. В 1925 г. ирландский геофизик Дж. Джоли, развивая мобилистские идеи А. Вегенера, предположил, что горизонтальное перемещение континентальных плит происходит лишь в отдельные эпохи, когда, вследствие накопления тепловой энергии радиоактивного распада в подкоровом субстрате, он начинает плавиться. В такие эпохи «освобождаются» ротационные и приливные силы, которые приводят в движение континентальные плиты. Растягиваясь и дробясь, плиты перемещаются по поверхности Земли и обнажают те участки горячего субстрата, над которыми они ранее располагались. Это приводит

к усиленной теплоотдаче Земли в мировое пространство, и континентальные глыбы, обретая новое взаимоположение, постепенно «вмерзают» в охладившийся субстрат, испытывая при этом деформации сжатия. Затем вновь начинается постепенный радиоактивный разогрев субстрата, и «цикл» перемещения континентальных глыб повторяется. Таким образом, Джоли ввел в геологическую науку идею о термических циклах развития Земли, состоящих из фазы разогрева и разуплотнения подкорового субстрата и фазы охлаждения и уплотнения, сопровождающегося сокращением его объема и площади. Взгляды Джоли нашли горячую поддержку у крупнейшего советского геолога А. Д. Архангельского, писавшего в 1929 г. в предисловии к русскому переводу его книги, что «в жизни Земной коры красной нитью проходит чередование эпох, в которые эта кора испытывает грандиозное сжатие, с эпохами, в которых ярко проявляются не менее мощные растягивающие усилия»⁶.

Форму стройной теоретической концепции гипотеза пульсаций Земли впервые приобрела в книге В. Бухера «Деформации Земной коры» (1933), идеи которого получили развитие в появившихся в предвоенные годы работах наших крупнейших геологов В. А. Обручева и М. А. Усова. Независимо от Бухера представления о чередовании расширения и сжатия Земли на фоне преобладающего расширения высказали в 1934 г. М. М. Тетяев и В. Н. Букановский.

В послевоенные годы пульсационная гипотеза нередко упоминалась в сводных работах по геотектонике, однако в качестве ее существенного недостатка отмечалось, что отсутствуют надежные доказательства существования фаз глобального расширения. Немалую роль в критике этой гипотезы сыграли попытки ряда видных геологов, в частности Н. С. Шатского, опровергнуть существование фаз складчатости, которое рассматривалось как проявление глубоко ошибочных идей неокатастрофизма в геологии. Лишь некоторые советские геологи, например П. Н. Кропоткин и Н. Е. Мартынов, выступали как сторонники гипотезы пульсаций.

Но в 70-х годах, в связи с обострением борьбы между фиксистскими и мобилистскими представлениями о происхождении структур эпигеосинклинальных складчатых областей и быстрым развитием исследований рифтовых зон, пульсационная

⁶ Джоли Дж. История поверхности Земли. М., 1929, с. 192.

гипотеза начинает приобретать популярность. Анализ быстро накапливающихся разнообразных геологических данных приводит к необходимости объяснить представления о пульсациях Земли разной продолжительности и о ее общем расширении на протяжении весьма длительных отрезков геологической истории или даже всей жизни Земли.

ПРОЯВЛЕНИЯ ПУЛЬСАЦИЙ ЗЕМЛИ

Как известно, в гипотезе тектоники плит предполагается глобальная компенсация спрединга в океанах и более слабого растяжения в рифтовых зонах континентов различными формами столкновения литосферных плит, и прежде всего субдукцией. Если при этом устанавливается неравномерность проявлений сжатия во времени, то должна иметь место и неравномерность в интенсивности проявлений спрединга, причем «фазы складчатости» должны в то же время являться фазами усиления спрединга и континентального рифтогенеза.

Детальное изучение истории проявления рифтогенеза на континентах и спрединга в океанических рифтовых зонах подтвердило существование глобальной периодичности в проявлениях рифтогенеза, но при этом оказалось, что фазы усиления рифтогенеза вовсе не совпадают с фазами складчатости, а чередуются с ними во времени. Фазам же усиления процессов сжатия в геосинклинальных областях отвечает в рифтовых зонах ослабление или полное прекращение горизонтального расширения, а в некоторых из континентальных рифтовых зон — даже слабые проявления горизонтального сжатия. Все эти явления невозможно объяснить с позиции неизменности радиуса Земли. Наоборот, они требуют допущения о периодических пульсациях объема планеты: расширениях в фазы усиления растяжения и сокращениях в фазы усиления деформаций сжатия.

Рифтовые зоны более благоприятны для проявления глобального растяжения, поскольку именно в них поднимается глубинный мантийный материал, как бы закупоривающий возникающие «зияния» и делающий их малоподатливыми для последующих проявлений сжатия. Напротив, геосинклинальные прогибы с их тенденцией к глубокому погружению и аккумуляции мощных линз слоистого материала оказываются более чувствительными к проявлению глобального сжатия, при котором осуществляется смятие этого материала и его выжимание вверх и в стороны.

Конечно, в каждую фазу сокращения объема Земли деформации сжатия реализуются не во всех геосинклинальных областях и их зонах, а лишь в некоторых из них. Это, очевидно, связано с тем, что лишь часть этих зон в соответствующий момент «созревает» для подобных деформаций, поскольку их фундамент, ранее относительно жесткий и неподатливый, теперь оказывается достаточно глубоко погруженным, прогревается, гранитизируется и приобретает пластичность, необходимую для его раздавливания, выжимания и соответствующего механического воздействия на перекрывающие его мощные слоистые толщи.

Итак, расширение и сжатие Земли не проявляются на ее поверхности равномерно, а осуществляются в отдельных благоприятных для этого зонах, функции которых на разных стадиях истории Земли принадлежали различным структурным элементам⁷.

Чередование деформаций растяжения и сжатия представляет лишь одну из форм проявлений пульсаций Земли. Не менее важное значение имеет чередование эпох, характеризующихся интенсивной вулканической деятельностью, с эпохами, отмеченными отсутствием вулканизма или слабыми его проявлениями. И в рифтовых зонах, и в геосинклинальных поясах вулканизм свойствен эпохам или фазам, ознаменованным усилением горизонтального растяжения, и отсутствует в эпохи горизонтального сжатия. Массовые проявления базальтового вулканизма на платформах (трапповые излияния) присущи обширным, обычно длительно развивающимся впадинам в фазы их горизонтального растяжения. Значительная активизация внегеосинклинального континентального вулканизма в мезозое и частично в палеозое, а также одновременные с ним, но гораздо большие по масштабу базальтовые излияния на дне океанов совпадают с эпохой резкого усиления океанического и континентального рифтогенеза, т. е. преобладания горизонтального расширения. Эти факты, скорее всего, говорят о том, что положительные фазы пульсаций Земли могут вызываться

⁷ Странников пульсационной гипотезы иногда упрекают в игнорировании одновременности проявления на земной поверхности сжатия и растяжения, но этот упрек основан на явном недоразумении. Конечно, на Земле одновременно происходят и сложно сочетаются проявления горизонтального растяжения и сжатия, и речь может идти лишь о глобальном преобладании той или иной тенденции в отдельные эпохи ее истории.

разогревом, частичным плавлением и уплотнением астеносферы Земли, которое приводит к растрескиванию литосферы и излиянию на поверхность огромных масс магматического материала. Отрицательные же фазы, т. е. сокращение радиуса Земли и связанное с ним смятие и коробление литосферы, могут быть вызваны относительным охлаждением, уплотнением и сокращением объема астеносферного слоя.

К числу важных проявлений пульсаций относятся крупнейшие колебания уровня океана. Мировые регрессии связаны с фазами сжатия, сопровождающимися возникновением горных сооружений, возрастанием глубины и емкости впадин морей и океанов, в которых собираются главные массы воды. Напротив, мировые трансгрессии отвечают фазам общего расширения Земли, во время которых сглаживаются основные неровности ее рельефа. Эти фазы знаменуются усилением вулканизма и, соответственно, поступлением из глубин Земли значительных масс ювенильной воды.

Пульсации Земли находят также выражение в сопряженных процессах горообразования и формирования осадочных толщ⁶. Эпохи расширения Земли и обширных трансгрессий знаменуются выравниванием рельефа, широким развитием корообразования и химического выветривания. Благодаря сглаживанию неровностей поверхности Земли и смягчающему влиянию трансгрессий, они обычно характеризуются теплым влажным климатом на большей части суши. В подобные эпохи в морях накапливаются карбонатные отложения, железные и марганцевые руды, а на континентальных равнинах формируются угленосные толщи и бокситы. Напротив, эпохам сжатия и регрессий отвечает возрастание геоморфологических контрастов и денудационных процессов, возникновение орографических барьеров, усиливающих климатическую зональность и обуславливающих широкое развитие аридных, а также ледовых обстановок. В данные эпохи формируются соленосные толщи, медистые сланцы и песчаники. Можно предполагать, что и формирование многих эндогенных минеральных месторождений связано с режимом пульсаций Земли и периодическим возрастанием проницаемости верхней мантии и коры для глубинных флюидов.

О ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПУЛЬСАЦИЙ

Какой же может быть длительность отдельных циклов пульсаций Земли? Вероятно, в ее развитии проявляются, накладываясь друг на друга, «пульсы» различного масштаба и длительности. Самыми крупными из них являются такие мегациклы, как протогей (древнее 3,5 млрд лет), дейтерогей (от 3,5 до 1,6 млрд лет), неогей (от 1,6 до 0,2 млрд лет) и постнеогей (последние 200 млн лет). Постнеогей представляет, вероятно, лишь начало мегацикла. Каждый из мегациклов начинается с глобального расширения и вызванной им деструкции, а завершается глобальной консолидацией. Три мегацикла, сопоставимые, вероятно, с земными по своей длительности и значению, но отличные по характеру проявления, намечаются на Марсе и, возможно, на Венере, несколько раньше Земли исчерпавших внутренние источники энергии, и не более двух — на значительно раньше завершивших свое эндогенное развитие Меркурии и Луне.

Наряду с самыми крупными циклами, улавливаются геотектонические циклы продолжительностью в несколько сотен миллионов лет. Кроме того, выявляются циклы эндогенной активности, которые длятся 40—50 млн лет; первая половина их отмечена усилением процессов рифтогенеза и других проявлений расширения, а вторая — сгущением «фаз складчатости». Еще меньшие по продолжительности циклы (несколько миллионов лет) проявляются отдельными пароксизмами сжатия («фазами складчатости») и относительно спокойными периодами, характеризующимися отдельными «фазами рифтогенеза». Повидимому, существуют пульсации продолжительностью менее миллиона лет, а также еще более кратковременные, вплоть до нескольких лет⁹.

Для суждения о реальности подобных весьма непродолжительных периодических колебаний радиуса (или) фигуры Земли мы пока не располагаем достаточным количеством гравиметрических и астрономических измерений, но и те данные, которые имеются, представляют уникальный интерес. Как сообщил на Московской

⁶ Казаринов В. П. — Бюлл. МОИП, отд. геол., 1979, № 3, с. 74.

⁹ Может быть, избыточные напряжения в массивах горных пород, установленные во многих районах Земли, отражают существование относительно короткопериодических пульсаций в рамках плиоцен-четвертичной эпохи растяжения.

ренции Ю. Д. Буланже, в гравиметрии давно известны приливные вариации силы тяжести, вызываемые притяжением Луны и Солнца и имеющие периодический характер, но лишь в последнее время обнаружены неприливно-изменяемые, порождаемые причинами, связанными с развитием нашей планеты. Часть из них имеет локальный характер. Но в самые последние годы с появлением высокоточных баллистических гравиметров удалось выявить глобальные (?) изменения силы тяжести, которые сходным образом проявились в трех далеко отстоящих друг от друга и расположенных в разных тектонических зонах пунктах наблюдений — в Потсдаме, Москве и Новосибирске. Во всех этих пунктах изменения силы тяжести за время с 1975 по 1980 г. составили одну и ту же величину. Ю. Д. Буланже делает вывод, что «глобальные колебания» силы тяжести, вероятно, существуют, но пока все еще недостаточно данных для определения их периода или амплитуды»¹⁰.

Согласно расчетам Н. Н. Парийского, эти колебания хорошо согласуются с изменением скорости вращения Земли. Одной из вероятных причин колебаний величины силы тяжести, как и изменений скорости вращения Земли, могут быть небольшие изменения радиуса Земли или ее формы. Можно пожелать, чтобы исследования глобальных изменений силы тяжести были в ближайшие годы продолжены и за пределами Евразии, что позволит проверить реальность происходящих в настоящее время изменений объема и фигуры Земли.

Одним из главных критериев при решении вопроса о возможном расширении Земли в геологическом прошлом должна стать проверка реальности, масштаба и скорости двух главных геодинамических процессов, предполагаемых в концепции тектоники плит, а именно: спрединга (и других явлений горизонтального расширения земной коры) и субдукции (и других видов ее горизонтального сокращения). Если будет доказана реальность первого процесса и фиктивность или относительно меньший масштаб второго¹¹, тогда предположение о расширении Земли станет научно доказанной теорией, а гипоте-

за тектоники плит приобретет соответствующее ей ограниченное значение. Возможно, конечно, что будущие исследования подтвердят реальность некоторых пульсаций объема Земли и периодических изменений ее формы, но покажут, что общего заметного увеличения размеров Земли в мезокайнозой не было, и тогда очень резкая активизация океанического и континентального (внегеосинклиального) вулканизма и разрастание океанов в мезокайнозой потребуют каких-то иных объяснений. Для более достоверной проверки реальности и оценки масштаба пульсаций Земли, измеряемых миллионами лет, необходима коллективная, проводимая по единой методике работа по хронологической корреляции деформаций сжатия и растяжения в разных зонах Земли, а также других геологических явлений, могущих находиться в причинной связи с пульсациями Земли.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИТОГИ

Гипотеза расширения и пульсаций не противопоставляется другим существующим геотектоническим концепциям, а связана с ними и может быть «вписана» в них как важный и необходимый элемент, придающий истории Земли направленность и периодичность. С концепцией фиксизма ее связывает общность понимания глубинного строения и развития континентальных массивов, которые уходят своими корнями глубоко в мантию Земли и приводятся в движение «мотором», расположенным непосредственно под континентальными структурами, возможно, в конечном счете, на границе мантии и ядра. Классическое учение о геосинклиальном процессе целиком укладывается в рамки гипотезы расширения и пульсаций и в наибольшей мере отвечает событиям нагоя, т. е. мезокайнозой, начавшейся с сильного расширения Земли в рифее и завершившейся герцинским горообразованием. Наконец, развитие Земли в мезокайнозой, в той части, что касается истории океанов, рисуется во многом сходно и с позиций тектоники плит. Гипотезой расширения и пульсаций принимается и значительная роль горизонтального сжатия в геосинклиальных поясах в разных его формах, но суммарная относительная роль этих процессов признается меньшей, чем сумма проявлений расширения. Однако в течение каждой фазы общего расширения Земли в основном расширяются рифтовые пояса и вмещающие их океаны, а в течение каждой фазы общего сокращения ее объема в основном

¹⁰ Буланже Ю. Д. — Земля и Вселенная, 1981, № 4, с. 10.

¹¹ Не исключено, что зоны Бенъофа являются своеобразными «рельсами», вдоль которых в фазы общего расширения Земли может происходить растяжение (эдукция), в фазы общего сжатия — субдукция, а кроме того — сопряженные со сжатием или растяжением продольные сдвиговые смещения.

сжимаются геосинклинально-орогенические пояса, следовательно происходит относительное горизонтальное перемещение «жестких» массивов, разделяющих подвижные зоны Земли, т. е. осуществляется процесс, постулируемый в модели «тектоники плит», только происходит он медленнее, чем по этой модели, а континентальные «плиты» оказываются гораздо более толстыми и скользят не по астеносфере, а по значительно более глубоким поверхностям, в мантии, и, может быть, даже по ее подошве.

В заключение надо подчеркнуть, что концепция расширения и пульсаций Земли, как и другие теоретические концепции в нынешнюю революционную эпоху развития геотектоники и геологии в целом, представляет собой лишь гипотезу. Все они пока не являются строго обоснованными теориями, и заклинания апологетов той

или другой концепции об ее истинности и полной несостоятельности остальных кажутся убедительными только ее приверженцам и не способствуют успешному развитию науки. Если гипотеза расширения и пульсаций Земли и отражает реально происходившие и протекающие в настоящее время процессы — что еще, конечно, требуется убедительно доказать, — то остаются неясными многие важные вопросы: об иерархии этих процессов, о масштабе расширения как за всю историю Земли, так и за мезокайнозойскую мегаэпоху ее развития, о глубинных причинах этих процессов и взаимосвязях всех их проявлений, об истории водной массы Мирового океана и т. д. На пути разработки и критической проверки идей о пульсациях и расширении Земли могут быть выяснены многие, пока неясные проблемы строения и эволюции нашей планеты.

НОВОСТИ НАУКИ

Геофизика

Турбулентное ядро Земли

Согласно обычным представлениям, земное ядро образовано металлическим расплавом, медленно отвердевающим по мере охлаждения планеты. На 90% сплавы, образующие ядро, состоят, очевидно, из железа, остальное — более легкие элементы, главным образом сера.

Как известно по сейсмическим данным, земное ядро состоит из двух частей: внешней жидкой оболочки (внешнее ядро) и центральной твердой оболочки (внутреннее ядро). Это объясняется тем, что процесс отвердевания железа в ядре происходит из-за колоссального давления при значительно более высоких температурах, чем в обычных условиях. И, несмотря на то что наибольшая температура существует в центре ядра,

отвердевание идет все же от центра к наружным его областям, поскольку давление возрастает с глубиной.

Научные сотрудники Геофизического института изучения динамики жидкостей при Университете штата Флорида (США) Д. Ф. Фирн и Д. Э. Лопер совместно с английским математиком П. Х. Робертсом пришли к выводу, что в земном ядре осуществляются активные турбулентные процессы. Когда жидкий сплав металлов начинает охлаждаться и затвердевать, более тяжелые металлы отвердевают раньше и погружаются вглубь, в то время как более легкие элементы все еще остаются в жидком состоянии и поднимаются к поверхности. Этот известный в металлургии принцип указывает на то, что внутренняя область ядра образована в основном из чистого железа в его твердой фазе, а внешняя область состоит из смеси железа и серы. По мере отвердевания железного ядра часть серно-

го расплава оказывается «захваченной» внутри него и стремится подняться вверх через глубинные трещины, которые могут возникать даже в самом центре Земли. В связи с этим граница между жидким внешним ядром и твердым внутренним ядром становится весьма извилистой, пересеченной, она изобилует кристаллами железа. Местами над этой границей вздымаются железные вулканические пики, из верхней части которых истекают потоки расплавленной серы.

Эта гипотетическая модель динамики земных недр находит подтверждение в специфике распространения сейсмических волн: геофизикам известно, что такие волны как бы ослабляются, заглушаются при прохождении через внутреннее ядро, поверхность которого в таком случае представляется не твердой, а в какой-то степени «кашеобразной».

Nature, 1981, v. 292, № 5820, p. 232

(Великобритания)

Будущее воли и будущее судьбы

Ф. Дж. Дайсон



Фримен Джон Дайсон, физик-теоретик, член Национальной Академии наук США, профессор Принстонского института перспективных исследований (США). Научные работы посвящены квантовой электродинамике, квантовой теории поля, математической физике, физике низких энергий и астрофизике (проблема внеземных цивилизаций, пульсары, нейтронные звезды). Член Лондонского королевского общества.

СЛУЧАЙ И НЕОБХОДИМОСТЬ

В письме к О. Юлиусбургеру А. Эйнштейн писал: «Свободы воли объективно не существует»¹. Это сильное утверждение. Обычно Эйнштейн не высказывался столь категорично. Но всю жизнь он явно предпочитал рассматривать объективную реальность как нечто независимое от случайных событий и желаний людей. Однажды он писал шестикласснику из Нью-Йорка: «Научное исследование опирается на идею, что все происходящее определяют законы природы и, следовательно, этим же законам подчинена и деятельность людей»². Может быть, нельзя возлагать на Эйнштейна ответственность за мысли, изложенные в письме шестикласснику? К тому же сам он жаловался однажды: «Прежде мне никогда не приходило в голову, что каждое мое случайное замечание подхватят и запишут. Иначе я бы давно заполз, как улитка, в раковину»³. Но все, что мы знаем о лич-

ности Эйнштейна, убеждает, что свое письмо шестикласснику он писал так же искренне и серьезно, как и статью в «Annalen der Physik». Несомненно, он искренне верил в жесткий детерминизм законов природы. Он верил, что будущее Вселенной предопределено судьбой, безразличной к нашим страстям и стремлениям.

Пересекая Атлантику, Эйнштейн писал в своем дневнике: «Никогда прежде я не переживал такого шторма, как в этот вечер. Море выглядело неопишимо величественным, особенно на закате, когда солнце погружалось в него. В такой момент ощущаешь, будто сливаешься с природой и растворяешься в ней. Еще сильнее, чем обычно, чувствуешь свое ничтожество, и это делает тебя счастливым»⁴. Эйнштейн был счастлив, как любой разумный человек, знающий, что непродуманные действия людей не могут потрясти основ мироздания.

Большинство современных физиков, в отличие от Эйнштейна, считают, что основные законы природы не являются жестко детерминистскими. Некоторые верят в случай, некоторые — в свободу воли, как в важные факторы, влияющие на ход событий. Тридцать лет назад

Статья подготовлена на основе лекции, прочитанной в Висконсинском университете (США) 15 апреля 1980 г.

¹ Albert Einstein, the Human Side: New Glimpses from his Archives. Princeton, 1979, p. 81.

² Ibid., p. 32.

³ Ibid., p. 22.

⁴ Ibid., p. 23.

я услышал теорию свободной воли, сформулированную в экстремальном виде Дж. фон Нейманом. Тогда фон Нейман только что разработал конструкцию первых высокоэффективных вычислительных машин и собирался продемонстрировать возможности их применения для прогноза погоды. Он был уверен, что его машины, с помощью группы специалистов-метеорологов, справятся с капризами атмосферы. «Предсказание погоды будет только началом,— заявил он.— Когда мы до конца поймем динамику атмосферы, мы сможем разделить все климатические явления на два класса: феномены устойчивые и неустойчивые. Если феномен устойчив, можно его вычислить и предсказать, зная начальные условия. Если феномен неустойчив, его эволюция зависит от распространения малых случайных возмущений, предсказать которые мы не можем. Но если мы понимаем динамику, мы сможем сами создавать малые возмущения, чтобы заставить неустойчивые явления развиваться в нужном нам направлении. Таким путем мы сможем воздействовать на неустойчивые явления. И в результате мы сможем управлять всем, чего не сможем предсказать, и предсказывать все, чем не сможем управлять».

Спустя тридцать лет мы видим, что наука о прогнозе погоды прогрессирует совсем не так быстро, как предполагал фон Нейман. Ветер дует, куда хочет, и ни детерминистские законы физики, ни использование человеком искусственной конденсации облаков, по-видимому, не могут приказывать ветру дуть, куда нам надо. Фон Нейман переоценил силу своих уравнений и недооценил трудности человеческого вмешательства. Детерминистская физика и сила воли человека в равной степени бессильны решить, будет в следующий четверг идти дождь в Принстоне или нет. С практической точки зрения мы должны смириться с тем, что погода одновременно и непредсказуема и неконтролируема. Мы можем заявить, если нам это угодно, что погода в значительной степени определяется чистой случайностью. Но мы не должны забывать, что, вводя понятие случайности, мы лишь прикрываем наше незнание. Может случиться так, что в будущем, после того как наука в течение еще нескольких веков продолжит свое непредсказуемое развитие, анализ фон Неймана окажется более близким к истине, чем это кажется в настоящее время. В конце концов, Леонардо да Винчи создал проекты

летательных аппаратов очень давно, и в течение четырех столетий все попытки построить такие аппараты кончались плачевно, но в итоге братья Райты добились успеха. Может быть, еще через четыре века мы будем понимать погоду настолько хорошо, что мечта фон Неймана станет реальностью.

С философской точки зрения неважно, прав или неправ фон Нейман. Если он прав, погода на Земле в основном будет управляемой. Если он неправ — тогда погода в значительной степени случайна и непредсказуема. Но прав или неправ фон Нейман — в обоих случаях законы метеорологии не являются жестко детерминистскими. Человеческая воля или случай, или то и другое вместе могут внести заранее не определимый вклад в уравнения метеорологии.

Между детерминизмом Эйнштейна и неопределенностью предсказаний эмпирической науки, такой как метеорология, нет принципиальной несовместимости. Можно верить, как это делал Эйнштейн, что в основном все определяется строгой причинностью, а для практических целей — ввиду ограниченности человеческих знаний — использовать концепции случайности и свободной воли, чтобы описывать мир таким, каким мы его знаем по опыту. Неперсонифицированный бог Спинозы видит мир как жестко детерминистский, не различая прошлого и будущего, в то время как мы, люди, в силу нашего незнания, сидим, подобно гребцам в лодке, спиной к будущему и вынуждены жить догадками и вычислениями вероятностей. Такова точка зрения Эйнштейна. Альтернативная точка зрения, более популярная среди современных ученых, — что бог Спинозы или не существует, или его существование ничего не значит и что природа так же, как мы сами, управляется вероятностями.

Лучшая попытка выразить суть все еще не разрешенного спора была сделана пятьдесят лет назад Дж. Берналом, тогда молодым кристаллографом, ставшим впоследствии одним из пионеров молекулярной биологии. В 1929 г. Бернал написал небольшую книгу, озаглавленную «Мир, плоть и дьявол: исследование будущего трех врагов рационального духа»⁵. Первая фраза книги Бернала содержит все, что мы знаем о свободе и необходимости: «Есть два существа — будущее воли

⁵ Bernal J. D. The World, the Flesh, and the Devil. Bloomington, 1969.

и будущее судьбы, и человеческому разуму никогда не удавалось отделить одно от другого».

Будущее воли и будущее судьбы. Бернал не знал, как их разделить, не знаю этого и я. Единственное, что я попытаюсь сделать — это пояснить, что означают эти два типа будущего, исследуя их роль в истории науки. История науки полна таких дихотомий. Существует дихотомия между единством и многообразием, между общими законами и частными примерами, между Вселенной космолога и Вселенной биолога. В разные периоды истории развития науки роль той или другой стороны дихотомии преувеличивалась. Иногда на передний план выступают единство и общность науки. Тогда Вселенная представлялась решением уравнений математической космологии, а наше будущее — будущим судьбы. Иногда преобладают многообразие и неповторимость научного знания. Тогда Вселенная представлялась зоосадам, населенным живыми существами, а наше будущее — будущим воли. Я собираюсь убедить в том, что науке для ее нормального развития необходимы обе точки зрения. Наше будущее не есть просто будущее воли или будущее судьбы: оно и то и другое вместе, и разуму человека не следует отделять одно от другого.

УНИФИКАТОРЫ И ДИВЕРСИФИКАТОРЫ

Тридцать пять лет назад я впервые встретился с Ф. Криком. Кажется, это было в Фенем Хаузе, мрачном официальном здании в Лондоне, где группа ученых работала над техническими проблемами, связанными с нуждами Королевского военно-морского флота. Крик работал здесь уже довольно долго, был подавлен и расстроен. Он сказал, что упустил свои шансы сделать что-либо в науке. Война застала Крика в самый неподходящий момент, прервав его работу в физике, и вот уже шесть лет удерживала в стороне от настоящей науки. Шесть лучших лет его жизни, проведенные в Военно-морской разведке, потеряны навсегда. Крик удачно работал в Военно-морской разведке и внес важный вклад в ее деятельность. Но говорят, что военная наука имеет такое же отношение к науке, как

военная музыка к музыке. После шести лет такой деятельности Крику поздно было начинать все сызнова и вновь садиться на студенческую скамью, чтобы восстановить все позабытое. Неудивительно, что он был подавлен.

Тогда ни Крик, ни я не знали, что всего за несколько месяцев до нашей встречи О. Эвери со своими коллегами в Рокфеллеровском институте закончил эпохальные эксперименты, доказавшие, что ДНК — основной носитель наследственности. Если бы Крик и знал тогда о работе Эвери, сомневаюсь, что это порадовало бы его. Это был лишь еще один замечательный научный результат, который он упустил. Он говорил, что подумывает расстаться с физикой и начать все заново уже как биолог. Но выглядело это столь же безнадежно. После того как вы шесть лет в чем-то не участвовали, мало шансов, что вы сможете начать снова. Я выходил из Фенем Хауза, думая: «Как жаль. Такой прекрасный парень. Если бы не война, он, возможно, был бы отличным ученым».

Я рассказываю эту историю о Крике потому, что она ставит ряд интересных вопросов. Бывает ли слишком поздно заняться наукой? Что это — несчастье или замаскированное везение, когда прервана академическая карьера и человек вынужден искать собственную нишу для интеллектуального выживания? Как случилось, что Крик выбрался из отчаянного положения и сделал блестящий вклад в науку уже как биолог? Я не могу ответить на эти вопросы, да и нет простого ответа. Я предлагаю поразмышлять на эту тему и сделать свои выводы. На этом примере (а их можно привести немало) я хочу лишь показать, что жесткая система курсов и экзаменов на получение определенной квалификации — не лучший способ привлечь в науку одаренных людей. Иногда к лучшему, если эта система нарушается.

Обычно ученых относят к разным профессиональным категориям в зависимости от области их работы. Одних из нас относят к физикам, других — к биологам. Такая система расстановки по полкам создает дополнительные трудности для молодых людей, стремящихся, подобно Крику, пересечь границу, разделяющую физику и биологию. В конце концов, Крику, по-видимому, просто повезло. В то время академическая иерархия была расстроена войной, а профессиональные этикетки не были такими жесткими, как сегодня.

Я думаю, правильнее было бы разделять ученых по их целям, а не по дисциплинам. Самое главное различие, которое

† Jones R. V. The Wizard War: British Scientific Intelligence, 1939—1945. N. Y., 1978, p. 509—510, 524—525.

я предложил бы, это различие между унификаторами и диверсификаторами. Унификаторы ставят себе целью найти общие принципы, которые все объяснят. Они счастливы, если после них Вселенная будет выглядеть немного проще. Для диверсификаторов главная страсть — исследовать подробности. Они в ладу с многообразием природы и согласны с афоризмом «бог любит детали». Они счастливы, если после них Вселенная окажется немного более сложной, чем до них. Унификаторы склонны верить в будущее судьбы; диверсификаторы склонны верить в будущее воли.

На самом деле правда, что самые великие ученые в любой области — унификаторы. Особенно это справедливо для физики. Ньютон и Эйнштейн были великими унификаторами. Великие достижения физики были связаны с открытием единых законов для всей Вселенной. Мы принимаем почти как аксиому, что дальнейший прогресс физики будет связан с объединением все большего количества явлений в рамках нескольких фундаментальных принципов. Эйнштейн был настолько уверен в правильности такого пути развития физики, что в конце жизни почти не интересовался экспериментальными открытиями, которые тогда начинали усложнять картину реальности. Среди физиков трудно услышать голоса против унификации. Один голос подал Э. Вихерт, чей вклад в физику был признан в недавно опубликованной статье физика Р. Иоста по истории науки⁷. В 1896 г., через год после открытия рентгеновских лучей, Вихерт сказал, выступая в Кенигсберге: «Материя, которая, по нашим предположениям, составляет Вселенную, построена из маленьких устойчивых кирпичиков, химических атомов. Нет нужды повторять слишком часто, что слово «атом» сейчас стало независимым от любой из старых философских теорий: мы знаем точно, что атомы, с которыми мы имеем дело, — не простейшие мыслимые компоненты Вселенной. Напротив, ряд явлений, особенно в области спектроскопии, приводит к выводу, что атомы — очень сложные структуры. Что касается современной науки, то мы здесь полностью должны отказаться от мысли, что, проникая все глубже в область малого, мы достигнем когда-нибудь последнего рубежа. Я уверен, что от этой идеи мы можем отказаться без сожалений. Вселенная бесконечна во всех направлениях, не только

в большом мире вокруг нас, но и в самом малом. Если мы примем за масштаб нашу человеческую шкалу и будем изучать Вселенную все далее и далее, мы, наконец, и в большом и в малом достигнем такой туманной дали, где нам откажут сначала наши чувства, а потом и наш разум»⁸.

Эти высказывания Вихерта говорят о его незаурядной прозорливости. В то время, когда он их сделал, Больцман, Мах и Планк, ведущие физики-теоретики Германии, еще вели ожесточенные споры по поводу самого существования атомов. Более полувека оставалось до расцвета физики элементарных частиц, которая открыла совершенно новый мир странных объектов и странных взаимодействий, скрытых в структурах, намного меньших, чем атомы. Представление Вихерта о бесконечной и безмерно разнообразной Вселенной диссонировало с тем, как представляли себе Вселенную Планк и Эйнштейн, которые в последующие пятьдесят лет оставались законодателями в физике. Слова Вихерта игнорировали. Игнорировали даже экспериментальное открытие электрона, сделанное им независимо от Дж. Дж. Томсона и немного раньше. Вместо того чтобы таить обиду на невнимание коллег, Вихерт отказался от исследований микромира. Он обратился к изучению внутреннего строения Земли. Теперь он занимает подобающее ему место в истории науки как один из основателей геофизики.

В биологии дела обстоят как раз наоборот. Лишь единицы из великих биологов — унификаторы. Дарвин был унификатором, сознательно стремившимся достичь в биологии такой же унификации, какой в физике достиг Ньютон. Дарвину удалось охватить всю живую природу в теории эволюции. Но живой мир остается фундаментально и неисправимо многообразным. Многообразие есть сущность жизни, и главное достижение дарвиновской теории в том, что она дает этому многообразию интеллектуальную связанность. Рабочее время девяноста девяти процентов биологов расходуется на детальное исследование живых объектов, на распутывание сложных особенностей поведения отдельных видов или на изучение восхитительно замысловатой архитектуры особых биохимических механизмов. Биология — естественное владение диверсификаторов, так же как физика — унификаторов. Унификаторы типа Дарвина —

⁷ Jost R. Boltzmann und Planck: Die Krise des Atomismus um die Jahrhundertwende und ihre Überwindung durch Einstein. Zürich, 1980 (Preprint, ETN).

⁸ Wiechert E. Die Theorie der Elektrodynamik und die Röntgensche Entdeckung. — Schriften der Phys.-Ökon. Ges. zu Königsberg, 1896, B. 37, S. 1—48.

такая же редкость в биологии, как диверсификаторы типа Вихерта — в физике. Дарвин не имел себе равного и не имел последователя.

Впрочем, я должен отметить, что у Дарвина есть один последователь и его зовут Ф. Крик. Говоря так, я вовсе не настаиваю на том, что Крик более велик, чем другие биологи и еще в меньшей степени утверждаю, что молекулярная биология важнее социобиологии. Я только говорю, что Крик — унификатор в биологии в духе Дарвина. Через двенадцать лет после нашей встречи в Фенем Хаузе он предложил основной закон молекулярной биологии и дал ему название «центральной догмы».

«Центральная догма. Утверждается, что однажды воспринятая белковой молекулой информация не может ее покинуть. Более подробно: возможен перенос информации от нуклеиновой кислоты к нуклеиновой кислоте и от нуклеиновой кислоты к белку, но невозможен перенос от белка к белку и от белка к нуклеиновой кислоте»⁷.

Установление законов — необычный вид деятельности для биолога. Даже Крик не тратит на это много времени. Большую часть времени он тратит на изучение деталей индивидуальных структур, так же как и Дарвин потратил много времени на систематику усонгогих раков. Но в душе Крик — унификатор, и, в конце концов, его запомнят как человека, установившего обобщенный принцип для биологии двадцатого века, как Дарвин — для биологии девятнадцатого.

Позвольте мне теперь собрать воедино нити моих рассуждений. Я утверждаю, что каждой науке для ее нормального развития необходимо творческое равновесие между унификаторами и диверсификаторами. Последние сто лет в физике унификаторы слишком жестко гнули свою линию. Диверсификаторы, подобно Вихерту в 1890-е годы и Дж. Уилеру в наши дни, оказались вытесненными из главного потока. Уилер бескомпромиссно стоит на своем диверсификаторском подходе. Я процитирую основную идею последней книги Уилера «Границы времени»: «Частные явления. Явления вне правил. Явления столь многочисленные и столь несогласованные, что под флагом своей свободы от формул они уже создали непоколебимую форму»¹⁰.

Это звучит подобно Беовульф, но принадлежит Уилеру. Такое видение при-

роды для ортодоксальных физиков выглядит скорее поэтическим, нежели научным. Коллеги Уилера больше любят его самого, чем прислушиваются к тому, что он говорит. В физике унификаторов нет места для его разрушительных идей.

В биологии баланс более нормальный. Главное течение в биологии — в руках диверсификаторов; область явлений многочисленных и несогласованных, наслаждающихся свободой от формул. Но когда на сцену выступает унификатор, подобный Дарвину или Крику, его не игнорируют. Его уважают и, в конце концов, даже награждают. А его идеи вливаются в главное течение. Я предполагаю, что может наступить время, когда физика захочет поучиться у биологии, как биология учится у физики, время, когда физика воспримет все бесконечное многообразие природы как одну из своих центральных тем так же, как биология приняла единство генетического аппарата как свой основной закон.

БИОЛОГИЯ И КОСМОЛОГИЯ

В средние века не было четкого разделения между биологией и космологией. Даже самые строгие и авторитетные физики представляли небеса заселенными живыми существами. Гюйгенс, основоположник волновой теории света, ученый с безупречной репутацией, написал книгу, озаглавленную «Космотеорос». «Человек,— писал он,— разделяющий мнение Коперника, что наша Земля, подобно другим планетам, вращается вокруг Солнца и освещается им, не может иногда не подумать, что не так уж невероятно, чтобы и другие планеты имели свою «одежду» и «мебель» и, возможно, своих обитателей, точно так же, как мы». Его великий современник Ньютон продолжает ту же мысль: «Как все вокруг нас кишит живыми существами (не только земля животными, океан рыбой, а воздух птицами, но так же и любая капля воды, тела и кровь животных и любые природные жидкости заселены бесчисленными живыми существами, настолько маленькими, что они невидимы без волшебного стекла), так и небеса над нами могут быть заполнены существами, чья природа нам непонятна. Кто глубоко задумается над странной и удивительной природой жизни и устройством животного мира, тот подумает, что нет ничего невозможного для природы, ничего слишком трудного для всемогущего бога. И как планеты остаются на своих

Crick F. On Protein Synthesis. — Symp. Soc. Exp. Biol. 1957, p. 138—163.

Wheeler J. Frontiers of Time. Texas, 1978, p. 13.

¹⁰ Nicolson M. Voyages to the Moon. N. Y., 1948, p. 60—62.

орбитах, так и любые другие тела могут существовать на любом расстоянии от Земли, и, более того, могут быть существа, обладающие способностью передвижения в любом направлении по желанию или остановки в любой области небес, чтобы наслаждаться обществом себе подобных, а через своих вестников или ангелов управлять Землей и сообщаться с самыми отдаленными уголками. Так, все небеса или любая их часть может оказаться жилищем для блаженных, а Земля, в то же время, будет в их власти. Иметь свободу и власть над всеми небесами и возможность выбора наилучших мест для заселения может быть гораздо более счастливым делом, чем привязанность к какому-нибудь одному месту»¹².

Я цитирую этот отрывок из недавно опубликованной книги «Религия Исаака Ньютона» Ф. Мануэля. Гюйгенс и Ньютон принадлежали к последнему поколению космологов, которые допускали возможность такой населенной живыми существами Вселенной. Стиль и характер науки уже менялись в таком направлении, где подобный полет фантазии был неприемлем. Ни Гюйгенс, ни Ньютон не собрались с духом выставить свои размышления на посмешище публики. Гюйгенс распорядился опубликовать «Космотеорос» не раньше, чем он благополучно скончается. Ньютон был еще более застенчив и свои сокровенные мысли вообще не собирался публиковать. Он надежно спрятал свои рукописи, и теперь, триста лет спустя, их нашли в библиотеке Еврейского университета в Иерусалиме. Мануэль отмечает: «Этот обширный текст... однозначно доказывает, что в десятилетие создания «Начал» мировоззрение Ньютона допускало гораздо большее многообразие форм бытия, чем это признавали физики-позитивисты и англо-саксонское христианство девятнадцатого века»¹³. Но рукописи Ньютона оставались закрытыми от его современников в большом черном ящике, и восемнадцатый век ничего о них не знал. Девятнадцатое столетие погрузило нас во Вселенную, ставшую пустой и мертвой. С тех пор космология навсегда связала себя с этой пустой и мертвой Вселенной.

Суровость официального ньютоновского мировоззрения наиболее впечатляюще выражена одним из известных писателей века Просвещения маркизом де Садам. В своем романе «Новая Жюстина» де Сад говорит устами своего героя Брессака

(этой цитатой я обязан моему другу А. Хиршману):

«Что на самом деле можем мы совершить в этой жизни? Ответ прост. Все наши мелкие преступления против морали можно свести к немногому — извращениям и убийствам, случайным изнасилованиям или кровосмесительным связям; наши преступления против религии — не более чем богохульство и профанация. Есть ли кто-либо среди нас, кто искренне может признаться, что в самом деле удовлетворен этими пустяками?

— Нет, конечно,— возразила пылкая мадам Д'Эстерваль.— Я страдаю, может быть, сильнее вас от мизерности преступлений, которые дозволены мне природой. Всеми нашими действиями мы оскорбляем лишь идолов, но не саму природу. Я жажду оскорбить именно природу. Я хочу обратить ее порядок в хаос, заблокировать ее упорядоченное движение, остановить звезды и раскачивать планеты, плавающие в космическом пространстве, препятствовать тому, что служит природе, и покровительствовать тому, что ей мешает,— словом, оскорбить природу и остановить ее великую деятельность. Но ничего этого я сделать не могу.

— Да,— вставил Брессак,— это так. То, чего мы добились, — не преступления. Это слово можно применить только к тем вещам, о которых говорила Доротея, но вы понимаете, что такие действия нам недоступны. Давайте же направим нашу месть по путям возможным. Давайте множить ужасы, раз мы не в силах усилить их»¹⁴.

Я не знаю, читал ли Эйнштейн «Новую Жюстину». Скорее всего — нет. У него были более достойные занятия. Но если он читал де Сада, он только укрепился бы в своем презрении к этим интеллектуальным совратителям с литературными и артистическими претензиями, которые обольщают бездумную публику жестокими и самовлюбленными фантазиями. Но де Сад и Эйнштейн согласны в одном — в оценке истинного положения человека в природе. Они оба признают факт неспособности человеческой воли изменить естественный ход событий. Только де Сад приводит в ярость это бессилие, а Эйнштейн радуется ему.

Бесполезно сожалеть об упущенных в истории возможностях. Что было бы с культурой Европы в восемнадцатом и девятнадцатом веках, если бы Ньютон

¹² Manuel F. The Religion of Isaac Newton. Oxford, 1974, p. 101—102.

¹³ Ibid., p. 100.

¹⁴ Vyverberg H. Historical Pessimism in the French Enlightenment. Cambridge, 1958, p. 227.

решился опубликовать свою умозрительную космологию? Судя по состоянию его рукописи, вполне завершенной, с черновыми набросками рисунков, одно время он намеревался ее издать. Сделай он это, поставь он свой непререкаемый авторитет высшего интеллекта века Просвещения на службу искренне романтическому и поэтическому видению мира, что изменилось бы? Избежала бы европейская культура раскола между узким рационализмом Просвещения, опиравшегося на принятый обществом стереотип Ньютона, и чрезмерным иррационализмом его романтических противников? Смогли бы мы избежать политических следствий конфликта между централизмом Наполеона, с одной стороны, и националистическим безумием, с другой? Смогли бы мы избежать конфликта между наукой и религией, так мешавшего интеллектуальной жизни девятнадцатого века и продолжающего еще и теперь истощать западную культуру? Наверное, несправедливо взваливать на Ньютона ответственность за все последовавшие несчастья. Не его вина, что Вселенная, кроме Земли, оказалась мертвой и пустой. Когда Ньютон решил скрыть свое юношеское видение Вселенной, он сделал лишь то, что считает нужным сделать каждый ученый, отказывая в праве на жизнь пусть даже прекрасной теории, если она не подтверждается экспериментальными фактами.

Итак, со времен Ньютона нам осталась в наследство космология, в которой нет места живым существам. Лишь немногие еретики, вроде Вихерта и Уилера, отваживаются высказывать идею, что изучение Вселенной нельзя однозначно сводить только к физическим проблемам. Лишь несколько неисправимых романтиков, вроде меня, продолжают надеяться, что однажды восстановится цепочка, связующая биологию и космологию.

Что мы сейчас можем сделать, чтобы начать строительство моста между биологией и космологией? Мы можем сделать по меньшей мере две вещи. Во-первых, очень внимательно всмотреться во Вселенную и поискать признаки жизни и разума в отдаленных ее областях. Если нам повезет, мы можем обнаружить, что Ньютон слишком легко отказался от своей Вселенной с небожителями и что космос в действительности не так уж мертв и пуст, как это кажется. Поиски внеземного разума — постоянная деятельность, в которую время от времени включаются многие уважаемые астрономы. Крик с самого

начала относится к этому мероприятию серьезно и поддерживает усилия астрономов советами и одобрением. В оценках шансов на успех он, по-видимому, более оптимистичен, чем я. Но исследование Вселенной в целях обнаружения признаков жизни — занятие для наблюдателей, а не для теоретиков. Теоретики здесь мало чем могут помочь, разве что служить в качестве выбивателей фондов и организаторов общественной поддержки.

Но есть и другой способ возведения моста между биологией и космологией, открытый скорее для теоретиков, чем для наблюдателей. Он существует независимо от того, заселена Вселенная внеземными друзьями и коллегами или нет. Этот путь — создание общей теории, рассматривающей потенциальную возможность существования жизни во Вселенной. Крик работает и в этом направлении. Несколько дней назад я получил от него письмо, в котором говорится: «Меня все еще интересует идея направленной панспермии. Наш лозунг: «Насекомые могут пойти далеко». Он имеет в виду, что есть все разумные основания надеяться на то, что споры играют такую же заметную роль в распространении жизни во Вселенной, как и в распространении жизни на Земле. Спора — это естественный способ упаковки биологической и генетической информации для быстрого переноса ее на межзвездные расстояния. Панспермия — старая теория, предложенная химиком С. Аррениусом, современником Э. Вихерта. Аррениус представлял себе Вселенную, заполненную спорами жизни. Направленная панспермия — это панспермия плюс разум: Вселенная, заселенная спорами намеренно с целью превращения ее в среду, благоприятную для жизни¹⁵.

Я не думал, что когда-нибудь и мне придется заняться этой проблемой и попытаться доказать реальность мечты Ньютона. Предположим, что нет спор, путешествующих в межзвездном пространстве ни направленно, ни произвольно. Предположим, что мы потерпели неудачу в поисках следов жизни где-либо вне нашей планеты. Какой минимальной переделке пришлось бы нам подвергнуть какую-либо земную форму жизни, чтобы восполнить пробел, допущенный природой? Теперь, когда гениальная инженерия быстро становится практическим делом,

¹⁵ Crick F., Orgel L. Directed Panspermia.— Icarus, 1973, № 19, p. 341.

можно подумать о переделке земных существ так, чтобы сделать их способными выжить в космическом пространстве или на других небесных телах. А уж если мы успешно внедрим какое-то количество видов в космос и обеспечим их соответствующими механизмами для рассеивания спор, в дальнейшем мы сможем положиться на древние процессы мутаций и естественного отбора, которые позаботятся об их дальнейшей эволюции. Ошибки, допущенные нами на первоначальном этапе выращивания этих организмов, будут со временем исправлены в процессе увеличения их разнообразия и распространения в космосе.

Для адаптации земных организмов к условиям жизни в космосе необходимо преодолеть три принципиальных барьера. Нужно научиться жить и быть счастливым при g-нуле, T-нуле и P-нуле, что означает: при нулевой гравитации, нулевой температуре и нулевом давлении. Улучше всего, по-видимому, справиться с g-нулем, хотя мы еще полные невежды в том, какие опасности для физиологии здесь скрыты. Уметь дело с T-нулем в принципе просто, хотя на практике это может оказаться гораздо сложнее. мех и перья обеспечивают теплоизоляцию в вакууме даже лучше, чем в воздухе или в воде. Приспособленные к космосу живые существа должны научиться компенсировать потери энергии за счет излучения с поверхности их тел с помощью обмена веществ и поглощения солнечных или звездных лучей. Вероятно, потребуется активный контроль излучающих поверхностей. Но низкая температура окружающей среды скорее облегчит регуляцию внутренней температуры живого существа, чем затруднит. Легче сохранить тепло на Плуtone, чем удерживать холод на Венере. И если виды научатся удерживать тепло на Плуtone, они смогут удерживать его почти в любом месте Вселенной. Главное новшество, которого требует адаптация жизни к T-нулю, заключается в том, что растения, как и животные, должны остаться теплокровными. Кажется, только благодаря историческому курьезу естественная эволюция жизни на Земле создала теплокровных животных прежде, чем были продуцированы теплокровные растения. Лишь из-за этого упущения в царстве растений мы и видим берега нашего арктического океана редко заселенными белыми медведями, а не густо покрытыми живыми теплицами. Теплокровное растение, создающее для себя живую теплицу с такой же

естественностью, как медведь выращивает на себе мех, а кит — жир, могло бы быстро разрастись на равнинах Плутона.

Но наиболее важная и трудная часть в приспособлении жизни к космическим условиям — это адаптация к P-нулю. Только приспособясь к нулевому давлению, научившись существовать в вакууме, жизнь сможет освободиться от тесной и душной тюрьмы космических капсул и скафандров. Переход жизни из воздуха в вакуум — такой же фундаментальный и раскрепощающий шаг, каким был полмиллиарда лет назад выход наших прародителей из воды на воздух. Я не претендую на детальное понимание проблем адаптации. Я не смог бы определить необходимые условия так, чтобы инженерам-генетикам оставалось бы только сесть и начать строить последовательности аминокислот в ДНК, а затем ввести их в хромосомы и получить, скажем, картофель, приспособленный к P-нулю. Лучшее, что я могу сделать, — это процитировать непризнанного в свое время Константина Циолковского, который понимал всю важность проблемы существования жизни при P-нуле уже тогда, когда в 1895 г. он опубликовал свою книгу «Грезы о земле и небе» в провинциальном русском городе Калуге. Цитируемый отрывок — диалог между Циолковским и спутником, который сопровождает его в путешествии по Солнечной системе:

«В этих удивительных существах животное соединяется в одно целое с растением, и потому такое существо может быть названо животнo-растением...

—... Не горячись, лишь объясни, каким образом твои существа не иссохнут, как мумии...

— Это просто: кожа их покрыта стекловидным слоем, довольно мягким и тонким, но абсолютно непроницаемым для газов, жидкостей и других летучих тел и потому предохраняющим животных от всяких материальных потерь... Поверхность тела с небольшими крылообразными придатками, освещенными солнцем, служит лабораторией для приготовления силы и жизни. Если в среде тяжести такие придатки могут быть обременительными, то в пространстве, свободном от нее, они не заметны и при поверхности в несколько тысяч квадратных метров...

— Стой! А как же они, твои животнo-растения, будут без воздуха общаться между собою, обмениваться идеями?

—... Разве мы обмениваемся мыс-

лями только при посредстве звука, голоса? А книги, письма? Нечто подобное, но гораздо более совершенное и натуральное, служит им для их сообщения; на одной из видных частей тела, сквозь его прозрачную покрывку, как в камере-обскуре, играет ряд живых картин, следуя течению мыслей существа и точно их выражая; зависит это от прилива подкожных жидкостей разных цветов в чрезвычайно тонкие сосуды, которые и вырывают ряд быстро меняющихся и легко понятных картин¹⁶.

На этом месте я покину Циолковского, мечтавшего о небесных существах, которые общаются друг с другом посредством великолепного языка красок. Эту мечту делает особенно трогательной то, что сам Циолковский из-за глухоты был лишен возможности обычного общения со своими собратьями. Для глухого человека естественные каналы связи — письмо и телевидение, но не радио.

Циолковский мог бы сказать о себе то, что сказал о себе в 1826 г. английский министр иностранных дел Дж. Кэннинг, когда он порвал с альянсом реакционных монархических правительств в Европе и признал независимость новых латиноамериканских республик: «Я смотрю на Вест-Индию и призываю новый мир восстановить равновесие в старом»¹⁷. Циолковский вызвал к жизни новый мир космической биологии, в котором изобретенные им космические ракеты — лишь средство к достижению цели, для восстановления равновесия между живым и неживым в старом мире естественной космологии, равновесия, которое было нарушено в тот момент, когда Ньютон отправил самую спекулятивную свою рукопись на чердак. Ньютон изгнал жизнь из космоса. Циолковский указал нам путь, чтобы вновь вернуть ее туда. Ньютон был унификатором, Циолковский — диверсификатором. Если мы стремимся добиться сбалансированного отношения ко Вселенной, нам надо прислушаться к ним обоим.

ЗАКОНЫ КОСМИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ

В оставшейся части статьи я допускаю, что жизнь способна решить технические проблемы самоадаптации к g-нулю, T-нулю

и P-нулю. Я допускаю, что жизнь способна освоиться в любом уголке Вселенной, так же как она освоилась в любом уголке нашей планеты. Мне хотелось бы теперь перейти от качественных утверждений к количественной оценке потенциальных возможностей жизни во Вселенной. Для количественной оценки, даже на том зачаточном уровне, какого я могу надеяться достигнуть, требуется некоторая степень абстракции. Для того чтобы получить количественные оценки, не зависящие от случайности места и времени, нужно дать абстрактное описание жизненных процессов, свободное от механических и химических деталей. Мое рассуждение будет основываться на фундаментальном предположении о природе жизни: сущность жизни связана с организацией, а не с субстанцией. Я предполагаю, что мой разум существует благодаря тому, что молекулы в моей голове упорядочены, а не благодаря составу самих молекул. Если справедливо такое предположение, то логично представить себе жизнь, независимую от плоти и крови и воплощенную в системах сверхпроводящих контуров или межзвездных пылевых скоплений.

Позвольте мне теперь заключить мои допущения в точную количественную форму. Я называю допущение, что жизнь можно описать абстрактно, гипотезой абстрактности, которая гласит, что каждое живое существо характеризуется числом Ω , представляющим собой меру сложности данного существа. Чтобы измерить Ω , нам не нужно ничего знать о внутреннем строении этого существа. Ω можно определить, наблюдая за поведением и взаимодействием живого существа с окружающей средой. Ω — это количество энтропии, произведенной существом в процессе обмена в течение времени, которое оно затрачивает на элементарный ответ на раздражение. Под элементарным ответом я подразумеваю простое действие, например движение в ответ на толчок или крик в ответ на удар. Если количество энтропии выразить в битах информации, Ω станет безразмерной величиной. Для человека Ω составляет примерно 10^{23} , что является грубой оценкой количества энтропии, которое мы создаем, чтобы просто что-либо сделать. Вероятно, не случайно, что Ω оказывается также равной числу макромолекул в человеческом теле. Но, согласно гипотезе абстрактности, мы можем делать общие утверждения о жизни, не зная ничего о ее молекулярной структуре, используя внешне измеряемую Ω как доста-

¹⁶ Циолковский К. Э. Грезы о земле и небе. На Весте. М., 1959, с. 40—42.

¹⁷ Canning G. — In: Melfternich's Europe, 1813—1848. N. Y., 1968, p. 139—143.

точное описание сложности этой структуры. Сложность — величина экстенсивная, т. е. сложность группы веществ есть сумма сложностей индивидуумов этой группы. Сложность, которой может достигать жизнь в данной окружающей среде, в конечном счете, пропорциональна потребляемому количеству пригодного для использования вещества.

В дополнение к гипотезе абстрактности я делаю еще более сильное допущение, которое я называю гипотезой адаптивности. Гипотеза гласит, что, имея достаточное количество времени, жизнь приспособится к любой окружающей среде. Это некоторое преувеличение истины. Но интересно для начала проверить идеальный случай полной приспособляемости. Практические ограничения и оговорки можно всегда внести потом. Тогда формально гипотезу адаптивности можно представить следующим образом. Предположим, что мы имеем две среды А и В с достаточными запасами вещества и энергии, но с различными температурами, давлением, химическим составом и т. д. Если живое существо сложности Ω может существовать в А, тогда эквивалентное существо той же сложности Ω может существовать в В. Слово «эквивалентное» означает, что поведение существа в В имеет те же черты, что и существа в А. Если одно разумно, в такой же мере разумно и другое. Если одно обладает сознанием, то и другое обладает таким же сознанием. Если одно из них может разговаривать со своими друзьями о содержании своего сознания, другое опишет эквивалентным языком субъективно идентичное сознание.

Гипотезы абстрактности и адаптивности обладают некоторым подобием с первым и вторым законами термодинамики. Они суть утверждения качественного характера, но при этом они дают основу для количественной теории, позволяющей оценить возможности жизни во Вселенной. Я разработал начала этой теории и изложил их в нескольких лекциях, которые год назад прочел в Нью-Йоркском университете. Не пытаясь приписывать этим размышлениям больше достоинств, чем в них содержится, я относился к ним скорее как к работе в области научной фантастики, нежели как к серьезному вкладу в науку. К моему удивлению, сотрудники Нью-Йоркского университета взяли и опубликовали текст этих лекций в «Reviews of Modern Physics». Так, космическая экология получила официальное признание, и физики могут теперь развлекаться ею, не опасаясь отлучения или

потери профессионального статуса. Я не буду обременять читателей математическими деталями этой теории. Кто интересуется уравнениями и количественными результатами, может найти их в «Reviews of Modern Physics»¹⁸. Я изложу лишь очень краткие выводы.

Главная теорема космической экологии: при адаптации живого организма данной сложности к различным условиям окружающей среды скорость метаболизма энергии изменяется пропорционально квадрату температуры. Факт, что расход энергии изменяется пропорционально квадрату температуры, имеет важные следствия. Он подразумевает, что холодная среда более благоприятна для сложных форм жизни, чем горячая. Жизнь, в конце концов, есть упорядоченная форма вещества, а низкая температура благоприятствует порядку. В конечном счете, жизнь меньше зависит от количества получаемой энергии, чем от отношения сигнал — шум. Чем холоднее среда, тем ниже фон, тем более экономно жизнь может использовать свою энергию.

Как далеко может продвинуться жизнь, зависит не только от способности к биологической адаптации, но также и от физической космологии. Если физическая Вселенная ограничена в пространстве и времени, возможная сфера жизни также конечна. В этом случае, как описывает Дж. Уилер, Вселенная, начавшая свое существование с грандиозного взрыва, закончит его грандиозной катастрофой. Эта катастрофа — коллапс в огненной смерти, когда небо становится все горячее и горячее, пока оно, наконец, не обрушится на нас и не загонит нас в пространственно-временную сингулярность с бесконечной температурой. Ничто живое не переживет такую катастрофу. Если наша Вселенная конечна, тогда жизнь будет иметь время только на то, чтобы распространиться в космосе, прежде чем наступит неумолимый коллапс. Если это наша судьба, то жизнь такова, какой описал ее поэт А. Хаусман:

Прибрежный чист песок.
Пока закат далек,
На нем могу писать
Иль крепость воздвигать.
Но где слова той силы,
Чтоб их волной не смыло,
Где стены и реду,
Что нас переживут?¹⁹

¹⁸ Dyson F. — Rev. Mod. Phys., 1979, v. 51, p. 447.

¹⁹ Hausman A. More Poems. N. Y., 1936, p. 64. Перевод М. А. Смондырева.

Если же мы живем в открытой Вселенной, бесконечной в пространстве и времени и продолжающей расширяться в будущее без конца, тогда жизнь стоит перед перспективой медленного замерзания, а не быстрого сгорания. По мере расширения Вселенная постоянно остывает и запасы свободной энергии постепенно уменьшаются. Для многих людей такое будущее бесконечного льда кажется еще более мрачным, чем огненный катаклизм. Но законы космической экологии позволяют рассматривать такую перспективу в совершенно другом свете. Если гипотеза адаптивности правильна, то очевидно, что для жизни предпочтительнее лед, а не пламень. В расширяющейся Вселенной жизнь, по мере приближения эры холода, может постепенно приспособиться, постоянно подгоняя свой энергетический обмен к понижающейся температуре окружающей среды. Поскольку мы предполагаем идеальную приспособляемость, скорость энергетического обмена будет падать пропорционально квадрату температуры. В результате, в расширяющейся Вселенной организмы любой степени сложности смогут жить вечно, используя конечный запас энергии. По мере падения температуры пульс жизни будет биться все медленнее, но никогда не остановится.

Недавно мои коллеги, теоретики в области физики элементарных частиц, обнаружили серьезные причины для того, чтобы считать, что вся материя, возможно, нестабильна. Согласно последним теоретическим моделям, ядра всех атомов исчезнут, превратившись в позитроны, фотоны и нейтрино за период времени порядка 10^{33} лет. Реальность такого всеобщего распада материи в излучение сейчас можно подвергнуть экспериментальной проверке. В течение нескольких лет мы должны будем узнать наверняка, стабильна материя или же нет. Если эксперимент покажет, что материя нестабильна, то через 10^{33} лет жизнь столкнется с некоторыми тяжелыми проблемами. 10^{33} лет могут показаться нам очень долгим сроком, но перед лицом вечности это лишь мгновение. Если Вселенная бесконечна, история жизни будет в самом начале своего развития, когда ее существованию станет угрожать исчезновение вещества. Это будет серьезный кризис. Я не знаю, сможем ли мы жить без протонов. Но я не вижу оснований даже в этом случае считать ситуацию безнадежной. Если гипотезы абстрактности и адаптивности правильны, формы жизни и разума должны быть доступны для переноса без потерь

из одной среды в другую. После исчезновения протонов у нас еще останутся электроны, позитроны и фотоны, и невещественная плазма так же хорошо, как плоть и кровь, сможет служить носителем структур нашей мысли. Вероятно, наилучшей из возможных вселенных будет Вселенная, постоянно заставляющая преодолевать препятствия, Вселенная, где выживание возможно, но не слишком легко. Если оптимизм — философия людей, которые приветствуют трудности, тогда имеет смысл быть оптимистами.

Открытия последних десятилетий в области физики элементарных частиц заставляют нас обратить особое внимание на концепцию нарушения симметрии. Развитие Вселенной с момента ее зарождения выглядит как непрерывная последовательность нарушений симметрии. В момент своего возникновения при грандиозном взрыве Вселенная абсолютно симметрична и однородна. По мере остывания в ней нарушается одна симметрия за другой, что создает возможности для существования все большего и большего разнообразия структур. Феномен жизни естественно вписывается в эту картину. Жизнь — это тоже нарушение симметрии. В первичном однородном океане нечто дифференцировалось в клетки и в простейшие организмы; в хищников и жертв. Дальнейшая дифференциация однородной популяции человекообразных обезьян привела к возникновению языков, культур, искусств, наук и религий. Каждый раз, когда нарушалась симметрия, становились возможными новые уровни развития многообразия и созидания. Я думаю, и нашей Вселенной и жизни присуще то, что процесс увеличения многообразия не имеет конца.

Даже если будущее жизни бесконечно, то мое время и терпение читателей имеют предел. Я нарисовал розовую картину мироздания, картину неограниченного разнообразия, где воля одерживает верх над судьбой. В реальном мире, конечно, судьба обуздывает волю, так же как воля торжествует над судьбой. Чтобы предостеречь мои оптимистические грезы в надлежавшей перспективе, я вновь процитирую то же самое письмо Эйнштейна Юлиусбургеру, с которого я начал: «Человек остывает быстрее, чем планета, на которой он живет»²⁰.

Перевод Н. В. Горской

²⁰ Albert Einstein, the Human Side..., p. 82.

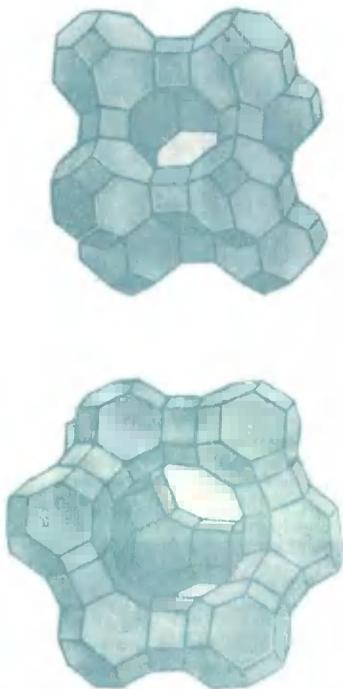
Вскипающие камни

С. И. Шуменко,
доктор геолого-минералогических наук

Харьковский государственный университет

Цеолиты (от греч. ζεῶν — киплю и λίθος — камень) — это группа минералов и искусственных соединений, обладающих способностью вспучиваться при нагревании. И природные и искусственные цеолиты проявляют ионообменные и адсорбционные свойства, что позволяет использовать их в качестве молекулярных сит и катализаторов.

Цеолиты относятся к классу алюмосиликатов. В основе их структуры — объемный каркас из кремнекислородных и алюмокислородных тетраэдрических группировок, связанных между собой либо через общие кислородные атомы, либо через промежуточные катионы (чаще всего Na^+ , Ca^{2+} , K^+). По структуре и химическому составу цеолиты очень близки к полевым шпатам. Но в отличие от них каркас цеолитов пронизан системой довольно широких каналов, в которые легко входят и так же легко выходят из них молекулы «цеолитной воды», причем существенных изменений решетки это не вызывает. Цеолиты — своего рода минеральная губка, активно поглощающая воду не только в жидком состоянии, но и из газовых смесей, в том числе из воздуха. Вместе с водой поглощаются различные катионы и даже целые молекулы. Поскольку ширина каналов у разных цеолитов различная, но строго опре-



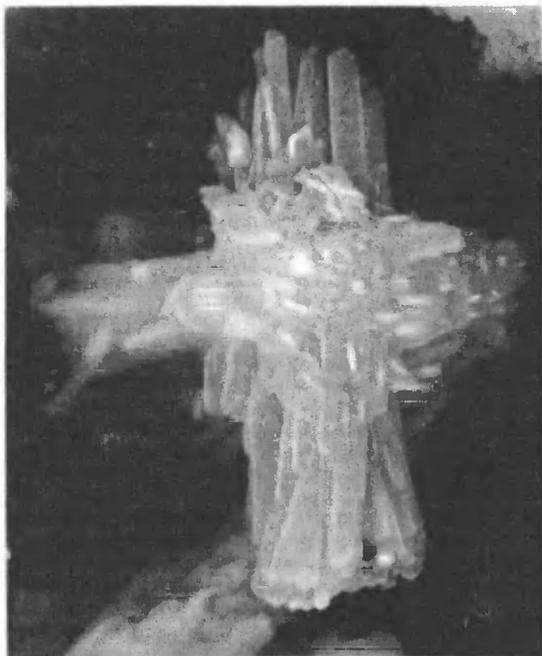
Полиэдрические модели элементарных ячеек цеолитов (по Мейеру, 1968): вверху — синтетический цеолит «А», внизу — природный цеолит фожазит. Центры тетраэдрических группировок SiO_4 и AlO_4 каркаса цеолитов совпадают с углами многогранников (полнэдров). На моделях хорошо видны полые каналы структур.

деленная, они обладают избирательной сорбционной способностью. Вследствие этого цеолиты могут играть роль молекулярных сит.

Цеолиты известны геологам уже более двухсот лет, но долгое время они привлекали лишь минералогов и коллекционеров. Водяно-прозрачные,

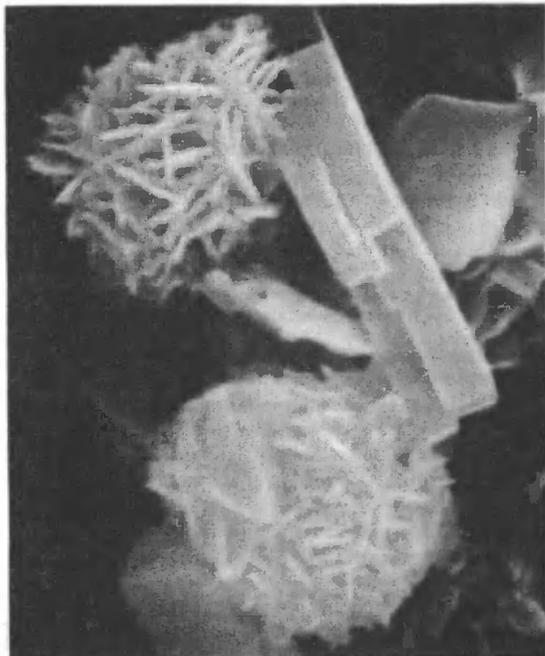
снежно-белые и нежноокрашенные кристаллики цеолитов или их агрегаты можно встретить в гидротермальных жилах вулканических районов. Однако крупных скоплений в этих жилах они не образуют. Это обстоятельство, а также недостаток сведений о физико-химических свойствах цеолитов привели к тому, что эта группа минералов долгое время считалась практически бесперспективной. Даже в послевоенные годы, когда промышленность стала использовать синтетические соединения, часто являющиеся аналогами минералов, исследователь природных цеолитов рисковал заслужить от коллег упрек в «излишнем академизме». Между тем еще в конце прошлого века после океанологической экспедиции английского научного судна «Челленджер» стало известно, что цеолиты не всегда образуют эффектные кристаллы и друзы, что гораздо шире они распространены в глубоководных осадках Мирового океана в виде микроскопических кристалликов калий-натриевого цеолита — филлипсита.

После второй мировой войны рассеянные микрокристаллики цеолитов были обнаружены в различных типах осадочных пород, в почвах, корках выветривания, в осадках озер засушливых районов. И истинное феноменальное стало открытие в последние 15—20 лет целого ряда крупных промышленных месторождений цеолитов, запасы которых исчисляются сотнями тысяч тонн. Эти месторождения связаны с измененными вулканогенными толщами — туфами, в которых зачастую содержится до 80—90% цеолитов. Может показаться странным, что такие крупные скопления цеолитов обнаружены лишь в последние годы, од-



Характерный крестообразный сросток кристаллов филлипсита из дольных осадков Средиземного моря в районе вулкана Стромболи. Увел. в 2300 раз.

Здесь и далее фото автора.



Кристалл клиноптилолита с наростами на него карнасыми сферами SiO_2 (тридимит — кристобалит) из меловых пород района г. Курска. Увел. в 9000 раз.

нако нужно иметь в виду, что их кристаллики имеют размеры в тысячные или, в лучшем случае, сотые доли миллиметра и совершенно неразличимы не только визуально, но даже при небольших микроскопических увеличениях.

Крупные месторождения природных цеолитов обнаружены в Японии, США, во многих районах, примыкающих к Средиземноморью (Альпийский складчатый пояс), а также у нас в стране в Закарпатье, в Крыму, на Кавказе, в Туркмении, на Камчатке и в ряде других районов.

В настоящее время природные и искусственные цеолиты насчитывают несколько десятков структурных типов и модификаций. Наиболее важны с прикладной точки зрения клиноптилолит, морденит, шабазит и эрионит. Эти цеолиты являются новым типом минерального сырья, о котором 15—20 лет на-

зад геологи и не помышляли. У нас в стране обнаружены промышленные месторождения двух первых минералов. Особенно распространен клиноптилолит. Он замещает частички вулканического стекла в мощных многометровых пластах туфов, протянувшихся на километры. Таблитчатые кристаллики клиноптилолита образуют микродрузы и ультрамикроскопические агрегаты, которые иногда трудно различить даже с помощью электронного микроскопа. Морденит — волокнистый цеолит, встречающийся в виде удлинненно-призматических, игольчатых и спутанно-волокнистых микроскопических кристаллов. Иногда он образует настоящий минеральный «войлок».

Область применения природных цеолитов чрезвычайно широка, поэтому ограничимся лишь некоторыми конкретными примерами.

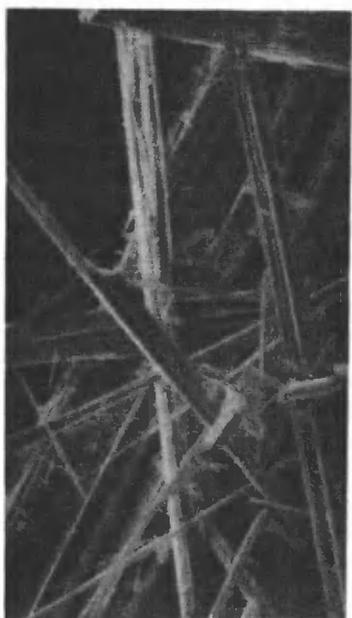
Природные цеолиты и их модифицированные формы оказались активными катализаторами ряда процессов. В первую очередь, это относится к крекингу углеводородов и, в частности, нефти. Цеолиты успешно применяются для дегидратации спирта. Клинноптилолит и шабазит применяются для очистки и глубокой осушки газов (например, при удалении из воздуха сернистых соединений, на металлургических заводах, при производстве серной кислоты, а также при сжигании больших партий мусора). Отдельные заводы снабжены системой цеолитовых фильтров, которые не только очищают продукты сгорания перед выбросом их в атмосферу, но и способствуют накоплению отдельных их компонентов (например, метана) с целью утилизации. Клинноптилолит, морденит, эрионит и шабазит работают и как очистители го-



Почти мономинеральная клиноптилолитовая «руда» — цеолитизированный вулканический туф (месторождение Крайниково, Закарпатье). Увел. в 2500 раз.



Таблитчатые кристаллы клиноптилолита и игольчатые кристаллы морденита из цеолитизированного вулканического туфа (месторождение Дзегем, Грузия). Увел. в 2700 раз.



Волокнистые кристаллы эрионита (Грузия). Увел. в 130 раз.



«Войлок», состоящий из волокон морденита (месторождение Сохирница, Закарпатье). Увел. в 4000 раз.

родских и промышленных сточных вод, в том числе радиоактивных. В США, например, клиноптилолит используют для извлечения радиоактивных цезия и стронция из отходов ядерного производства. Весьма перспективным оказывается применение цеолитов для удаления аммония из сточных вод и бассейнов. Морденит и клиноптилолит используют при получении кислорода и азота, при обогащении воздуха кислородом. Природные цеолиты используют для очистки и осушки минеральных масел, а также как наполнители бумаги, резины и пластмассы. Диетическая добавка к корму птиц и животных клиноптилолита способствует улучшению их роста и повышению веса. Тот же клиноптилолит может применяться как дезодорирующее средство на животноводческих фермах и птицефабриках, снижая заболеваемость и падеж животных и птицы. Внесение определенных доз клиноптилолита в почву содействует их конденсированию, повышает эффективность применяемых удобрений и тем самым способствует повышению урожая сельскохозяйственных культур.

Во всех перечисленных областях природные цеолиты могут успешно конкурировать со своими синтетическими аналогами, при этом стоимость их значительно (в среднем в 10 раз) ниже. О масштабах применения природных цеолитов можно судить по цифрам, приведенным в 1976 г. на международном совещании в Таусоне (США) по Японии, которая является одним из пионеров использования этого сырья. В этой стране для добавок в питание животных ежегодно расходуется 4800—6000 т цеолитов и примерно такое же количество для улучшения свойств почв, в рыбном хозяйстве — 2400—4800 т, для наполнения бумаги — 39 600—48 000 т, на другие промышленные нужды — 9600—12 000 т. Естественно, что синтетическое производство не в состоянии полностью обеспечить потребности хозяйства, и природные цеолиты с их удивительными свойствами становятся одним из важных видов полезных ископаемых.

Парадоксы парадоксального сна

В. М. Ковальзон



Владимир Матвеевич Ковальзон, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР, нейрофизиолог. Занимается проблемами физиологии сна.

Проблема сна привлекает внимание представителей самых разных наук, что подтверждается постоянным нарастанием количества публикаций в этой области: если в течение 1968 г. таких работ вышло 500, то в 1975—1000, в 1978—1500, а в 1979—уже 2000! Издается международный специализированный журнал 'Sleep', справочно-библиографический ежегодник по проблеме сна, функционируют 3 международных научных общества, регулярно собираются европейские и всемирные конгрессы по изучению сна... Все это говорит о формировании самостоятельной мультидисциплинарной «науки о сне» (сомнологии, или гипнологии), которая пытается ответить на вопрос «для чего нужен сон», или, другими словами, «что лежит в основе биологической потребности во сне?» Ответ на этот вопрос с позиций здравого смысла: «сон нужен для отдыха» — приводит к цепочке новых вопросов. Что такое отдых? Почему человеку для отдыха недостаточно просто полежать? Почему этот отдых столь продолжителен? Почему он столь сложно организован? Почему, отдыхая во сне, необходимо выключить зрение, слух и другие системы органов чувств, что для многих животных связано с риском «быть съеденным»? Следовательно, сложно организованный сон у всех теплокровных животных обеспечивает им какие-то видовые

преимущества для выживания, которые перевешивают этот риск «быть съеденным». В чем же эти преимущества могут заключаться?

В настоящее время, несмотря на интенсивную разработку проблемы сна, мы не можем даже приблизительно ответить на эти вопросы. Однако именно отсутствие ответов и делает эту область исследований, развитие которой может привести к новым фундаментальным представлениям о принципах работы мозга, все более интересной.

Так что же такое сон? Сон — это особое генетически обусловленное состояние организма всех теплокровных животных; это очень сложный процесс, состоящий из двух фаз: фазы медленного (медленно-волнового) сна, а также фазы быстрого, или парадоксального, сна¹. Последнее состояние получило свое название из-за парадоксального несоответствия между поведенческим покоем с пониженной реактивностью и выключением мышечного тонуса, с одной стороны, и характером колебаний биоэлектрической активности мозга, типичным для активного бодрствования, с другой. Чередование этих фаз и стадий образует циклы сна: у человека,

¹ См. подборку статей «Наука о сне сегодня»: Природа, 1977, № 8, с. 28.

например, отмечается 3—5 циклов за ночь. Такой процесс невозможно адекватно описать каким-то одним термином (отдых, торможение, состояние пониженной возбудимости и т. п.). Особенно трудно поддается пониманию фаза парадоксального сна, которая занимает по времени четверть всего ночного сна человека, ею заканчивается каждый цикл сна. Она представляет собой состояние исключительно высокой степени возбуждения многих систем организма, за исключением мышечной, которая, наоборот, полностью подавлена. Именно в этой фазе человек, в основном, видит сны. Она обнаружена у всех исследованных видов теплокровных животных — птиц и млекопитающих — за двумя лишь исключениями: примитивного яйцекладущего млекопитающего ехидны и высокоспециализированных к жизни в воде млекопитающих — дельфинов². Само существование этой фазы, пожалуй, разбивает все попытки объяснить сон как отдых организма. Имеются достаточно серьезные основания рассматривать парадоксальный сон в известных пределах как самостоятельное, третье состояние организма, «особый вид бодрствования, обращенного внутрь», биологический смысл которого совершенно не ясен.

Как же подойти к его анализу? Обычно для того, чтобы выявить значение какого-либо физиологического органа или функции, применяют классический метод удаления (повреждения): удалите в эксперименте данный орган или нарушите данную функцию — и вы, возможно, поймете, для чего он (она) служит. В науке о сне вот уже 20 лет широко используют поведенческий метод лишения (депривации) парадоксального сна, так называемый метод малых площадок. Подопытное животное (белая крыса, мышь или кошка) помещается на небольшой островок, окруженный водой (часто для этой цели служит доннышко перевернутого цветочного горшка). Животное приспособляется спать на этом островке «медленным» сном, но каждый раз, когда наступает фаза парадоксального сна, мышцы полностью расслабляются и животное сваливается в воду. Хотя использование этого метода не позволяет лишать животное парадоксального

сна полностью, но при удачном подборе размера площадки по отношению к размеру тела животного можно уменьшить длительность парадоксального сна в четыре-шесть раз, а медленного — лишь в два раза. Таким образом, крыса в этом эксперименте спит парадоксальным сном вместо положенных 3 ч всего лишь около 30 мин в сутки.

Несомненно, что пребывание на такой площадке, в течение нескольких суток — весьма суровое испытание для животного, несмотря на то что его поят и кормят. При этом надо учитывать, что скорость протекания жизненных процессов у мелких млекопитающих так велика, что несколько суток для них равносильны нескольким нашим неделям или даже месяцам! И действительно, было обнаружено, что с лишением крыс парадоксального сна у них развивается сильнейший стресс — фактор, побочный и крайне нежелательный.

Для контроля был предложен следующий выход: животных сажают на площадки большего размера. Показано, что в этих условиях у животных за несколько суток развивается такой же стресс, как и в эксперименте на малых площадках, а доля парадоксального сна снижается менее чем в два раза, так как животные приспособляются в этих условиях спать и медленным и парадоксальным сном. Таким образом, сопоставляя эффекты, полученные в этих двух опытах, выявляют результат лишения собственно парадоксального сна. Однако такой контроль вызывает много сомнений и возражений; ведь неизвестно, суммируются ли эффекты стресса и лишения парадоксального сна, или они перемножаются, взаимно усиливая друг друга?

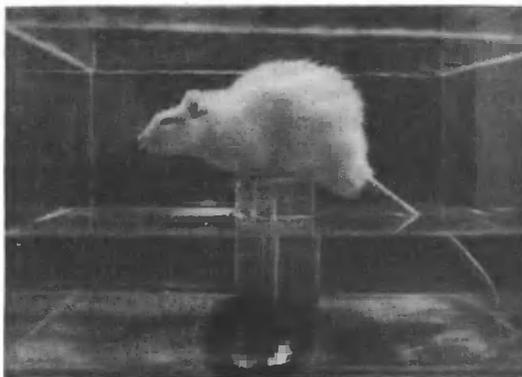
Несмотря на эти и другие возражения, метод малых площадок из-за простоты и доступности получил чрезвычайно широкое распространение. Было обнаружено, что лишение животных парадоксального сна методом малых площадок приводит к повышению эмоциональности, агрессивности и т. д.³

Мы решили предложить более «деликатный» способ лишения животных парадоксальной фазы сна⁴. Рассуждали при

² Ковальзон В. М. — Успехи соврем. биол., 1976, т. 81, вып. 3, с. 379; Супин А. Я., Мухаметов Л. М. и др. Электрофизиологические исследования мозга дельфинов. М., 1978; Mukhametov L. M., Supin A. Ya., Kovalzon V. M., Tumskey E. V., Tsi-bul'ski V. L. Sleep in bottlenose dolphins. — In: Sleep 1978. Basel, 1980, p. 429.

³ Vogel G. W. A motivational function of REM sleep. — In: The function of sleep. N. Y., 1979, p. 233.

⁴ Ковальзон В. М., Цибульский В. Л. — Физиол. ж. СССР, 1978, т. 64, № 8, с. 1082; Kovalzon V. M., Tsi-bul'ski V. L. REM sleep deprivation without stress in rats. — In: Sleep 1978. Basel, 1980, p. 411.



Метод малых площадок.

этом примерно так. Суммарная продолжительность парадоксального сна снижается из-за того, что животное пробуждается каждый раз, когда эта фаза наступает. Но ведь любой вид пробуждения в конечном счете вызван тем, что возбуждающий импульс по нервам достигает небольшой образования в глубине головного мозга — так называемой ретикулярной (сетчатой) формации ствола. Что если раздражать непосредственно ретикулярную формацию в самом начале каждого периода парадоксального сна? Быть может, такие пробуждения позволят снизить продолжительность парадоксального сна без значительных побочных последствий?

Для проверки этого предположения крысам вводили тонкие проволочные электроды в ретикулярную формацию ствола, в кору и другие отделы мозга, а также в мышцы шеи для регистрации их электрической активности. Двое экспериментаторов, сменяясь поочередно, четверо суток непрерывно днем и ночью сидели возле животных, наблюдая за записью. Крысы в это время находились в своих клетках в относительно комфортабельных условиях; они были подсоединены к тонкому гибкому кабелю, к которому были заранее приучены и не обращали на него внимания. Как только регистрирующий прибор отмечал появление хорошо известных первых признаков парадоксальной фазы сна, дежурный экспериментатор включал пачку коротких импульсов тока прямо в ретикулярную формацию мозга животного, пробуждая его. В ходе опыта животные нормально ели, пили, умывались, играли, шерсть у них лоснилась, вес не снижался, — словом, внешне они ничем не отличались

от контрольных животных. Однако продолжительность парадоксального сна у них была снижена в 3 раза, в то время как медленного — только на 10%. Как только заканчивался очередной период медленного сна, начиналась серия учащающихся попыток перехода в парадоксальный сон, так что временами экспериментатор едва успевал нажимать кнопку стимулятора. Количество таких попыток нарастало день ото дня, повышался и порог пробуждения.

По окончании опыта часть животных забивали для определения величины разившегося стресса по классическим признакам (так называемая триада Селье): увеличению веса надпочечников, снижению веса вилочковой железы и появлению язв желудка. Однако никаких признаков стресса у этих крыс обнаружено не было; более того, вес надпочечников был даже немного (но статистически достоверно) меньше, чем у контрольной группы крыс. Эмоциональность животных измерялась в двух хорошо изученных и распространенных тестах: «открытое поле» и самораздражение.

Открытое поле — это круглая площадка диаметром около метра, разделенная на небольшие квадраты. Крысу помещают в центр круга на 2 мин и подсчитывают, сколько раз она пересечет квадраты, уместся, поднимется на задние лапы, а также количество ее уриаций и дефекаций. Как показали многочисленные исследования, все эти показатели в совокупности хорошо отражают эмоциональное состояние животного. Для изучения самораздражения животным вживляют электроды в определенные участки в глубине мозга, так называемые «центры удовольствия». Такие животные быстро обучаются сами включать слабый ток, раздражающий эти центры, и могут часами и сутками заниматься самораздражением. Количество включений крысой тока в единицу времени и порог самораздражения являются мерой эмоциональности животного. Однако никаких существенных изменений поведения животных в этих двух тестах после четырехсуточного лишения парадоксального сна «деликатным» методом не отмечалось.

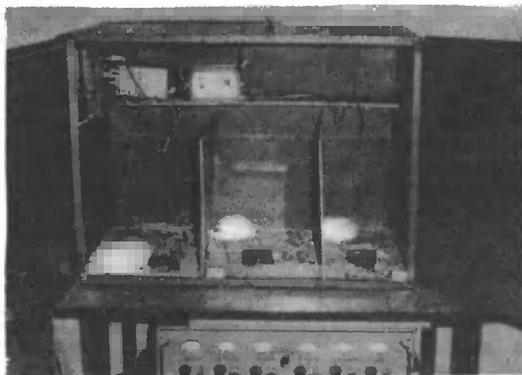
В то же время у крыс, которые исследовались методом малых площадок, были обнаружены все явления, уже хорошо известные из литературы: у них сильно увеличивались надпочечники и уменьшались вилочковые железы, появлялись язвы желудка, они сильно теряли в весе, шерсть у них становилась взъерошенной, они выглядели измученными и больными, у них

наблюдались выраженные признаки повышения эмоциональности в открытом поле и учащение самораздражения.

Третью группу животных подвергали стрессорным воздействиям (обездвиживанию и переохлаждению) без нарушения сна. Это приводило к развитию выраженной стресс-реакции, но не влияло существенно на эмоциональное поведение.

Таким образом, лишение крыс парадоксального сна, осуществленное двумя совершенно различными методами, привело к различным, во многом даже противоположным результатам. «Деликатный» метод не давал никаких признаков стресса и не изменял эмоциональности животных, а метод малых площадок вызывал сильный стресс и значительно повышал эмоциональность животных. Следовательно, снижение парадоксального сна само по себе не могло быть причиной изменения эмоционального поведения крыс после пребывания на площадке. Необходимо, правда, оговориться, что при «деликатном» методе животным удалось сохранить значительную долю парадоксального сна (около трети) за счет его дробления на очень короткие фрагменты. Неизвестно, каков был бы результат, если бы удалось полностью устранить парадоксальный сон. Однако эффективность депривации на площадке не намного выше, а разница в эмоциональном поведении огромна.

Интересно отметить, что сильное «давление» парадоксального сна в ходе его «деликатной» депривации, о чем свидетельствовали три группы фактов: повышение порога пробуждения, учащение попыток перейти в эту фазу, а также увеличение количества парадоксального сна в первые сутки после окончания его депривации — не сочеталось со сдвигами в поведении животных. Этот отрицательный результат можно считать до некоторой степени парадоксальным и неожиданным. Получается, что только сочетание депривации со стрессом оказывает существенное влияние на поведение, которое принято в литературе толковать как следствие лишения парадоксального сна. Скорее всего, истинной причиной изменений эмоционального поведения служат именно стрессорные воздействия, а сокращение парадоксальной фазы как бы переводит организм в состояние повышенной восприимчивости к таким воздействиям. Тогда саму парадоксальную фазу сна можно рассматривать, вероятно, как антистрессорный механизм, повышающий устойчивость организма к сильным внешним воздействиям и обес-



Крысы во время опыта с использованием «деликатного» метода.

печивающий нормальное поведение животных в условиях стресса.

Вернемся теперь к результатам «деликатной» депривации парадоксального сна. Как уже указывалось, у крыс этой группы было обнаружено небольшое уменьшение надпочечников и тенденция к увеличению вилочковой железы при отсутствии язв желудка, т. е. как бы парадоксальное «улучшение» состояния по сравнению с контрольными животными. В условиях относительного комфорта опыта этот сдвиг можно интерпретировать как результат устранения какого-то внутреннего стрессового фактора, которым является, очевидно, парадоксальный сон. Чрезвычайная активация различных систем мозга и всего организма в целом, за исключением мышечной системы, во время этой фазы дает основание говорить о парадоксальном сне, как о внутреннем стрессоре организма.

Таким образом, в нашем исследовании выявились две новые функциональные роли парадоксального сна: внутреннего стрессора и антистрессора. Как же совместить две противоположные функции? Мы полагаем, что центральные механизмы стресса и парадоксального сна оказывают друг на друга, с одной стороны, тормозные воздействия, а с другой — совместное активирующее влияние на систему гипоталамус — гипофиз — кора надпочечников. В контрольных группах крыс отсутствуют внешние стрессорные факторы и функционирует система парадоксального сна, что поддерживает постоянно внутреннюю среду организма и нормальное поведение в тестах. Наоборот, в группе крыс, где применяли метод малых площа-

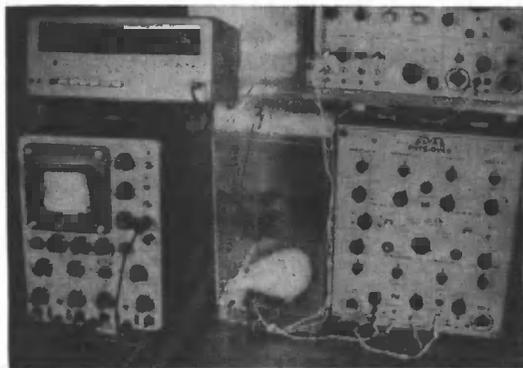


Крыса в «открытом поле».

док, внешние воздействия активируют механизмы стресса, а парадоксальный сон подавлен. В результате развивается стресс-реакция по Селье и изменяется поведение.

У группы крыс, где использовали «деликатный» метод лишения парадоксального сна, были ослаблены взаимодействия между системами стресса и парадоксального сна, как возбуждающие, так и тормозные, вследствие чего угасала активность системы стресса, а эмоциональное поведение не изменялось. Наоборот, у крыс после сильных стрессовых воздействий без нарушения парадоксального сна все связи были активированы. По-видимому, именно тормозное влияние со стороны парадоксального сна предотвращало нарушение эмоционального поведения в ответ на применение сильных внешних воздействий у этих крыс. Разумеется, данная схема не претендует на объяснение всех существующих противоречий. На самом деле взаимоотношения между системой парадоксального сна и механизмами стресса значительно более сложные. Например, хронический стресс не тормозит парадоксальный сон, а парадоксальный сон не ослабляет острый стресс.

Интересно сопоставить наши данные с результатами зарубежных исследований по лишению сна у испытуемых-добровольцев⁵. Для того чтобы разбудить человека, спящего в тихой комнате, его не надо сбрасывать на пол: достаточно назвать его по имени. Действительно, чем более тщательно контролировались в подобных опытах все побочные факторы, чем более деликатной, щадящей становилась методика их проведения, тем меньшими наруше-



Тестирование методом самораздражения.

ниями в организме и психике испытуемых сопровождалось лишение сна. Разумеется, все испытуемые жаловались на нарастающее желание спать, утомление, дискомфорт, некоторую раздражительность, но в общем-то этим все и ограничивалось. Никаких заметных изменений интеллекта, памяти, эмоциональности не наблюдалось даже после нескольких суток лишения сна у здоровых испытуемых. Из всего этого можно сделать вполне определенный вывод: если лишение сна и стресс сочетаются — есть признаки нарушения работы мозга, если есть только лишение сна — такие признаки отсутствуют.

На сегодня широко распространены представления о том, что лишение парадоксального сна само по себе нарушает эмоциональное поведение животных, а значит парадоксальный сон играет существенную роль в нормальном поведении, в том числе и у человека⁶. Результаты наших исследований заставляют прийти к несколько другому выводу, а именно: отсутствие парадоксального сна влияет на поведение, изменяя устойчивость животных к стрессовым воздействиям. При отсутствии таких стимулов влияние депривации на поведение и организм может быть незаметным. Таким образом, предлагаемая нами гипотеза о роли парадоксального сна заключается в том, что он управляет устойчивостью организма, его реактивностью по отношению к сильным внешним воздействиям.

⁵ Akerstedt T. et al. — Sleep, 1980, v. 3, № 1, p. 23.

⁶ Латаш Л. П., Ковальзон В. М. — Ж. эволюц. биохим. и физиол., 1975, т. 11, № 1, с. 11.

Разумеется, данная гипотеза носит сугубо предварительный характер. Она ведь основана на результатах, полученных в опытах с лишением парадоксального сна, т. е. на косвенных данных. Цель настоящей статьи — привлечь внимание эндокринологов, биохимиков, патофизиологов и других специалистов по стрессу к проблеме парадоксального сна. Ответ же на вопрос, «для чего нужен парадоксальный сон?», будет получен, можно думать, когда появятся методы регистрации интимных молекулярно-биологических процессов, происходящих в мозге в этом состоянии. По мнению некоторых авторитетных специалистов, функция парадоксального сна может быть связана с синтезом белков-

регуляторов (пептидов регуляторов), играющих особую роль во внутримозговых процессах⁷, или, добавим мы, во взаимоотношениях мозг — тело. Постепенно из хаоса разрозненных и противоречивых данных проступают контуры будущей синтетической молекулярно-биологической теории, которая позволит с единых позиций понять сон, стресс и эмоциональное поведение.

⁷ Drucker-Colin R. et al. Polypeptide regulation of REM sleep. — In: *Frontiers in Hormone Research*. Basel, 1980, v. 6, p. 138; Jouvet M. Does a genetic programming of the brain occur during paradoxical sleep? — In: *Cerebral correlates of conscious experience*. Amsterdam, 1978, p. 245.

ПРИРОДА

ИССЛЕДОВАНИЕ СНА

Сущность сна, несмотря на все усилия науки, применявшей всевозможные методы для его исследования, еще далеко не объяснена. Недавно Лежандр и Пьерон сообщили в Парижской Академии наук результаты своих шестилетних исследований. Эти ученые производили опыты более чем на 60 животных. Для определения причин обычного здорового сна необходимо у наблюдаемого животного возможно больше повышать потребность сна. Поэтому приходилось не давать испытываемым животным спать до тех пор, пока потребность сна не станет у них непреодолимой.

В среднем это продолжалось 8—10 дней. Лучше всего, конечно, было бы производить подобные опыты с обезьянами, как животными наиболее сходными с человеком. Но опыты с обезьянами не удавались, так как было трудно заставить их не спать продолжительное время; вследствие этого пользовались собаками. Ночью собак заставляли гулять; днем они могли сидеть, но не лежать. Собаки чувствовали себя при этом поразительно хорошо. Ни аппетит, ни вес их не уменьшались, температура и дыхание оставались нормальными. Равным образом не наблюдалось никаких болезненных физиологических изменений. В конце концов непреодолимая потребность сна сказывалась в том, что собаки не были уже в состоянии, даже в течение нескольких секунд, держать глаза открытыми; ноги их подкашивались. Были необходимы очень сильные раздражающие

средства, чтобы на несколько мгновений возбудить их внимание.

Гистологическое исследование показало, что у животных наступали изменения нервных клеток лобных извилин мозга, тогда как другие нервные клетки оставались без изменения. Изменения состояли в том, что тела их уменьшались, деформировались и в них появлялись пустоты, так называемые вакуоли. Ядро часто смещалось с середины и раздвигалось. Если после этого животным позволяли достаточно долго спать, то все эти изменения исчезали. Таким образом, впервые была установлена локализация потребности сна.

Наиболее же интересные результаты опытов заключаются в следующем: состояние сонливости можно привить одной собаке от другой. Если здоровой собаке ввести немного кровяной сыворотки, взятой от другой собаки, с сильной потребностью сна, то у здоровой появляются в той же группе клеток мозга вышеописанные изменения, хотя и в ослабленном виде. Если прививка сделана в достаточных дозах, то по прошествии пол часа у собаки появляется состояние усиливающегося утомления, после чего через короткое время наблюдается непреодолимая потребность сна. Из этого наблюдения Лежандр и Пьерон заключают, что утомление вызывает образование яда. Дальнейшие опыты показали, что этот яд разрушается при нагревании до 65°.

Этими исследованиями положено основание объяснения загадки сна, и можно надеяться, что наука скоро даст ее полное разрешение.

Нефть баженовской свиты

С. Г. Краснов, Б. А. Лебедев



Сергей Гелиевич Краснов, кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института геологии и минеральных ресурсов Мирового океана Производственного геологического объединения «Севморгеология» Министерства геологии СССР. Область научных интересов включает вопросы геологии и нефтегазоносности черносланцевых толщ.



Борис Андреевич Лебедев, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного нефтяного научно-исследовательского геологоразведочного института (ВНИГРИ) Министерства геологии СССР. Занимается разработкой литологических критериев оценки нефтегазоносности осадочных бассейнов Сибири.

Прошло чуть более 10 лет с тех пор, как в баженовской свите Западной Сибири были открыты залежи нефти. Сейчас баженовская свита — один из активно исследуемых и даже «модных» объектов севера Тюменской области.

Для специалистов по нефтяной геологии этот объект стал настоящей сенсацией. Дело заключается не в широких масштабах нефтенакпления и даже не в том, что одна из скважин, пробуренных в породах баженовской свиты, дала фонтанный приток нефти, рекордный по дебиту для всего региона. Уникальность баженовской свиты определяется, прежде всего, необычным типом нефтяных скоплений. Нефтематеринские толщи здесь не только генерируют нефть, как в других

районах, но и содержат ее внутри себя. Иными словами, баженовские нефтематеринские толщи являются также и нефтеносными.

Чтобы понять своеобразие нефтяных залежей баженовской свиты, рассмотрим их на фоне других залежей нефти и газа Западной Сибири. Все они устроены достаточно просто. Основная часть залежей размещается в структурных и структурно-литологических ловушках¹. Коллекторами для них служат юрские

¹ Ловушкой в нефтегазовой геологии называют некоторый объем горной породы, в котором изменение проницаемости в направлении возможного движения нефти и газа обеспечивает их накопление.

и меловые песчаные отложения слабо деформированного осадочного чехла, покрывающего Западно-Сибирскую плиту. Относительно маломощная (от 10 до 45 м) баженовская свита занимает площадь около 1 млн км² в центральной части этой плиты. Свита имеет волжско-берриасский возраст, т. е. она разграничивает юрские и меловые толщи. Слагающие ее породы близки по типу к так называемым черным сланцам. Их отличительная черта — высокое содержание сапропелевого органического вещества, придающего породе характерную темную окраску. Органическое вещество вместе с терригенными компонентами (главным образом глинистым материалом) и аутигенными (отложившимися на месте своего образования) минеральными компонентами, представленными кремнеземом, карбонатами, пиритом, и составляет основу баженовских пород.

Осадки, давшие начало этим своеобразным породам (их не совсем правильно называют «битуминозными аргиллитами»), отлагались в наиболее глубокой части морского бассейна, занимавшего в период максимума позднеюрской — раннемеловой трансгрессии территорию нынешней Западно-Сибирской равнины².

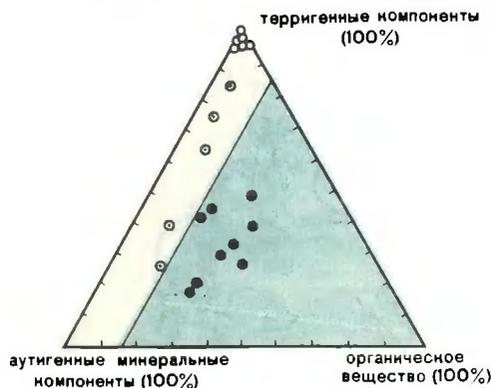
Долгое время баженовская свита изучалась геологами в двух аспектах. Во-первых, как флюидоупор, препятствующий вертикальной миграции нефти и газа. Во-вторых, как типичная нефтематеринская толща, высокий генерационный потенциал которой обусловлен большим количеством и благоприятным для генерации нефти составом содержащегося в ней органического вещества.

Весь мировой опыт нефтегеологических исследований учит, что нефть, будучи весьма подвижной, никогда не залегаєт на месте своего образования и мигрирует, как правило, вверх по разрезу (впрочем, применительно к баженовской свите рассматривались и модели нисходящей миграции). И хотя еще в 1961 г. Ф. Г. Гурари высказал предположение о возможном скоплении нефти в трещинах внутри самой свиты, первые фонтаны нефти, полученные из баженовских отложений в конце 60-х годов, стали подавляющего большинства специалистов неожиданными.

Фонтанный приток нефти пытались

² Подробнее см.: Марковский Н. И. Палеогеография Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. — Природа, 1981, № 11, с. 34.

объяснить плохой изоляцией пород баженовской свиты от соседних продуктивных пластов. Высказывались также предположения, что в баженовской свите заключены прослои «обычных» пород-коллекторов и т. д. От всех подобных объяснений пришлось впоследствии отказаться: нефть поступала к забоям скважин непосредственно из нефтематеринских баженовских пород. Более того, ряд фактов, и в первую очередь устойчивый в течение ряда лет высокий приток нефти, свидетельствует, что нефть содержится



Диаграмма, отражающая состав пород баженовской свиты. Окрашенное поле соответствует «битуминозным» породам, которые содержат свыше 6% органического углерода.

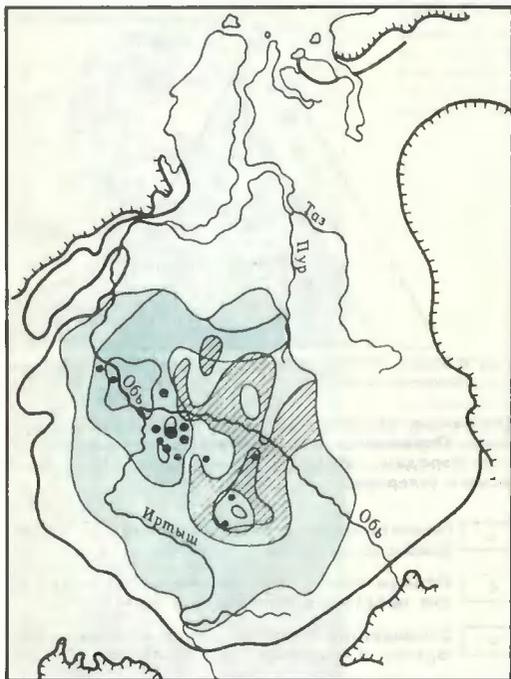
- Глинисто-кремнисто-сапропелевые породы баженовской свиты
- Породы глинистых, кремнистых и известковых прослоев в баженовской свите
- Сероцветные глинистые породы, обычные для юрских и меловых толщ Западной Сибири

не столько в трещинах, сколько в плотной «матрице» породы. Существование раскрытых горизонтальных трещин на глубине 2,5—3 км, где залегаєт продуктивная баженовская свита, невозможно. Емкость же трещин других типов, как показала в своих работах Т. В. Дорофеева, мала для получения имеющихся притоков нефти. Она составляет всего лишь 0,3% объема баженовских пород.

Каким же образом аргиллитоподобные, явно «неколлекторские» по облику породы баженовской свиты могут содержать и отдавать нефть? Ответ на этот вопрос получен только сейчас, после десяти с лишним лет интенсивных исследований, проводимых Ф. Г. Гурари, В. М. Добры-

ним, Т. В. Дорофеевой, А. Э. Конторовичем, С. Г. Неручевым, И. И. Нестеровым, а также многими другими геохимиками и геологами-нефтяниками. За прошедшее время в баженовской свите обнаружено немало залежей, однотипных с Салымской. Природа этих залежей оказалась значительно сложнее, чем предполагалось вначале.

Рассматривая схематическую карту размещения нефтяных залежей в баженовской свите, можно сразу отметить две важные закономерности. Первая:

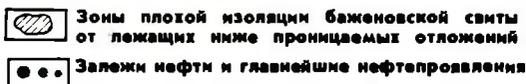
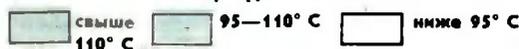


Схематическая карта нефтеносности баженовской свиты Западной Сибири. Залежи нефти размещаются в тех зонах, где баженовские толщи изолированы от лежащих ниже проницаемых пород, а пластовые температуры максимальны.

Границы:



Температурные зоны:



все сколько-нибудь значительные залежи размещаются в тех зонах, где баженовские породы подстилаются толщей сероцветных глин мощностью не меньше 5—10 м. Это обстоятельство, неоднократно отмечавшееся разными исследователями, особенно важно потому, что для нефтяных залежей баженовской свиты характерны аномально высокие пластовые давления, превышающие гидростатическое давление на соответствующих глубинах в 1,5—2 раза. В находящимся под баженовскими залежами юрских породах тоже встречаются залежи нефти, но давления здесь существенно ниже. Отсюда следует вывод: нефть в баженовской свите «своя», она образовалась за счет органического вещества самой свиты³. Сохраняется же в баженовских породах нефть только в тех случаях, когда она не может мигрировать в нижележащие проницаемые пласты (миграция вверх по разрезу, как правило, еще более затруднена).

Вторая закономерность касается температурного контроля нефтеносности. Известно значение температуры как главного фактора нефтеобразования. Это ее свойство распространяется и на баженовскую свиту. Действительно, максимальная степень преобразования органического вещества, максимальное содержание в нем родственных нефти битумоидных соединений, а в составе последних — наибольшая доля углеводородов, наблюдаются именно в тех районах, где пластовые температуры в осадочном чехле оказываются особенно высокими. Наиболее значительные и продуктивные нефтяные залежи — Салымская и Верхне-Салымская — совпадают с самыми «горячими» зонами чехла. Все остальные достоверно установленные к настоящему времени залежи и нефтепроявления в пределах баженовской свиты также находятся в зонах, где температура не ниже 95°С.

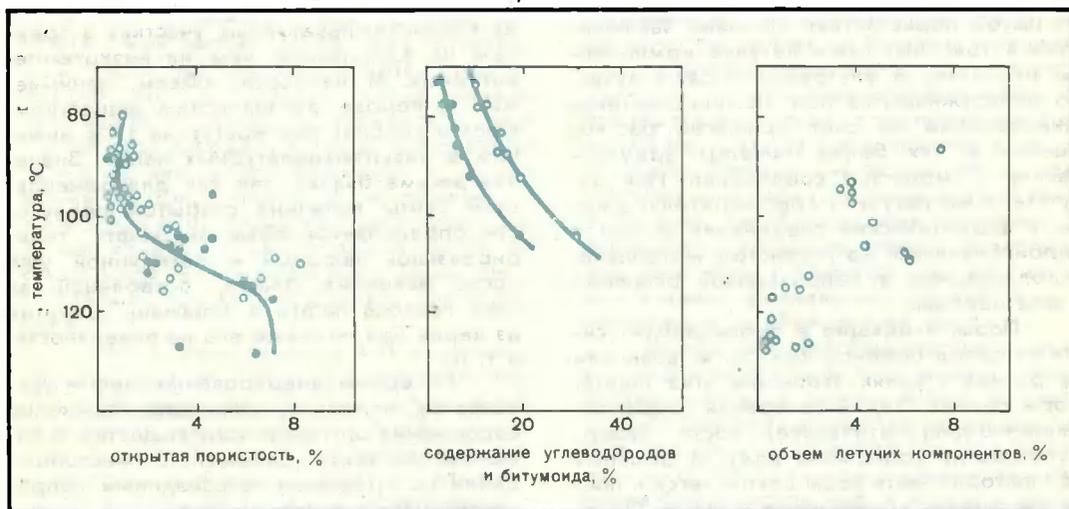
Таким образом, нефть генерируется и накапливается здесь в наиболее прогретых и хорошо изолированных зонах. Рассмотрим изменения, происходящие при этом с самой породой.

Важнейшим параметром, характеризующим коллекторские свойства породы,

³ Этот вывод подтвержден результатами сравнительного изучения изопреонидных соединений в нефтях и в органическом веществе окружающих пород, исследованием изотопного состава углерода и другими методами.

является открытая пористость⁴. В баженовской свите величина открытой пористости зависит от пластовой температуры. При температуре 100—120°C происходит резкое увеличение открытой пористости, соответствующее переходу от непродуктивных и малопродуктивных скважин «холодных» участков к высокопродуктивным скважинам «горячих». Значит, наличие в высокотемпературных зонах баженовской свиты промышленных залежей нефти связано не только с усиленной ее генерацией *in situ*, но и с резким улучшением

го преобразования⁵ не способна к миграции. Вся эта масса как бы заблокирована малоподвижными асфальто-смолистыми компонентами тех же битумоидов. На более высокой стадии катагенеза, соответствующей по температуре скачкообразному увеличению открытой пористости, «блокировка» нарушается. Происходит это за счет преобразования асфальто-смолистых соединений, связанного с генерацией новых порций углеводородов. Изолированные друг от друга поры сливаются в проницаемую поровую систему, ко-



Зависимость открытой пористости — слева, содержания углеводородов (I) и хлороформного битумоида (II) — в центре, а также объема, занятого летучими компонентами, — справа, от пластовой температуры в баженовской свите. Скважины с высоким дебитом обозначены звездочками, со средним и низким дебитом — сплошными кружками, «сухие» скважины — полыми кружками.

качества коллектора. Для обычных нефтяных залежей — это вещи, практически не связанные между собой. Но с баженовскими залежами дело обстоит иначе.

Как экспериментально доказала С. Н. Белецкая, в породах, обогащенных органическим веществом (в том числе в баженовской свите), основная масса битумоидов, включая и углеводороды, до определенного этапа их катагенетическо-

торую принято называть открытой. Находящиеся в порах углеводороды вместе с новообразованными обретают подвижность, а следовательно — и способность вступать в скважины.

С преобразованием структуры порового пространства на температурном рубеже 100—120°C связаны и некоторые другие изменения в породе. Так, по данным А. И. Шапиро, в породе резко снижается содержание летучих компонентов — низкокипящих углеводородов до C_6 — C_8 включительно⁶. Очевидно, летучие не могут сохраниться в открытой поровой системе — они теряются породой задолго до анализа. Чтобы понять, как себя ведут летучие компоненты, А. Р. Беликова ис-

⁴ Открытая пористость — отношение объема сообщающихся пор к общему объему породы, выраженное в процентах.

⁵ Катагенетическое преобразование нефти заключается в изменении ее состава в результате температурного воздействия, вызванного увеличением глубины, на которой нефть залегает.

⁶ Результаты балансовых расчетов пористости также указывают на резкое снижение объема, занимаемого в породе летучими компонентами.

Таблица

Участки	К-во скважин	К-во образцов	Температура, °С	Содержание орг. угле-рода, мас. %	Объем орг. веще-ства, %	Открытая пористость, %
Низкотемпературные	9	132	106	10,3	29,2	2,9
Высокотемпературные	5	45	127	9,1	25,8	6,7
Разность			21	-1,2	-3,4	+3,8

следовала баженовские породы люминесцентным методом. Образцы с «нераскрытой» поровой системой оказались переполненными люминесцирующим флюидом, в противоположность образцам с высокой открытой пористостью. Причина заключается в том, что сами летучие компоненты невидимы в ультрафиолетовых лучах, но обнаруживаются под люминесцентным микроскопом за счет примесей растворенных в них более тяжелых ароматических и смолистых соединений. При отсутствии же летучего «растворителя» смолы и ароматические соединения остаются сорбированными на глинистом материале, «спрятанными» в непрозрачной основной массе породы.

Поры, входящие в проницаемую систему пород баженовской свиты, возникли на разных стадиях эволюции этих пород. Поры ранних стадий генерации (седиментационно-диагенетические) после своего образования содержали воду. В обычных коллекторах часть воды сохраняется и после насыщения коллекторов нефтью. Однако в поровом пространстве баженовской свиты (и это еще одна ее характерная особенность!) такой остаточной воды практически нет. Причина состоит в гидрофобности баженовских пород, связанной с высоким содержанием в них органического вещества. Как показал В. М. Добрынин, вода в баженовской свите обладает большей фазовой проницаемостью, чем нефть, и выталкивается за пределы свиты уже первыми порциями генерированного углеводородного флюида.

И все же основу порового пространства составляют, по-видимому, поры катагенетического происхождения. Особенно важно, что сама генерация нефти, сопровождаемая разрушением твердого органического вещества, приводит к высвобождению некоторого объема, который может быть занят новообразованными углеводородами. Реальность такого процесса подтверждается закономерностями количественного распределения органического вещества в породах Салымского месторождения.

Зная содержание органического углеорода, легко подсчитать объем, занимаемый в породе органическим веществом. Такой расчет показывает (см. табл.), что открытая пористость баженовских пород на высокотемпературных участках в среднем на 3,8% выше, чем на низкотемпературных. И наоборот, объем, занимаемый в породе органическим веществом, в зонах высоких температур на 3,4% ниже, чем в низкотемпературных зонах. Значения весьма близки, так как для баженовской свиты величина открытой пористости определяется объемом нефти, генерированной породой и потерянной уже после вскрытия пласта, потерянной за счет притока нефти в скважину, отжатия из керна при подъеме его на поверхность, и т. п.

Потерями генерированной нефти объясняется, вероятно, некоторое снижение содержания органического вещества, в баженовской свите Салымского месторождения по сравнению с соседними непродуктивными площадями.

Органическое вещество в баженовских породах часто образует тончайшие прослои и микролинзы, поэтому разрушение его может приводить к рассланцеванию породы, «расклеиванию» ее по слоистости. Подобный рассланцованный керн весьма типичен для баженовской свиты.

Таким образом, основная особенность баженовской свиты, резко выделяющая ее среди других нефтеносных толщ, заключается в том, что генерация нефти и формирование коллекторов составляют здесь единый процесс, зависящий от катагенетического преобразования органического вещества и контролируемый главным образом пластовой температурой.

С залежами в сланцах, обогащенных органическим веществом, нефтяникам иногда приходилось сталкиваться и раньше. Давно известны, например, (и в основном выработаны) небольшие залежи нефти в неогеновых сланцах Монтерей в Калифорнии. В настоящее время эксплуатируются залежи газа в девонских черных сланцах Аппалачей. Однако во всех

подобных толщах (по крайней мере, в достаточно хорошо изученных) углеводороды заключены в трещинах пород. Баженовская же свита — первый отмеченный геологами пример тесной связи между образованием нефти и ее накоплением.

Согласно осадочно-миграционной теории нефтеобразования, представляющей дальнейшее развитие «органической» концепции происхождения нефти, принятой подавляющим большинством геологов, нефтью называют «выделившиеся в отдельную фазу жидкие гидрофобные продукты процесса фоссилизации органического вещества, захороненные в субаквальных условиях»⁷. Для баженовской нефти такой процесс выделения, называемый первичной миграцией, отсутствовал, потому что до вскрытия пласта скважиной нефть в основном занимала в нем место разрушившейся части породившего ее органического вещества. В то же время находка нефти в ассоциации с материнским органическим веществом дает нагляднейшую иллюстрацию одной из основ осадочно-миграционной теории. Действительно, исключение подтверждает правило!

Если строго следовать определению, то надо признать, что из баженовских пород добывается не обычная нефть, а так называемая микронепфть — сугубо автохтонный («местный»), не мигрировавший углеводородный флюид, в тех или иных количествах присутствующий практически в любой глинистой толще, но нигде не имеющий промышленного значения и извлекаемый из пород только лабораторными методами. В баженовской свите тоже не все количество имеющей микронепфти можно отождествить с «настоящей» нефтью. На большей части территории Западной Сибири, в тех районах, где пластовые температуры в баженовской свите не достигли величин, необходимых для формирования коллекторов, объект остается «сухим», не дает притоков, несмотря на значительное содержание углеводородов в породе. Кроме того, существуют непроницаемые баженовские породы с нераскрытым еще поровым пространством. Они служат обычной «покрышкой» для некоторых юрских залежей, а также ограничивают по простираню залежи в самой баженовской свите. В итоге, одна и та же по первичному составу порода для одних и тех же залежей оказывается

не только производящей нефть и ее вмещающей, но и изолирующей!

Детальное исследование баженовской свиты представляет большой интерес для теории нефтеобразования, в первую очередь — для уточнения температуры и давления, при которых осуществляется генерация и катагенез нефти. Здесь легко изучать материнское органическое вещество (в большинстве других случаев даже достоверно «опознать» органическое вещество, генерировавшее какую-либо конкретную нефть, — трудная задача). Залежи баженовской свиты находятся в несколько различных температурных условиях, хотя окружающие их породы практически неизменны по составу на больших площадях. Это позволяет проследить, как меняется нефть и материнское органическое вещество в зависимости от температуры. В довершение к этому расположенные на периферии Западно-Сибирской плиты зоны постепенного перехода баженовской свиты в обычные, не обогащенные органическим веществом, глинистые породы более мелководных фаций благоприятны для изучения влияния фациальных условий осадконакопления на образование нефти.

Важно, что катагенетические изменения нефти могут быть прослежены в баженовской свите «в чистом виде». В других случаях они накладываются на миграционные процессы и конечная картина бывает запутанна. Следовательно, сравнивая изменения баженовской нефти и нефти других продуктивных горизонтов Западной Сибири, можно изучать и воздействие самых разных процессов на ее состав.

Там, где геологические условия не обеспечили надежной изоляции баженовской свиты от песчаных коллекторов, нефть отжималась в них. Интересная задача — найти и идентифицировать эту «баженовскую» по происхождению нефть в других продуктивных пластах. Тогда, зная условия нефтеобразования в баженовской свите, со временем можно будет прогнозировать открытие новых залежей не только в ней самой (что уже делается), но и в смежных толщах. Наконец, необходимо произвести оценку перспектив нефтеносности пород, аналогичных породам баженовской свиты, в других регионах.

Итак, построена общая модель образования и накопления нефти в баженовской свите. Но это лишь первый этап изучения объекта. Дальнейшие работы могут способствовать решению многих важнейших теоретических и практических вопросов нефтяной геологии.

⁷ Вассоевич Н. Б. — Известия АН СССР, сер. геол., 1967, № 11, с. 152.

ДОСТУПНО И ТОЧНО О ГЛАВНОМ В МИРОВОЙ НАУКЕ

Международному ежегоднику «Наука и человечество» исполняется 20 лет. Он выпускается с 1962 г. Всесоюзным обществом «Знание» и Академией наук СССР в издательстве «Знание».

Издание быстро завоевало популярность не только в нашей стране, но и за рубежом. Об этом говорит постоянный рост числа его читателей, появление аналогичных ежегодников в странах социалистического содружества на немецком, польском, чешском, словацком, венгерском языках. Все они безвозмездно пользуются материалами советского ежегодника и сами пополняют общий редакционный портфель статьями авторов из своих стран.

Девиз ежегодника — «Доступно и точно о главном в мировой науке». В популярной форме известные ученые из разных стран мира рассказывают о достижениях и проблемах развития современной науки.

Одна из важных сквозных тем ежегодника — достижения советской науки, занимающей ведущие позиции в развитии важнейших областей знания. Большое место отводится публикациям, освещающим вопросы развития науки в условиях развитого социализма, политике партии и правительства в решении задач ускорения научно-технического прогресса в нашей стране, быстрого внедрения в практику научных достижений.

Традиционная тема ежегодника — международное сотрудничество ученых. Авторы подчеркивают эффективность и выгоду совместных исследований, необходимость объединения усилий для решения научных проблем, для создания атмосферы доверия и взаимопонимания между народами.

В ежегоднике постоянно звучит тема ответственности ученых за предотвращение ядер-

ной войны, за использование результатов их работы в интересах мира, на благо всех народов.

За 20 лет существования ежегодника в нем выступило более 200 ведущих ученых нашей страны и около 200 крупнейших зарубежных ученых. Всех перечислить невозможно. Только в 20-й книге, которая вскоре выйдет в свет, помещены статьи таких авторов, как вице-президент АН СССР, председатель редакционной коллегии ежегодника академик А. А. Логунов, вице-президенты АН СССР академики Е. П. Велихов и В. А. Котельников, академики Н. Г. Басов, А. Ф. Белов, М. А. Марков, В. А. Энгельгардт, президент АН ГДР В. Шелер, космонавты Б. Фаркаш (Венгрия) и А. Томайос Мендес (Куба), директор Европейского бюро Всемирной организации здравоохранения Л. Капрно (Финляндия), председатель одной из комиссий КОСПАРа Д. Пейдж (Англия). Выступают ученые Болгарии, Польши, Чехословакии, Норвегии, США, Японии. Сам факт участия в издании представителей разных стран мира не только свидетельствует о высоком международном престиже советской науки, но и показывает возможности международного сотрудничества.

Редакционной коллегии и редакции «Природы» особенно приятно поздравить с юбилеем всех тех, кто причастен к созданию ежегодника, поскольку речь идет о родственном издании, реализующем те же принципы популяризации науки, что и наш журнал. Читатели «Природы» могут судить об этом и по двум помещенным ниже статьям, которые будут напечатаны в юбилейной книге ежегодника «Наука и человечество»: Б. Ф. Ломова «Принцип активности оператора в инженерной психологии» (сокращенный вариант) и Ф. Эгами (Япония) «О возникновении жизни в морской среде».



Принцип активного оператора в инженерной психологии

Б. Ф. Ломов



Борис Федорович Ломов, член-корреспондент АН СССР, член-корреспондент Академии педагогических наук СССР, директор Института психологии АН СССР. Занимается проблемами общей и инженерной психологии. Автор книг: *Человек и техника. Очерки инженерной психологии*. М., 1966; *Психологическая наука и общественная практика*. М., 1974; *Антиципация в структуре деятельности* (в соавторстве с Е. Н. Сурковым). М., 1980. В «Природе» опубликовал статью: *Психология: итоги, проблемы, эксперименты* (1981, № 2).

Инженеры, создающие новую технику, делают все, что в их силах, чтобы необходимые для управления этой техникой сведения отражались в показаниях приборов. Но как будут восприняты эти показания оператором, учитывается не всегда, да их и невозможно учесть, не зная закономерностей восприятия, внимания, памяти, мышления, динамики психических состояний человека. Так, уже в самую систему управления «закладывается» возможность человеческих ошибок. Очевидно, особенности человека нужно принимать в расчет с самого начала, на первых стадиях проектирования системы. На решение этой задачи и нацелена инженерная психология, изучающая процессы информационного взаимодействия человека и машины.

АНТРОПОЦЕНТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК — МАШИНА»

На первых порах общую схему системы «человек — машина» представляли себе так. Есть некий объект управления. Все перемены в нем улавливаются датчиками, сигналы от датчиков передаются на приборы, за которыми наблюдает человек. Человек воспринимает показания приборов, расшифровывает их и выполняет то или иное действие. Сигнал, возникающий в

результате этой реакции, поступает к управляемому объекту, изменяя его состояние. Новое состояние объекта вызывает новые сигналы и т. д. В этой схеме человек рассматривался как более или менее простое звено, и его поведение не выходило за рамки известного бихевиористского принципа «стимул — реакция». Основной задачей было «вписать» человека в контур технической системы управления. Исходя из этого его описывали то как «частотный фильтр», то как «линейный низкочастотный усилитель» и стремились прежде всего определить его «входные» и «выходные» характеристики, отыскивая по преимуществу их абсолютные значения, не зависящие от конкретных условий деятельности.

Это был машиноцентрический подход к анализу системы «человек — машина», подход «от машины — к человеку», видящий в симплификации (от лат. simplex — простой) труда основной путь согласования техники с человеком. В своей методологической основе он напоминал систему Тейлора, на которую в начале века ориентировалось конвейерное производство. В ходе исследований, проводившихся в русле машиноцентрического подхода, были получены некоторые полезные результаты. Но все они главным образом были связаны с частными вопросами — определением оптимальных размеров и форм шкал, поисками удобного начертания

букв и цифр, со всем тем, что более связано с отдельными особенностями восприятия, нежели со всей совокупностью факторов, влияющих на реальное управление реальными машинами.

С развитием инженерно-психологических исследований стала все больше обнаруживаться ограниченность машиноцентрического подхода. То, что получалось в эксперименте, далеко не всегда подтверждалось в практических условиях; то, что происходило в практических условиях, не укладывалось в прокрустово ложе машиноцентрических схем. Определяя, например, «пропускную способность» человека, т. е. скорость, с которой он перерабатывает информацию, его рассматривали как звено, выполняющее функцию канала связи. Но человек не всегда ведет себя так, как полагалось бы вести себя каналу связи. На его пропускную способность влияет и характер мотивации, и эмоциональное его состояние, и уровень работоспособности, и опыт, и множество других «переменных». Выступая в роли звена системы, человек остается человеком со всем присущим ему многообразием свойств. А раз так, то задачу исследования человека как оператора, и только как оператора, следует заменить задачей исследования оператора как человека.

Все эти соображения привели к пересмотру схемы «человек — машина». Стал формироваться новый, антропоцентрический подход к ее анализу — подход «от человека — к машине», опирающийся на понимание взаимоотношений человека и машины как взаимоотношений субъекта и орудий (средств) труда. С позиций этого подхода, принятого, кстати сказать, в советской инженерной психологии с самого начала, главным в описании системы «человек — машина» стала деятельность человека, рассматриваемая как основная составляющая всего процесса управления. Все прочие элементы системы подчинены ее структуре и ее целям.

В рамках антропоцентрического подхода схема «человек — машина» выглядит иначе, чем прежде. Есть некий объект управления. Цель деятельности человека состоит в том, чтобы перевести объект из одного состояния в другое или, напротив, удержать его в заданном состоянии, преодолевая внешние возмущения. На основе имеющейся в его распоряжении информации человек формирует образ того состояния объекта, которое должно быть достигнуто в результате его деятельности. Воспринимаемые сигналы, поступающие от

системы отображения информации, человек оценивает текущее состояние объекта, сличает его с этим образом, анализирует возможные способы деятельности, принимает решение и выполняет управляющее действие. Соответствующие сигналы изменяют состояние объекта, информация об этом изменении передается человеку, который оценивает, достигнута ли цель, и в зависимости от оценки либо прекращает деятельность, либо выполняет новое управляющее действие.

Человек в этой схеме по-прежнему звено системы, но звено особого рода, организующее всю систему и направляющее ее на достижение определенной, им же самим заданной цели. Именно на долю человека приходится постановка целей и частных задач, выполнение управляющих действий и оценка полученных благодаря им результатов. Технические же устройства, какими бы они ни были, это всегда лишь средства, которыми пользуется человек для выполнения действий.

Рассмотрим в качестве примера систему «летчик — самолет», наиболее обстоятельно изученную инженерной психологией. Именно на этой системе раньше всего отразились все пороки неупорядоченного информационного взаимодействия, что и заставило конструкторов еще на заре развития сверхзвуковой авиации обратиться за помощью к психологам. Специфика системы «летчик — самолет» заключается в том, что человек управляет сложным объектом, перемещаясь вместе с ним и испытывая на себе физические воздействия, связанные с изменением параметров среды. При этом взаимодействие летчика с самолетом осуществляется не только через приборы, но и непосредственно: вестибулярные, мышечные и другие ощущения дают ему дополнительные, а иногда и основные сведения о режиме полета.

Но специфика системы «летчик — самолет» этим еще не исчерпывается. Степень автоматизации процессов переработки информации и управления в ней может в течение одного полета претерпевать значительные изменения, причем в случаях отказа автоматики, к сожалению нередких, летчику приходится переходить на старые способы ручного управления и переходить без промедления. Все это вместе взятое делает систему «летчик — самолет» на редкость удобной моделью для изучения влияния автоматизации на активность человека-оператора, сравнивать уровень этой активности в автоматизированном и ручном

режиме пилотирования и судить о ее связи с эффективностью и надежностью работы.

Но может ли при таких тесных связях с управляемым объектом сколько-нибудь серьезно снижаться уровень активности человека? В том-то и дело, что связи эти из-за внедрения автоматике ослабевают самым катастрофическим образом. Управляя самолетом вручную, летчик не только воздействует на рули, но и непрерывно воспринимает поток мышечных импульсов, которые вместе с визуальными сигналами информируют его о поведении самолета и о результатах собственных движений. Этот поток и позволяет летчику ощущать свою связь, свою слитность с самолетом и составляет основу того, что пилоты называют «летным чувством». При переходе же на режим автоматического управления поток этот иссякает, и двигательный анализатор остается без работы. Происходит сенсорное обеднение той сложной нейродинамической системы в мозгу, которая занимается сличением, предвидением и выработкой коррекций, привычный механизм обратной связи утрачивает свое ведущее значение, а с ним утрачивается и готовность человека к эффективному выполнению своей основной функции в режиме автоматического полета — функции резервирования.

В специальных экспериментах было установлено, например, что после часового полета с автопилотом отклонения от заданных параметров в 1,5—2 раза выше, чем после часового полета с ручным управлением. Через полчаса после начала автоматического полета летчик тратит на обнаружение значимых отклонений на приборах в 5—10 раз больше времени, чем через полчаса после начала ручного пилотирования. И во всем виновато выключение двигательного анализатора.

В ручном режиме управление самолетом находится в постоянной зависимости от процесса переработки информации, процесс этот вовлечен в единую структуру сенсомоторных действий, которые при соответствующем навыке протекают неприметно. В автоматизированном режиме контролирование показаний приборов превращается в самостоятельное действие, которое должно регулироваться волевым усилием, специальной постановкой цели. Такая деавтоматизация навыка в условиях дефицита времени чревата неприятными последствиями.

Управление самолетом стало таким

сложным делом, что без автоматики уже не обойтись. При заходе на посадку по обычным приборам летчику приходилось непрерывно контролировать 5—6 параметров полета, переводя взгляд с прибора на прибор до 200 раз в минуту, да еще выполняя при этом массу специальных расчетов. От этой тяжелой и, естественно, не всегда безошибочной работы его освободили интегральные директорные приборы, на которые бортовое вычислительное устройство выдает летчику готовую команду: делай то-то и то-то. Взгляд летчика больше не метается по приборам, он устремлен на директорные индексы. Все в порядке, пока автоматика работает бесперебойно и не ошибается. Но вот из-за отказа вычислителя директорный прибор начинает выдавать ложные команды, противоречащие показаниям пилотажных приборов. Приборы эти находятся тут же, рядом с директорными индексами, но летчик не видит их показаний, не желает видеть — он просто заморожен своим автоматическим командиром. Заморожен потому, что в его деятельности произошла подмена цели. Прежде, когда он управлял по обычным приборам, цель состояла в том, чтобы выдержать режим полета, обеспечить соответствие текущих параметров заданным. Теперь она свелась к тому, чтобы выдержать заданное положение директорных индексов. Тот оперативный образ полета, который регулировал действия летчика, исказился до неузнаваемости, и из активного звена системы летчик превратился в пассивное. Активным звеном стал директорный сигнал.

В конце концов летчик понимает, что автоматика вводит его в заблуждение. Но сколько драгоценных секунд уходит на то, чтобы правильно оценить ситуацию и принять решение, скольких усилий стоит летчику восстановление той активности, без которой невозможно эффективное ручное пилотирование!

Передача автоматике управляющих функций на сложных этапах полета неизбежна. Но неизбежно ли снижение активности летчика? Неужели нельзя компенсировать нехватку информации, из-за которой это снижение и происходит? Прежде всего, можно сделать так, чтобы о неблагополучии в системе сообщал особый сигнал. Но не всякий сигнал дает желаемый эффект, выбору сигнала должны предшествовать тщательные психологические исследования.

На специальном имитаторе были изучены два варианта сигнализации об отказах автоматики. Первый был такой: на особом

табло зажигались лампочки с надписью, отсылавшей летчика к прибору, по которому он должен был контролировать режим и переходить на ручное управление. Во втором варианте лампочки с теми же надписями были встроены в приборы, к которым отсылала надпись. Второй вариант оказался эффективнее первого. Почему? Сигнальное значение у обоих одинаково, но время, истекшее до начала правильной двигательной реакции, было различным. Анализ движений глаз летчика показал, что при первом варианте он переводит взгляд на пилотажный прибор не сразу, а через директорный прибор. Взгляд перенесен, но пилотажный прибор еще молчит: из-за своей инерционности он не может выдать летчику необходимую для управления информацию одновременно с появлением сигнала. Но, вместо того чтобы дожидаться ее, летчик, как бы не поверив глазам своим, снова обращается к табло, окидывает взглядом другие приборы, затем начинает вмешиваться в управление, но не целенаправленно, а пробными движениями, словно проверяя правильность сигнала. Движения же эти только увеличивают отклонения от режима полета.

Иное дело второй вариант, где сигнал отказа объединен с практически полезным сигналом. Это объединение резко снижает интенсивность поисковых движений глаз, а число и длительность пробных движений сокращаются по сравнению с первым вариантом в три раза. Объединение не только экономит время на поиски, но и уменьшает потребность в дополнительной информации, помогает быстрее и вернее осмыслить сигнал, уменьшает операционную напряженность перехода от контроля к управлению. Летчик не совершает хаотических проб, а спокойно ждет развития ситуации — появления на приборе сигналов рассогласования и лишь после этого принимает решение. Благодаря совмещению в одном индикаторе двух сигналов повышается готовность летчика к действию и его надежность; уровень его активности адекватен его задаче.

Не меньшую пользу приносит и организация совместного управления, при которой летчик работает вместе с автопилотом. Благодаря автоматике летчик не так загружен пилотированием, как при ручном полете, но развитие событий не выходит из поля его внимания. Он может сравнительно надолго отрывать взгляд от пилотажных приборов, но ни качество пилотирования, ни качество выполнения дополнительных задач, например поиска наземных

объектов, от этого ничуть не страдает. И готовность летчика перейти в случае необходимости к ручному управлению не снижается. Секрет этой готовности в том, что структура информационного взаимодействия в системе «летчик — самолет» остается при совместном управлении почти такой же, как и при ручном. Периодическая коррекция работы автопилота сохраняет нейродинамическую зрительно-проприоцептивную¹ связь, необходимую для построения управляющих воздействий, сохраняет то активное состояние организма, которое служит основой для эффективного вмешательства в процесс и которое А. А. Ухтомский удачно называл оперативным покоем.

Это состояние было исследовано в целой серии экспериментов. Измерения показали, что на протяжении всего совместного полета у летчика сохраняется высокая «мышечная бдительность», постоянная готовность к действию двигательного анализатора. Об общей активности летчика свидетельствовала и устойчивость восприятия приборной информации: структура и частота перемещений взгляда между приборами была на 60-й минуте полета такой же, как и на 10-й. То, что за активностью перемещений взгляда кроется общая активность психических процессов, в первую очередь восприятия и внимания, подтверждает следующий эксперимент. На 30-й минуте смешанного полета экспериментаторы без ведома летчиков вводили отказы указателя скорости. Все летчики до единого обнаруживали изменения в показаниях прибора за время, не превышающее 5 секунд. Когда же аналогичные отказы вводились во время полностью автоматического полета, их обнаружение затягивалось до 160 секунд.

Активность человека, выполняющего в системе «человек — машина» функцию резервирования, можно повысить и соответствующей его подготовкой. Если у оператора нет четкого представления о принципах работы автоматических устройств, с которыми он имеет дело, в его отношении к ним может развиваться либо излишняя осторожность, приводящая к стремлению обойтись без них даже там, где они явно могут ему помочь, либо благодушная уверенность в их непогрешимости. Неуме-

¹ Проприоцепторы — концевые образования чувствительных нервных волокон в скелетных мышцах, связках, суставных сумках; раздражаются при сокращении, напряжении или растяжении мышц. — Прим. ред.

ние оценить возможности автоматики, особенно в ситуациях, не предусмотренных программой, неоправданное сужение или расширение сферы ее применения — все это порождает у оператора неуверенность в своих силах, повышенную напряженность и преждевременное утомление.

Психологи Н. Д. Завалова и В. А. Пономаренко, много лет занимающиеся исследованием системы «летчик — самолет», предприняли попытку повысить активность летчика в специальном «обучающем» эксперименте. Летчикам разъяснили принципы формирования интегрального директорного сигнала, продемонстрировали им относительную независимость показаний директорного индекса и справочных сигналов, анализировали вместе с ними признаки отказа вычислителя и автопилота. Перед летчиками ставилась сложная задача — обнаружить и опознать отказы разного вида и, если это возможно, использовать для управления исправные компоненты автоматики. Такое обучение сняло укоренившуюся было установку на то, что автоматика только упрощает работу и снимает ответственность человека за полет, и привило летчикам уверенность в своей способности в любом случае взять управление на себя. Зная, как устроена и как работает система автоматического управления, летчики с успехом дифференцировали разные виды отказов и, вместо того чтобы чуть что сразу отключать автоматику, как это было прежде, старались при частичных отказах использовать те ее звенья, которые могли работать. Благодаря этому точность заданных маневров при отказах повысилась в 1,5—3 раза.

ПРИНЦИП АКТИВНОГО ОПЕРАТОРА

На основе многочисленных экспериментов в советской инженерной психологии был сформулирован принцип активного оператора: при распределении функций между человеком и автоматом нужно всемерно добиваться того, чтобы человек был не пассивным придатком машины, а выполнял бы активную роль. Этот принцип органично вытекает из антропоцентрического подхода к системе «человек — машина», который в противовес подходу машиноцентрическому направлен не на симплификацию труда, а на гуманизацию техники, на то, чтобы максимально приспособить ее к человеку.

Чем полнее проектировщикам удается реализовать принцип активного оператора, тем выше качество работы системы.

Какой бы оптимальной с психологической точки зрения ни была сигнализация об отказах, она не решит проблемы, если оператор не будет знать о тенденциях в поведении управляемых объектов, если он не будет чуть-чуть впереди событий.

Совершенно очевидно, что принцип этот, как и антропоцентрический подход вообще, восторжествует тогда, когда всякая система «человек — машина» будет плодом самого тесного сотрудничества инженера и психолога. Сегодня при создании новой системы или при реконструировании старой психолог чаще всего выполняет роль консультанта. Но даже и в том случае, когда он выступает как полноправный соавтор, дело в конце концов сводится к тому, чтобы наилучшим образом организовать обслуживание техники. В проект вносятся поправки, иногда существенные; бывает, конструкторы, знакомые с идеями и рекомендациями инженерной психологии, реализуют их еще на стадии эскиза, но все это дает лишь половинчатый эффект, лишь приближает к оптимуму, ибо речь идет по преимуществу о проекте техническом, о проектировании машины. Между тем, подобно тому как инженер проектирует технические устройства и процесс их функционирования, так и психолог должен проектировать деятельность человека, который будет пользоваться этими устройствами. Более того, сами устройства должны создаваться с учетом проекта этой деятельности и тех условий, в которых ей предстоит протекать. Только тогда и будет достигнуто оптимальное взаимодействие между человеком и машиной — залог надежности и эффективности системы.

К ТЕОРИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА

От изучения «входных» и «выходных» характеристик человека, от анализа отдельных психических функций, свойств и состояний, так или иначе проявляющихся в деятельности оператора, от решения частных задач и рекомендаций по тому или иному поводу инженерная психология начинает переходить к выработке принципов и методов проектирования деятельности в целом. Говорить об этих принципах, пожалуй, еще рано, но хотя бы бегло обрисовать тот фундамент, на котором базируется их создание, необходимо. Этим фундаментом служит интенсивно разрабатываемая теория операторской деятельности, вырастающая как из опыта инженерной пси-

хологии, так и из концепций общей психологии, психологии труда, физиологии, кибернетики и некоторых других дисциплин и ориентирующаяся на использование методов системного анализа, которые помогают исследовать явление во всех его чертах, связях и отношениях, глубже проникнуть в его структуру и постичать его в развитии.

Всякая деятельность исходит из определенных мотивов и направлена на достижение определенной цели. Отношение «мотив — цель» — это своего рода вектор, задающий деятельность направленность и интенсивность. В мотивах отражаются как индивидуальные потребности человека, так и потребности общества; мотивы определяют отношение человека к своей деятельности и оказывают непосредственное влияние на его эмоциональное состояние и на работоспособность. От того или иного сочетания мотивов и целей зависит многое — длительность периода вработываемости, стабильность работоспособности на той стадии, которая получила название «конечный порыв», а также характер селективности в процессах восприятия, памяти и мышления. Мотив для человека выступает как субъективно переживаемая им побудительная сила, как непосредственная причина его деятельности. Что же касается цели — того, чего еще нет, но что должно быть достигнуто в результате деятельности, — то человеку она представляется в виде образа (в широком смысле этого слова).

Закономерности и механизмы формирования образа-цели — одна из центральных проблем как в психологии, так и в нейрофизиологии. В этих науках уже давно бытуют такие связанные с этой проблемой понятия, как «антиципация», «экстраполяция», «образ и план», «акцептор результатов действия», «модель потребного будущего» и т. п. Полнее всех, по нашему мнению, выражает суть дела понятие «опережающее отражение», предложенное П. К. Анохиным и выступающее по отношению к остальным как родовое. При анализе операторской деятельности инженерная психология широко опирается на физиологию активности, одним из выдающихся представителей которой был П. К. Анохин. Еще в 1935 г., задолго до кибернетики, он установил наличие обратной афферентации — механизма, обеспечивающего сличение результатов совершенного действия с намеченным, и отвел ему ведущую роль в схеме поведенческого акта. Принцип активного оператора и

другие идеи инженерной психологии хорошо согласуются с разработанной П. К. Анохиным теорией функциональной системы, которую он рассматривал как «замкнутое физиологическое образование с непрерывной обратной информацией об успешности данного приспособительного действия». Эта теория служит в изучении деятельности концептуальным мостом между психологией и нейрофизиологией.

Формы опережающего отражения различны. Важнейшие из них — предвидение (прогнозирование, антиципация, экстраполяция), особенно ярко проявляющаяся в тех случаях, когда оператору приходится непрерывно корректировать управляемый процесс (это было показано В. М. Водлозеровым и автором этих строк на примере анализа деятельности человека, работающего в режиме слежения), и целеполагание, в ходе которого и формируется образ-цель. Достижение цели — не одномерный акт, а процесс: цель как бы разветвляется в цепочку частных задач, каждая из которых требует определенного действия. В одних случаях каждое последующее действие подготавливается предыдущим и является его логическим продолжением, в других, когда оператору приходится одновременно решать несколько задач, прямой логической связи между действиями может и не быть.

Словом, у системы действий может быть какое угодно строение. Между тем, как бы ни была организована деятельность, оператор все время должен сохранять в голове образ-цель, и это удастся ему не всегда. Без специальных средств, помогающих оператору сохранять образ-цель, во многих системах «человек — машина» не обойтись. Будут ли это особые индикаторы, где цель может быть отображена в наглядной или в знаковой форме, или это будут речевые команды-напоминания, зависит от особенностей деятельности в каждом конкретном случае.

Почти всю текущую информацию оператор получает от систем отображения. Процесс этот имеет по меньшей мере два уровня. Первый — восприятие физических явлений, выступающих в роли носителей информации, например комбинаций световых пятен на экранах или положений стрелки на шкале. Второй — декодирование воспринятых сигналов и формирование на этой основе мысленной картины управляемого процесса — концептуальной модели.

Первый уровень изучен в психологии и психофизиологии неплохо.

Второй уровень — процесс переработки информации — изучен меньше. Дело в том, что концептуальная модель включает в себя как трансформированные сигналы, воспринимаемые в данный момент, так и прошлый опыт человека, его знания и навыки. Этот динамический синтез следов восприятия и памяти облекается в форму представления со всеми присущими ему признаками — обобщенностью, схематичностью и панорамностью. Когда-то эмпирическая психология считала представление «тенью восприятия». Но это далеко не так. В ходе формирования представления случайные признаки объектов отсеиваются, а общие, наиболее устойчивые, фиксируются. Вместе с тем в нем выделяются те элементы объекта или ситуации, которые человек считает опорными, самыми информативными. Представление — не детальная, субъективная картина действительности, а ее схема, где максимум информации заключен в минимуме элементов. Наконец, в концептуальной модели содержится обычно представление не об отдельном объекте или процессе, а о ситуации в целом, обо всех условиях и обстоятельствах, с которыми связан объект или процесс. И вся эта панорама взаимосвязанных звеньев отражается в модели как одновременное, поддающееся единому охвату целое.

Что такое концептуальная модель на практике? Для летчика, например, это «образ полета». Некоторые летчики, понимая значение мысленного представления (концептуальной модели) полета, проводят своеобразную психологическую тренировку, совершая определенный маневр или выводя самолет из какой-нибудь фигуры с закрытыми глазами и проверяя себя по приборам. Благодаря таким тренировкам отрабатывается устойчивость образа полета, снимается излишняя нагрузка, появляется чувство уверенности.

Выше мы говорили, что деятельность реализуется в последовательности действий, подчиненных единой цели и так или иначе связанных между собой. Эта связь возможна лишь в том случае, если у человека есть план деятельности, который, как и цель, формируется еще до ее начала. От того, как планируется деятельность, зависит и уровень ее организации. Наиболее элементарный уровень — работа «по ориентирам», характерная для начинающих операторов. Действия строятся как ответы на сигналы, и, если эти сигналы

имеют случайный характер и появляются часто, деятельность становится напряженной и изобилует ошибками. В сущности, у человека здесь нет заранее обдуманного и четкого плана, он идет на поводу у внешних событий. Более высокий уровень — работа по образцу или шаблону. Человек имеет четкий, но чересчур жесткий план. Пока все идет гладко, такой план эффективен, если же возникает непредвиденная ситуация, то план летит насмарку. Лучше всего — планирование общей стратегии, без детализации, позволяющее человеку в зависимости от обстоятельств менять характер и последовательность действий.

Ставит ли оператор перед собой цель, определяет ли частную задачу, строит ли концептуальную модель, совершает ли действия — он принимает решения. Решения пронизывают всю его деятельность — от поисков выхода из неподвижной (проблемной) ситуации до такого элементарного сенсорного процесса, как обнаружение сигнала. Ведь этот процесс определяется не самой по себе чувствительностью анализаторов, а прежде всего критерием, которым руководствуется оператор. Выбор же критерия, в свою очередь, зависит от задачи, от отношения к ней, от тренированности оператора.

Выбор из нескольких спорных альтернатив — вот что такое принятие решения. Особенно сложна структура этого процесса при мысленном манипулировании представлениями и определении способов действия. Сначала человек выделяет проблемную ситуацию, затем выдвигает разные варианты решения (гипотезы), потом оценивает (контролирует) их и, наконец, выбирает тот, который, по его мнению, ведет к желаемым результатам. В зависимости от соотношения процессов выдвижения гипотез и их контроля можно выделить пять типов решений: импульсивное (гипотеза выдвигается без контроля), решение с риском (гипотеза контролируется лишь частично), уравновешенное (выдвижение гипотез и их контроль сбалансированы), осторожное (контроль начинает подавлять выдвижение), инертное (выдвижение подавлено, поэтому протекает медленно и неуверенно). Крайние типы решений — импульсивное и инертное — самые неэффективные; лучше всех решения, в которых риск сочетается с осмотрительностью — своего рода «осторожная смелость».

Классификаций типов решений в психологии немало; мы привели здесь ту, которая ближе других соответствует опера-

торской деятельности. Но, кроме типов решений, есть еще и способы их принятия. Например, анализ поведения летчика при отказе автопилота позволяет выделить четыре таких способа. Первый: восприняв сигнал, допустим о крене самолета, пилот почти сразу же, с задержкой в 3—5 секунд, выполняет необходимое действие. Второй: восприняв сигнал, пилот визуально исследует приборную панель и уже потом, с задержкой в 20 секунд, выполняет действие. Третий: пилот не только исследует панель, но и совершает ряд пробных движений, манипулируя ручками; время задержки достигает 50 секунд. Четвертый: пилот действует по методу «проб и ошибок», совершает пробные, часто хаотические и ошибочные действия, отчего время задержки достигает 180 секунд.

Во всех случаях процесс принятия решения протекает по-разному. В первом, когда пилоту достаточно воспринять сигнал, чтобы решение пришло к нему, процесс протекает целиком во внутреннем плане, в плане умственного действия. Во втором — тоже во внутреннем плане, но для выдвижения и проверки гипотез пилоту уже нужна дополнительная информация. В третьем и четвертом — гипотезы проверяются не только «в уме», но и на практике, даже их выдвижение определяется моторными действиями.

Какой способ принятия решения берет оператор, зависит от его профессиональной подготовки и от концептуальной модели. Чем лучше отражается в этой модели ситуация, тем быстрее и эффективнее совершается принятие решения. А это означает, что формы подачи информации человеку надо разрабатывать не только с учетом процессов восприятия, но и с учетом процессов принятия решения. С одной стороны, чем полнее отражен объект управления и среда, тем скорее можно рассчитывать на то, что человек примет правильное решение и примет своевременно. С другой, в чрезмерной полноте таится опасность перегрузки: человек может не справиться с большим объемом информации. Задача проектировщиков — найти золотую середину, оптимум.

И теоретически и практически задача эта вполне разрешима. В ряде случаев оператору помогают ЭВМ, дающие ему такие советы, благодаря которым он может сам определять последовательность и объем порций той информации, которая ему нужна. Существуют и специальные устройства, подсказывающие человеку в критических случаях, где ему следует

искать информацию, необходимую для принятия решения.

От решения оператор переходит к действию. Действия, разумеется, тоже классифицированы и разбиты на виды, но мы не будем здесь перечислять их, а лишь подчеркнем, что всякое действие в каждый момент его выполнения адекватно предмету, средствам и условиям труда, ибо все это так или иначе отражается в сознании человека, и возникающее отражение служит регулятором действия. Регулятор этот может действовать на уровне ощущения и восприятия, на уровне представлений или на уровне речемыслительных процессов, отличающихся самой высокой степенью абстракции и обобщения. Все три уровня регуляции в реальной трудовой деятельности находятся в неразрывном единстве, и лишь в зависимости от предмета, орудий и условий труда меняется соотношение между ними.

У оператора информация о текущем состоянии объекта действия и о том, как эти действия выполняются, отражается в форме субъективного образа. Основная его характеристика — оперативность. Оперативный — значит предназначенный для правильного и быстрого выполнения задач. Такое идеальное специализированное отражение преобразуемого в действии объекта, складывающееся по ходу выполнения этого действия и подчиненное его задаче, психологи называют оперативным образом.

Оперативный образ формируется на основе образа-цели и концептуальной модели, как бы преодолевая «рассогласование» между ними. С каждым действием, направленным к цели, он изменяется. Сигналы обратной связи, несущие информацию о результатах действия, включаются в оперативный образ и корректируют его. Формируясь в процессе приема и переработки информации, оперативный образ, будучи как бы концептуальной моделью в действии, в динамике достижения цели, оказывает, в свою очередь, влияние на ход этого процесса и его организацию.

Время выполнения действий и их точность зависят от профессионального опыта. Действия, доведенные до высокого совершенства, выполняемые легко и быстро, с наивысшим результатом и в то же время с наименьшим напряжением, это уже навыки — ценнейшее подспорье сознательной деятельности, ее «автоматический» компонент. Лучше всего в психологии изучены навыки двигательные. Одна из основных черт процесса их формирова-

ния — образование двигательных структур, объединяющих отдельные рабочие движения в единое целое. В действии опытного профессионала ряд последовательных частных движений выступает как одно сложное движение, выполняемое точно и экономно; и только зная, как складывалось оно в ходе тренировок, можно представить себе ту массу приспособительных движений, которыми на разных стадиях обучения сопровождаются собственно рабочие движения и которые постепенно, по мере выработки навыка, уступают им место и почти сходят на нет.

Другая черта — возрастающее умение из всей массы сигналов выбирать те, которые имеют отношение к данной двигательной задаче. Формируется не только моторная, но и сенсорная, а точнее — сенсомоторная структура, основа всякого навыка. При этом происходит перестройка взаимодействия анализаторов. Сначала основную роль в регуляции движений играют зрительные сигналы, затем, по мере тренировки, на первый план выдвигаются сигналы осязательные и проприоцептивные, т. е. поступающие от мышц и сухожилий, а также от вестибулярного аппарата. Функцию обратной связи берет на себя двигательный анализатор. Причина тут простая: цикл регулирования в таком «внутреннем» контуре раза в два, а то и в три короче, чем во «внешнем».

С переходом на внутренний контур меняется направленность внимания: человек начинает контролировать зрительно не столько собственные движения, сколько результат действия в целом. Меняется и соотношение между уровнями регуляции: движения регулируются уже не речемыслительными, сенсорно-перцептивными процессами, мышление же занято решением приличествующих ему задач и общим контролем. Благодаря этому и создается иллюзия, будто навык уходит из-под контроля сознания.

Проблемой выработки навыков психологи занимаются давно. Сегодня их интересует взаимодействие старых и новых навыков. Они анализируют все, что в старых навыках способствует усвоению новых, и все, что этому мешает. Результаты этих исследований воплощаются в рекомендациях, которые приносят определенную пользу при обучении операторов.

Теория операторской деятельности пока еще в процессе разработки. Но общие контуры ее уже видны, как видна и та ее концептуальная основа, которую по аналогии с идеями П. К. Анохина, Н. А. Бернштейна и их последователей можно назвать психологией активности. Именно такой наукой и является сегодня инженерная психология, устремленная к практике, к научно-техническому прогрессу и его главной действующей силе — человеку труда.

О возникновении жизни в морской среде

Ф. Эгами

Известный физико-химик начала нашего века С. Аррениус выдвинул гипотезу панспермии¹. Согласно этой гипотезе, земная жизнь не возникла на Земле, а была занесена извне с космической пылью. Эта гипотеза не получила всеобщей поддержки; казалось крайне невероятным, чтобы живые существа могли достигнуть Земли, сохранив свою жизнеспособность после долгого путешествия в невыносимо су-

ровых условиях. Тем не менее до сих пор существуют видоизмененные концепции панспермии и сходные с ней воззрения, такие как гипотезы «управляемой панспермии» и «кометных ядер», принадлежащие таким выдающимся ученым, как Ф. Крик и Ф. Хойл (Великобритания, 1972, 1978) и Л. Оргел (США, 1973).

Однако со времен пионерской концепции А. И. Опарина² о происхождении

¹ Гипотеза панспермии была сформулирована немецким исследователем Г. Рихтером в 1865 г. и поддержана С. Аррениусом и Г. Гельмгольцем. — Прим. ред.

² О дальнейшем развитии этой концепции см.: Опарин А. И. Биология грядущего. — В сб.: Будущее науки (выпуск третий). 1970. Ежегодник.



Фудзю Эгами директор Института наук о жизни Мицубиси-Касеи (Токио), президент Международного общества по изучению происхождения жизни.

Наиболее известное его достижение — открытие трех видов рибонуклеаз, которые послужили выявлению нуклеотидных последовательностей в РНК, что привело к значительному прогрессу в области молекулярной биологии и химии нуклеиновых кислот. Внес большой вклад в изучение гликоконъюгатов и связанных с ними ферментов, различных бактериальных токсинов метаболизма неорганического азота у низших организмов. В настоящее время занимается проблемами химической и ранней биологической эволюции.

жизни (русское издание — 1924 г., английский перевод — 1936 г.) большинством повсеместно принято, что жизнь возникла на Земле. В 1961 г. К. Саган (США) выдвинул предположение, что жизнь возникла на Земле в морях достаточной глубины. Земная атмосфера в то время почти не содержала молекулярного кислорода и, следовательно, была лишена верхнего озонового слоя; сильное коротковолновое ультрафиолетовое излучение достигало земной поверхности, исключая возможность зарождения и развития жизни на суше. Поэтому К. Саган считает, что жизнь должна была зародиться в морях глубиной 10—100 м.

Основываясь главным образом на своих недавних теоретических и экспериментальных исследованиях, я также склоняюсь к мысли, что вся жизнь ведет свое начало из моря.

Рассмотрим известные данные (табл. 1) о десяти химических элементах, занимающих основное место в составе человеческого тела, морской воды, атмосферы и земной коры (литосферы). Все эти элементы обнаруживаются более чем в 99% организмов. Из таблицы ясно, что если фосфор заменить магнием, то основные виды химических элементов, встречающиеся в составе тела человека, совпадают с элементами морской воды и заметно отличаются от элементов атмосферы. Более того, известно, что по относительному содержанию неорганических ионов кровь человека и других позвоночных совпадает с морской водой.

Но можно ли на этом основании заключить, что высшие организмы прямо вышли из моря? Конечно, нет. Эти факты можно скорее рассматривать лишь как свидетельство того, что предки современных высших организмов обитали в море. Потом они вышли на сушу. Когда это произошло? Согласно ископаемым остаткам, первые наземные организмы появи-

лись в середине палеозойской эры (около 400 млн лет назад). По-видимому, именно тогда в атмосфере произошли важные изменения. Вероятно, в ходе биологической эволюции в морях возникли и развились водоросли, жизнедеятельность которых привела к высвобождению молекулярного кислорода из морской воды. После этого сформировался верхний озоновый слой и количество ультрафиолетовых лучей, достигающих поверхности Земли, уменьшилось. Жизнь на суше стала возможной.

Следовательно, чтобы все это промоделировать и детально изучить, мы должны исходить из тесной связи природы всех живых организмов, включая и самые примитивные, с природой морской воды, в составе которой важно не упустить из виду даже минорные (содержащиеся в чрезвычайно малых количествах) элементы. Это мне было ясно с первых шагов.

Несколько лет назад мне довелось прочесть первую главу «Биофизической химии» Дж. Т. Эдселла и Дж. Уимена (1958), озаглавленную «Биохимия и геохимия». Там я нашел замечательную фразу: «Заслуживает внимания тот факт, что хром не используется живыми организмами». Позднее было показано, что хром отнюдь не безразличен для жизнедеятельности высших наземных животных, но участие хрома в качестве существенного компонента какой-либо функционирующей биохимической системы у низших видов (например, бактерий) ни разу не подтвердилось. Между тем хром значительно более распространен на Земле, чем молибден (причем оба эти элемента имеют сходные свойства), но молибден имеет гораздо большее общехимическое значение, чем хром. Он нужен и низшим, и высшим организмам — бактериям, растениям, животным.

Как можно было объяснить преимущественное участие молибдена в биохимических системах? Рассмотрим этот во-

Таблица 1
Основные химические элементы, входящие в состав человеческого тела, морской воды, атмосферы и земной коры

Место (по атомному содержанию)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(11)
Тело человека	H	O	C	N	Ca	P	S	Na	K	Cl	(Mg)
Морская вода	H	O	Cl	Na	Mg	S	Ca	K	C	N	
Атмосфера и земная кора	O	Si	H	Al	Na	Ca	Fe	Mg	K	Ti	

Таблица 2
Геохимические данные о распространении хрома, молибдена и соседних с ними элементов на Земле (биоэлементы выделены красным цветом)

Группа элементов	V	VI	VII	VIII	
Элементы 3-го периода	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co
Содержание в поверхностном слое Земли, %	0,013	0,01	0,09	4,72	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Концентрация в морской воде, нМ					
по К. Турекяну	$4 \cdot 10^{-1}$	4	7	$6 \cdot 10^{-1}$	7
по П. Брюеру	$5 \cdot 10^{-1}$	6	4	$3,5 \cdot 10^{-1}$	8
Элементы 4-го периода	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh
Содержание в поверхностном слое Земли, %	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	—	$1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-7}$
Концентрация в морской воде, нМ					
по К. Турекяну	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^2$	—	$7 \cdot 10^{-3}$	—
по П. Брюеру	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^2$	—	—	—

прос с геохимической, общехимической и биохимической точек зрения.

Во-первых, я обратился к данным геохимии (табл. 2). В таблице приведено содержание хрома, молибдена и близких элементов на поверхности Земли (включая кору, атмосферу и гидросферу), а также в морской воде. В VI группе элементов, куда входят хром и молибден, элементом, существенным для жизнедеятельности широкого круга организмов, является не хром, элемент 3-го периода, а молибден, элемент 4-го периода. При этом концентрация молибдена в морской воде выше, чем концентрация элемента 3-го периода хрома, хотя другие элементы этого периода, по сравнению с 4-м, там преобладают. Это наводит на мысль, что концентрация элемента в морской воде имеет важное значение при определении, стал ли этот элемент биоэлементом или нет.

Оказалось, что общая концепция,

вытекающая из примера с хромом и молибденом, распространяется и на другие элементы, содержащиеся в морской воде (табл. 3). Все химические элементы морской воды мы подразделили на несколько групп в зависимости от их концентрации и биологического поведения.

Первая группа, отвечающая наибольшей концентрации, содержит все биологически значимые элементы (за исключением фосфора), составляющие основную массу организмов.

Во вторую группу входит большинство биоэлементов, важных для специализированных организмов, но не имеющих общебиологического значения. Элементы этой группы, за исключением фосфора, не существенны, например, для бактерий.

Тот факт, что фосфор, биоэлемент, имеющий решающее значение, отнесен к этой группе, означает, что никакой другой более распространенный элемент в хо-

Таблица 3

Связь между концентрациями химических элементов в морской воде и их биологической значимостью [биоэлементы выделены красным цветом]

Диапазон концентраций более 10^6 нМ	Основные элементы $H, O > Na, Cl > Mg > S > K$ $Ca > C > I$
Диапазон концентраций $10^6 - 10^2$ нМ	Биоэлементы специализированных организмов $Br > B > Li, Sr,$ $F > Li > P > Rb > I, Ba$
Диапазон концентраций $10^2 - 1$ нМ	Минорные каталитические элементы $Mo, Zn, Al, V, Fe > Ni,$ $Ti, Li, Cu, Cr > Mn,$ $Cs, Be, Sb > Cd, Co, W$
Диапазон концентраций около 1 нМ	Критическая биологическая концентрация
Диапазон концентраций менее 1 нМ	Элементы, не связанные с жизнедеятельностью

де эволюции не заменил фосфор в осуществлении тех особых функций, которые присущи ему в синтезе нуклеиновых кислот и в обмене энергии.

Третья группа включает минорные биоэлементы, в основном входящие в структуру ферментов. К заключительным группам относятся элементы в диапазоне критической биологической концентрации и элементы, не связанные с эволюцией, и среди них — различные токсические элементы, такие как свинец, ртуть и т. д.

Тесная связь между концентрацией различных элементов в современной морской воде и их биологической значимостью наводит на мысль, что концентрация элементов в современной морской воде отражает в какой-то мере их концентрацию в воде первичных морей, где протекала химическая и ранняя биологическая эволюция. Это мнение в основном подтверждается геохимиками.

Здесь мне хотелось бы подчеркнуть, что не только молибден, но и цинк и железо (все три — элементы с переходной валентностью, содержащиеся в морской воде в наибольших количествах) существенно необходимы для всех организмов, включая самые примитивные бактерии, и среди них — клостридии, которые, по современным представлениям, в наибольшей степени приближаются к первым живым существам.

Остановимся на этих примитивных существах.

Считается, что Земля возникла около

4,5 млрд лет назад, а жизнь, как показывают недавние исследования микрофоссилий (ископаемых органических частиц), — около 3,5 млрд лет назад. Мы не знаем, какова была природа первых земных организмов. Тем не менее все современные животные, растения и микроорганизмы построены в основном из белков, содержащих одни и те же аминокислоты, осуществляют передачу информации по одному и тому же пути (ДНК → РНК → белок) и, более того, используют один и тот же генетический код. Эти факты приводят к предположению, что все ныне существующие организмы произошли от одного общего предка.

Самые примитивные из ныне существующих организмов — клостридии — в целом высоко гетеротрофны (требуют разнообразных органических питательных веществ), анаэробны, т. е. неспособны к существованию в кислородной атмосфере, и многие из них могут восстанавливать нитраты, фиксировать азот, иными словами, способны образовывать аммиак из нитратов и (или) из молекулярного азота. Поэтому клостридию можно считать «живым ископаемым». Подобная примитивная бактерия жила в бескислородной атмосфере в бульоне, содержащем разнообразные органические соединения, синтезированные в ходе химической эволюции — эволюции, предшествовавшей возникновению жизни.

Такое представление мы попробуем подтвердить исследованиями ферментов с участием элементов с переходной валент-

ностью. Известно, что такие элементы (молибден, цинк и железо) играют важную роль в поддержании жизнедеятельности всех организмов на Земле: молибден участвует в обмене веществ между клетками и окружающей средой, железо — в переносе электронов и, следовательно, в энергетическом обмене, цинк — в метаболизме макромолекул и, следовательно, в передаче информации. Весьма вероятно, что ферменты примитивных бактерий, содержащие эти металлы, образовались на основе простых комплексов молибдена, железа и цинка, обладающих низкой удельной активностью и широкой специфичностью по отношению соответственно к ассимиляции субстратов, переносу электронов и энергии и передаче информации (табл. 4).

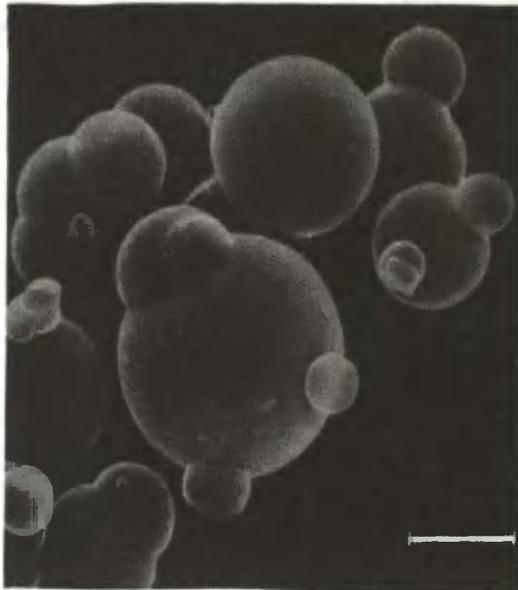
Подводя итоги приведенным выше данным геохимии и биологии, можно заключить, что жизнь появилась в первичном океане. Состав неорганических компонентов моря в то время был, по существу, сходным с составом современной морской воды. Примитивные организмы, подобные кластридиям, развились как итог химической и ранней биологической эволюции на основе выбора тех веществ (химических элементов и соединений), которые присутствовали в окружающей среде в относительно больших количествах. Все это кажется вероятным, но есть ли у нас какие-либо экспериментальные доказательства?

В течение нескольких лет мы разрабатывали экспериментальный подход к изучению химической эволюции в первичном океане. Эта работа основывалась на следующих предположениях:

1. Возникновение жизни, непосредственно предшествовавшая ей химическая и ранняя биологическая эволюция происходили в первичном океане в условиях бескислородной атмосферы.

2. Элементы с переходной валентностью, существенные для большинства бактерий, прежде всего такие как молибден, железо, цинк, марганец, кобальт, медь, ускорили ход химической эволюции.

Нами была разработана морская среда модифицированного состава, обогащенная ионами переходных элементов, по сравнению с нормой, в 1 тыс. — 100 тыс. раз. Среда, содержащая соединения с одним атомом углерода — формальдегид и с одним атомом азота — гидросиламин, выдерживалась при 105°C в течение нескольких дней или даже нескольких недель в условиях бескислородной атмосферы. Через несколько дней в ней образовался ряд аминокислот: глицин, аланин, серин,



Микрофотография маригранул, образовавшихся в искусственной «древней» морской воде. Снято в поле сканирующего электронного микроскопа. Масштаб 1 мкм.

аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота и пролин. Следует отметить, что образовались не только свободные аминокислоты, но и их полимеры — пептиды. Особенно примечательно, что они возникали в водной среде, поскольку известно, что их образование в воде термодинамически невыгодно. Однако механизм образования пептидов остается пока невыясненным.

На мой взгляд, химическая эволюция заключается не в чем ином, как в формировании и развитии многомолекулярных мультикаталитических (многоферментных) систем. Они в итоге привели к появлению жизни, характеризующейся организованной структурой и замечательной синтезирующей активностью, включающей самоудвоение: ведь существенное свойство, характерное для организмов, — сохранение индивидуумов и биологических видов, а это требует направленного синтеза и превращения веществ и энергии согласно программе, определяемой генетической информацией.

Именно по этой причине, повторяем, мы начали исследования химической эво-

Таблица 4
Ферменты, содержащие переходные элементы, у примитивных микроорганизмов типа Clostridium и Desulfovibrio

Фермент	Содержащийся металл	Примечание
Нитрогеназа	Mo [Fe]	Фермент из Clostridium pasteurianum
Нитратредуктаза	Mo [Fe]	Показано для фермента из кишечной палочки, косвенные данные для фермента из Clostridium
Редуктаза двуокиси углерода	Mo	Косвенные данные для фермента из Clostridium pasteurianum
Гидрогеназа	Fe	Фермент из Clostridium butylicum
Ферредоксин	Fe	Переносчик электронов у Clostridium pasteurianum
Цитохром	Fe	Цитохром C ₃ из Desulfovibrio
Протеазы (коллагеназа А и т. д.)	Zn	Фермент из Clostridium histolyticum
ДНК-полимераза	Zn	Показано для фермента из кишечной палочки, но не для фермента из Clostridium
РНК-полимераза	Zn	Показано для фермента из кишечной палочки, но не для фермента из Clostridium
Щелочная фосфатаза	Zn	Показано для фермента из кишечной палочки, неизвестно для Clostridium

люции с использованием модифицированной морской воды, обогащенной ионами переходных элементов, которые, вероятно, ускоряли ход химической эволюции. В наших опытах как раз обнаруживаются зачатки многомолекулярной мультিকаталитической системы.

Для дальнейшего изучения образования пептидов мы в качестве исходных веществ использовали смесь аминокислот и наблюдали образование сложных полимерных продуктов с молекулярным весом более 2000 дальтон. В ходе опытов мы были удивлены неожиданным открытием: через несколько недель из реакционной среды выделились красивые организованные частицы. Мы назвали эти частицы маригранулами, полагая, что подобные частицы, вероятно, образовывались и в первичном океане. Эти частицы состоят из спирторастворимого поверхностного слоя и внутренней части, растворимой в КОН.

Основным компонентом наших частиц были аминокислотные полимеры, в какой-то степени сходные с эластином — раз-

новидностью склеропротеинов. Маригранулы можно было отнести к группе структур, подобных протоклеткам, таким как хорошо известные коацерватные капли А. И. Опарина и протеиноидные микросферы С. Фокса³.

Образование маригранул и подобных им частиц в заранее определенных, конкретных условиях приводит нас к мысли, что этот экспериментальный подход открывает многообещающие пути исследования химической эволюции в первичном океане, игом которой явилось возникновение жизни.

³ Фокс С. Начало жизни на Земле. Новые исследования. — В сб.: Наука и человечество. 1978. Междунар. ежегодник.



Зоология

Советско-вьетнамские исследования почвенной фауны

В тропических районах Земли почвенная фауна, преобладающая среди животного населения суши и по биомассе и по видовому разнообразию (95% от всех животных), изучена несравнимо хуже, чем в умеренных широтах. Связано это главным образом с тем, что в этих районах не проводилось планомерных, длительных стационарных исследований. Особенно это относится к Юго-Восточной Азии, долгое время служившей ареной кровопролитных войн.

Только в последние годы — в связи с комплексным изучением экосистем тропических лесов — в планы научных исследований советских и вьетнамских зоологов был включен специальный раздел по изучению животного мира почв. Для выполнения этой работы во Вьетнаме создана рабочая группа почвенных зоологов — сотрудников Педагогического института и Биологического института Центра научных исследований СРВ (Ханой).

В 1979—1981 гг. вьетнамские специалисты совместно с сотрудниками лаборатории почвенной зоологии и экспериментальной энтомологии Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР проводили полевые исследования в тропических лесах СРВ. Следует оговорить, что качественные исследования фауны почв и отдельных групп животных (моллюсков, клещей, дождевых червей, пауков и т. д.) проводились и ранее — по материалам, собранным во время экспедиций специалистами из других



В руках у зоолога Хюнь Ким Хой многоножка киясия — обитатель подстилки тропического леса Вьетнама.

Фото М. А. Никитина

стран. Но планомерные количественные сборы начаты впервые.

На юге СРВ были обследованы первичные тропические леса и участки, заросшие высокотравными злаками в результате сведения лесов; на севере СРВ — рисовые поля и вторичные горные тропические леса. Оказалось, что почвы всех обследованных биотопов обильно заселены беспозвоночными. Даже на рисовых полях в окрестностях Ханоя, которые большую часть года залиты водой, встречается от 100 до 500 экземпляров почвенных животных на 1 м^2 , хотя обитатели пресных вод — крабы, пиявки и моллюски — присутствуют здесь постоянно в течение всего года.

Во вторичных горных тропических лесах, обследованных в районе Майтя, разнообразие почвенной фауны очень велико: в пробах постоянно встречались пауки, черви, тараканы, термиты, моллюски, сколопендры, диплоды, личинки щелкунов. В плотных темно-красных ферраллитных почвах основная масса живот-

ных сосредоточена в приповерхностных слоях и на самой поверхности почвы, хотя в целом постоянно заселен слой почвы до 30—40 см.

В первичных тропических лесах, обследованных на плато Тай Нгуен, по численности доминируют подстилочные обитатели — пауки, ракообразные, дождевые черви, хищные многоножки, тараканы, а по биомассе — дождевые черви. На месте же вырубок, где нет подстилки (в злаковниках), преобладают и по численности и по биомассе дождевые черви.

Количественные показатели животного населения почв Вьетнама сравнимы с таковыми в лесных сообществах умеренного пояса, где численность крупных почвенных беспозвоночных достигает 600 экз/м^2 , а биомасса — 90 г/м^2 . И это несмотря на то, что сухой сезон неблагоприятен для почвенной фауны и численность животных в почве и подстилке в несколько раз ниже, чем во влажный период. Это подтверждается и данными исследований, проведенных в других тропических районах земного шара. Так, в травянистых сообществах Панамы, Индии, некоторых африканских стран численность почвенных животных колеблется от 2 до 140 экз/м^2 , а биомасса достигает 40 г живой массы. В злаковниках на юге СРВ численность в сухой сезон составляет 120 экз., а масса — 33 г/м^2 . В тропических лесах Заира среднегодовая численность крупных почвенных беспозвоночных — 1000 экз/м^2 , а в лесных сообществах Вьетнама — 350 экз. Живая масса животных в почвах тропических лесов Вьетнама может достигать 50 г/м^2 .

Резкое снижение численности животных в почве в сухой сезон во многом обусловлено тем, что они в этих неблагоприятных условиях скрываются под корой деревьев, колода-

ми и т. п., где не могут быть учтены стандартными методами. Характерна для этого периода и высокая агрегированность распределения особей.

Знакомся перед поездкой в СРВ с литературой, мы ожидали, что среди почвенного населения будут доминировать термиты, однако в целом структура животного населения почв в тропических экосистемах тоже оказалась сходной со структурой сообществ умеренного пояса: доминирующей группой являются дождевые черви. Для зоолога, имеющего представление о почвенной фауне северных умеренных областей, необычны встречи с очень крупными многоножками (см. фото), дождевыми червями, тараканами, наземными турбелляриями, с огромным разнообразием сенокосцев, пауков, жуков. В собранном материале содержится немало ранее неизвестных науке видов.

Д. А. Кривоулицкий,
доктор биологических наук

А. Д. Покаржевский,
кандидат биологических наук
Институт эволюционной морфологии
и экологии животных
им. А. Н. Северцова АН СССР
Москва

Тхай Тран Бай,
кандидат биологических наук

Педагогический институт
Ханой

Энтомология

Необычная тля в Восточной Сибири

В середине лета на улицах и приусадебных участках Лесосибирска, в Красноярске и его окрестностях (с. Базаиха) уже издали видны желтеющие деревья черемухи. Кажется, какая-то болезнь вызывает хлороз листьев. Но причина тому — иная.

Если осмотреть листья, легко заметить крупные скопления тлей, почти сплошным слоем покрывающие их нижнюю поверхность. Эти-то тли, высасывая соки, и вызывают пожелтение листьев, а иногда и скручивание их внутрь.

Тли имеют желтую с бле-

стящим отливом окраску; по размерам они мелкие (около 2 мм длиной); тело яйцевидно-овальное с черными цилиндрическими трубочками (наружными кожистыми выростами на боковых поверхностях, возможно, железистого характера)¹ и трехугольным хвостиком.

24—25 июля 1981 г. среди тлей мы одновременно наблюдали и личинок, и живородящих самок, и нимф (с зачатками крыльев). Развивающиеся из нимф крылатые тли перелетают (мигрируют) на травянистое растение пикульник (*Galeopsis*). В колониях тлей нами обнаружены отдельные экземпляры, зараженные паразитами — наездниками. Кроме наездников, тлей обычно истребляют кокциллиды (жуки) и личинки божьих коровок), личинки мух-сирфид и златоглазки.

Эта желтая черемуховая тля (*Myzus padellus* H. R. L. et Rog.) — вид довольно необычный и малоизвестный. Описан он лишь в 1946 г. Впервые был обнаружен в Англии, затем — в Норвегии и Финляндии, а в СССР до сих пор был известен только в Латвии. Находка этой тли в Восточной Сибири поднимает вопрос: могла ли тля распространяться столь быстро, что за 35 лет преодолела расстояние от Англии до Енисея, или же она давно является компонентом нашей энтомофауны, но до сих пор ее принимают за обыкновенную черемуховую тлю (*Rhopalosiphum padi* L.) — вид широко распространенный и вызывающий сходные повреждения листьев черемухи?

Б. В. Верещагин,
доктор сельскохозяйственных наук
Кишинев

И. В. Верещагина,
кандидат сельскохозяйственных наук
Барнаул

Сейсмология

Статистика землетрясений

В Информационном бюллетене по землетрясениям Геологической службы США приводятся следующие статистические данные: ежегодно на Земле происходит в среднем 1,1 катастрофических землетрясений (с магнитудой 8 и более баллов по шкале Рихтера), 18 сильнейших (7—7,9 баллов), 120 разрушительных (6—6,9 баллов), 1000 умеренной силы (5—5,9 баллов), 6000 вызывающих слабые повреждения (4—4,9 баллов), 49 000 ощутимых, 300 000 замечаемых и более 600 000 не ощущаемых человеком микроземлетрясений.

Следует заметить, что повышение магнитуды на 1 балл соответствует приблизительно 30-кратному увеличению энергии, высвобождаемой землетрясением.

Катастрофические землетрясения ощущаются на площади примерно 2 млн км² в радиусе 700 км; сильнейшие землетрясения — на площади 500 тыс. км² в радиусе 400 км.

За последние два года катастрофических землетрясений не происходило — какой же район земного шара на очереди?

Earthquake Information Bulletin, 1981, v. 13, № 3, p. 110; № 4, p. 123—124 (США).

¹ Трубочки — характерная часть тела тлей (у других насекомых они отсутствуют) и вместе с тем — важный отличительный признак: у разных видов они неодинаковы по форме и окраске.

Космические исследования**Запуск «Союза Т-5»**

13 мая 1982 г. в 13 ч 58 мин по московскому времени в Советском Союзе был произведен запуск транспортного космического корабля «Союз Т-5» с экипажем в составе командира корабля подполковника А. Н. Березового и бортинженера летчика-космонавта СССР В. В. Лебедева. Ракета-носитель вывела корабль на орбиту, параметры которой составили: высота в апогее 326 км, в перигее — 261 км, наклонение $51,6^\circ$, период обращения 90,3 мин.

14 мая в 15 ч 36 мин «Союз Т-5» состыковался с орбитальной научной станцией «Салют-7». После перехода космонавтов в помещение станции на околоземной орбите начал функционировать пилотируемый научно-исследовательский комплекс «Салют-7» — «Союз Т-5».

Станция «Салют-7», запущенная на околоземную орбиту 19 апреля 1982 г., является усовершенствованным вариантом орбитальных научных станций второго поколения; она оснащена двумя стыковочными узлами и обладает улучшенными эксплуатационными характеристиками. При тех же габаритах и конфигурации, что и «Салют-6», многие системы новой станции существенно модернизированы. Это касается, например, иллюминаторов, два из которых теперь прозрачны для ультрафиолетового излучения. Станция стала более комфортабельной, расширились состав и возможности ее научной аппаратуры.

После перехода на борт «Салюта-7» космонавты расконсервировали станцию и перевели ее в режим пилотируемого полета.

17 мая космонавты запустили в космическое пространство малый искусственный спутник «Искра-2», который был вы-



Экипаж космического корабля «Союз Т-5»: командир корабля А. Н. Березовый (слева) и бортинженер летчик-космонавт СССР В. В. Лебедев.

Фото А. А. Пушкарева (ТАСС).

веден на орбиту с высотой в перигее 342 км, а апогее — 357 км, наклонением $51,6^\circ$ и периодом обращения 91,3 мин. Спутник создан студенческим КБ МАИ им. С. Орджоникидзе с привлечением молодых ученых и радиолюбителей нашей страны. На борту спутника установлены ретранслятор для проведения экспериментов в об-

ласти любительской радиосвязи, запоминающее устройство, командная радиолиния, радиотелеметрическая система передачи научно-технической информации и данных о работе аппаратуры.

А. Н. Березовый и В. В. Лебедев начали биологические эксперименты по дальнейшему изучению возможностей культивирования высших растений в условиях космического полета. Используются установки усовершенствованы с учетом опыта длительных экспедиций на «Салюте-6». В мае было проведено первое комплексное медицинское обследование экипажа.

Исследовалось состояние сердечно-сосудистой системы космонавтов в условиях покоя и при выполнении физических упражнений на велоэргометре. Для регистрации физиологических параметров использовалась новая многофункциональная аппаратура «Азлита-01», позволяющая значительно экономить время и сократить число рабочих операций, выполняемых космонавтами при обследованиях.

Начаты наблюдения и фотосъемка отдельных районов земной поверхности для сбора и передачи на Землю оперативной информации о природных ресурсах: состоянии озимых и пропашных культур в Краснодарском крае, пастбищ и полей хлопчатника в республиках Средней Азии, поймы р. Волги.

В конце мая большую часть своего рабочего времени космонавты затратили на разгрузку грузового корабля «Прогресс-13», запущенного 23 мая 1982 г., а 25 мая состыковавшегося с орбитальной станцией. Среди доставленной научной аппаратуры находились приборы, разработанные советскими и французскими специалистами и предназначенные для проведения исследований на орбите международным экипажем с участием французского космонавта.

В начале июня экипаж подготовил к работе многозональную фотоаппаратуру МКФ-6М и ряд других приборов, предназначенных для проведения дальнейших исследований природных ресурсов Земли.

2 июня с помощью двигательной установки грузового корабля была проведена коррекция траектории орбитального комплекса «Салют-7» — «Союз Т-5» — «Прогресс-13».

С. А. Никитин
Москва

Астрономия

Пустота в Волопасе заполняется

«Природа» уже сообщала об обнаружении гигантской пустоты объемом 10^6 кубических

мегапарсек, расположенной в созвездии Волопас¹. Возник вопрос, реальна ли эта пустота? Один из способов проверки — изучение площадок неба, лежащих между уже исследованными. Как показали наблюдения, в той области, которая была объявлена пустой, расположены объекты, принадлежащие к большому классу галактик Маркаряна. Это внегалактические объекты высокой активности с ультрафиолетовым избытком излучения, что позволяет их легко обнаруживать.

Было рассмотрено 113 галактик Маркаряна, расположенных в области, на которую проецируется предполагаемый пустой объем. Оказалось, что 12 из них имеют красные смещения, которые позволяют поместить эти галактики в предполагаемой пустоте, причем их распределение в этом объеме будет примерно равномерным.

Для большинства известных галактик Маркаряна был проведен статистический анализ, позволивший определить их пространственное распределение; чем более слабые галактики учитывались в таком анализе, тем более равномерным оказалось их распределение при больших значениях красных смещений. Аналогичный анализ был сделан и для исследованной площадки на небе. Установлено, что распределение галактик Маркаряна в области предполагаемой пустоты не дает каких-либо отклонений от средней плотности галактик Маркаряна во Вселенной, которая примерно постоянна вплоть до красных смещений $Z \sim 0,08$.

Все предыдущие выводы были сделаны для галактик со звездной величиной 15^m — 16^m . Сейчас проводится обзор неба, который позволит найти галактики Маркаряна вплоть до $18,5$ звездной величины.

Таким образом, имеющиеся данные по галактикам Маркаряна пока не подтверждают наличия пустоты в Волопасе.

Applied Journal Letters, 1981, v. 255, L. 1 (США).

Астрофизика

Жесткое рентгеновское и γ -излучение и ускоренные частицы в солнечных вспышках

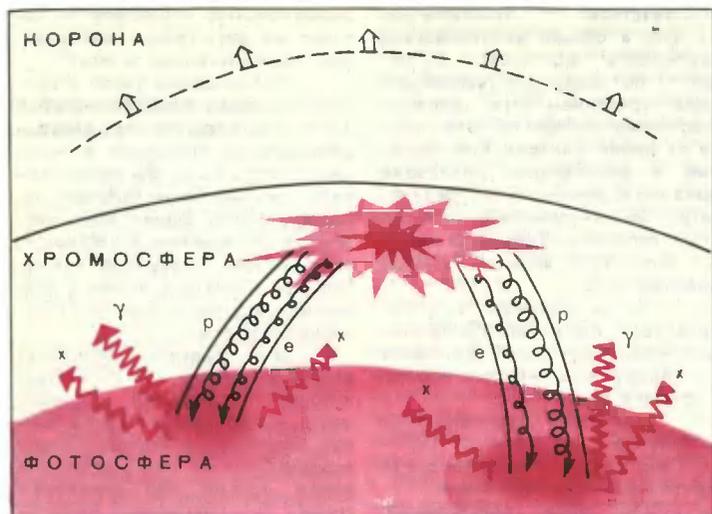
Во время взрывной фазы солнечных вспышек, длящейся в течение 1—2 мин, наблюдается, в частности, жесткое рентгеновское излучение (50—200 кэВ), а также γ -излучение (с энергией больше 200 кэВ). Это излучение возникает в результате взаимодействия быстрых частиц — релятивистских электронов и ядер — с относительно плотной солнечной плазмой.

Наблюдения с высоким временным разрешением показали, что рентгеновское излучение во время взрывной фазы имеет квазипериодический характер: оно состоит из элементарных вспышечных всплесков длительностью в несколько секунд каждый. В экспериментах, проведенных в рамках международной программы «Год солнечного максимума», Е. Чапп (Университет Нью-Хемпшир, США) получил уникальные результаты о временной зависимости излучения в γ -диапазоне, из которых следует, что оно состоит из отдельных повторяющихся всплесков длительностью в несколько секунд.

Подобие временного хода излучения в рентгеновском и γ -диапазонах свидетельствует, что релятивистские электроны с энергиями 1 МэВ и протоны с энергиями 30 МэВ ускоряются практически одновременно во время взрывной фазы солнечных вспышек, поскольку излучение с энергией меньше 1 МэВ генерируется электронами, а γ -излучение при энергиях больше 1 МэВ в основном, по-видимому, обусловлено линиями возбужденных ядер.

Этот вывод очень важен, так как в последние годы считалось, что релятивистские частицы ускоряются не в месте вспышки и не во время первичного выделения энергии в ней, а через несколько минут на фронтах сильных ударных волн, распространяющихся в солнечной короне. Данные наблюдений γ -лучей, конечно, не опровергая возможности коронального ускорения, показывают, что уже

¹ Природа, 1982, № 4, с. 105.



Солнечные вспышки, происходящие в нижней короне или в верхней хромосфере. Частицы (e, p), ускоренные в верхние магнитной петли, распространяются вдоль магнитного поля (показано черными линиями). При их взаимодействии

с плотной плазмой фотосферы излучаются жесткие рентгеновские (x) и γ-кванты. Пунктир — ударная волна, образующаяся во время вспышки и распространяющаяся по солнечной короне.

вистских электронов со скоростями 0,9 с и протонов со скоростями 0,1 с (здесь с — скорость света).

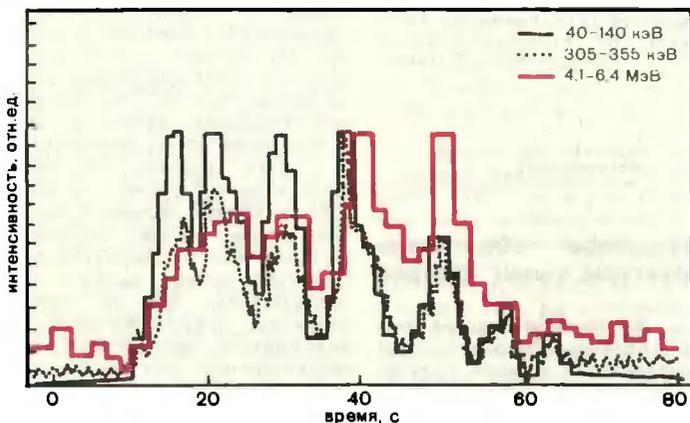
Gamma ray transients and related astrophysical phenomena. American Institute of Physics. N. Y., 1982, p. 363—381 (США).

Астрофизика

Рентгеновское излучение от далеких скоплений галактик

В центральных областях многих скоплений галактик в последние годы обнаружено большое количество горячего газа, который собирается под действием гравитационных сил к центру скопления, сохраняя разброс скоростей, равный разбросу скоростей галактик — члену скопления. Разброс этот велик — он достигает тысячи километров в секунду, что соответствует кинетической температуре порядка 100 млн градусов (поэтому-то газ и «светит в рентгене», в области 10 кэВ). Но никто не мог предположить, что этого горячего газа в центральных областях скоплений может собираться так много — 10^{13} – $10^{14} M_{\odot}$. Именно такие оценки были получены с помощью американских космических обсерваторий «HEAO-1» и «HEAO-2».

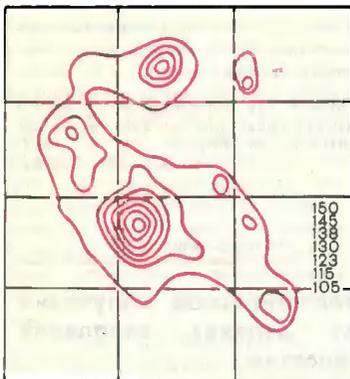
К настоящему времени рентгеновские потоки измерены примерно от 50 скоплений галактик. Однако до сих пор не ясно, откуда берется горячий газ, который дает наблюдаемое диффузное рентгеновское излучение. Первичен он или вторичен? Если это первичные водород и гелий, то этот газ может присутствовать в достаточных количествах и в относительно молодых, а значит и далеких скоплениях. Если же весь газ имеет вторичную природу и был тем или иным способом «выметен» из галактик за время их эволюции, то он должен быть обогащен тяжелыми элементами, и его в молодых (далеких) скоплениях должно быть мало, значит, такие скопления не будут источниками сильного рентгеновского излучения.



Зависимость от времени интенсивности излучения солнечной вспышки 7 июня 1980 г. в 3-х диапазонах энергий.

во время взрывной фазы действует эффективный механизм образования частиц релятивистских энергий. Характерное время, в течение которого частица разгоняется до столь высоких энергий, не больше нескольких секунд.

Излучение в γ-диапазоне запаздывает на несколько секунд по сравнению с рентгеновским. Возможно, это объясняется тем, что ускорение частиц происходит одновременно на вершине петли магнитного поля длиной 10^{10} см, а задержка в наблюдаемом излучении связана с различием во времени распространения до плотной фотосферной плазмы реляти-



Рентгеновские изофоты далекого скопления 0016+16. Справа приведены цифры, характеризующие яркость изофот в относительных единицах.

Предполагалось, что заметная часть межгалактического газа в скоплениях имеет вторичное происхождение, так как в рентгеновских спектрах скоплений были обнаружены довольно сильные линии излучения почти полностью ионизованных железа и кислорода — тяжелых элементов, которые могли образоваться только в звездах галактик. Поэтому ожидалось, что у молодых далеких скоплений такого газа будет мало. Косвенным аргументом в пользу такого эволюционного отличия далеких и близких скоплений можно было считать присутствие в некоторых далеких скоплениях большого числа богатых газом голубых галактик, в которых заметную роль играет процесс образования звезд. В центральных же галактиках близких скоплений, как правило, газа мало и процесс образования звезд слаб — отсюда их красный цвет. Поэтому далекие скопления, еще не накопившие вторичного газа, должны быть слабыми источниками диффузного рентгеновского излучения.

В работе С. Уайта, Дж. Силка и Дж. Генри (Калифорнийский университет и Центр астрофизики, США) приведены данные наблюдений в рентгеновском диапазоне с борта «HEAO-2» далекого богатого скопления 0016+16 (его красное смещение $Z=0,54$). Рентгеновский спектр этого скопления

соответствует температуре 13 кэВ, а общая рентгеновская светимость достигает $3 \cdot 10^{45}$ эрг/с; по своим рентгеновским характеристикам это далекое скопление ничем не отличается от более близких. Его изучение в оптическом диапазоне привело к аналогичному результату: во внутренней области этого скопления (диаметр около 1,5 Мпс) 90% галактик имеют красный цвет.

Таким образом, ни в оптическом, ни в рентгеновском диапазонах для этого скопления не обнаружено никакого эволюционного эффекта.

Заметное рентгеновское излучение на уровне 10^{44} — 10^{46} эрг/с зарегистрировано и от других далеких скоплений.

По всей вероятности, эволюционные эффекты у скоплений идут с меньшей интенсивностью, чем предполагалось ранее, и поэтому для расстояний, соответствующих красному смещению $Z \sim 0,6$, они мало заметны.

Для выяснения вопроса об эволюции галактик в скоплениях требуются тщательные исследования еще более далеких объектов ($Z=1$).

Preprint № 1514, Centre for Astrophysics, 1981; Astrophysical Journal, 1981, v. 254, L75 (США).

Астрофизика

Возможное объяснение структуры колец Сатурна

В течение последних трех лет с помощью автоматических межпланетных станций получена уникальная информация о структуре колец Сатурна. Так, на расстоянии 3,5 тыс. км от внешней стороны кольца А обнаружено узкое кольцо F шириной всего в несколько десятков километров¹ (его радиус составляет примерно 100 тыс. км). В ноябре 1980 г. при пролете вблизи Сатурна станции «Вояджер-1» были получены снимки кольца F с разрешением 2—3 км. Оказалось, что это кольцо имеет

азимутальную структуру и состоит из двух-трех узких рукавов, переплетенных в жгут².

Наблюдение такой структуры вызвало особый интерес исследователей, так как дифференциальное вращение в кольцах должно было бы «размазывать» любые азимутальные неоднородности. Выдвигались различные объяснения: в частности, одно из них связывало азимутальную структуру колец с вращением внутри кольца гипотетической кометы³.

Б. Б. Кадомцев (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова) рассмотрел возможность возникновения азимутальной структуры в первоначально однородном по углу достаточно узком кольце под действием только сил гравитации планеты и вещества кольца. Как показали проведенные им расчеты, при достаточно большой массе кольца, $M_F/M_C > A(\Delta/R)^2$ (где M_F и M_C — массы кольца F и Сатурна, Δ — расстояние между рукавами, R — радиус кольца, $A \approx 0,1$), однородное по углу дифференциальное вращение вещества в кольце неустойчиво. В результате развивается периодическая структура, соответствующая последовательности сближений и раздвижений рукавов. Из критерия неустойчивости получена оценка для массы кольца: $M_F \sim 10^{-8} M_C$. Какова действительная величина M_F , в настоящее время неизвестно.

При пролете «Вояджера-2» вблизи Сатурна в августе 1981 г. вблизи кольца F были обнаружены малые спутники⁴. Не исключено, что азимутальная структура кольца вызвана их воздействием. Тем не менее механизм, предложенный Б. Б. Кадомцевым, привлекает универсальностью: для его реализации не требуется никаких дополнительных тел.

Какая из возможных моделей подтвердится, покажут дальнейшие экспериментальные исследования.

Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 33, вып. 7, с. 361.

² Природа, 1981, № 7, с. 92.

³ Природа, 1981, № 11, с. 106.

⁴ Aviat. Week and Space Technol., 1981, v. 115, № 8, p. 55, 58.

¹ Природа, 1980, № 7, с. 88.

Фоторождение пар очарованных частиц

В последнее время интенсивно исследуется новый тип частиц, несущих квантовое число с — очарование; это так называемые очарованные частицы. Поскольку величина с сохраняется в сильных и электромагнитных взаимодействиях, очарованные частицы должны в адрон-адронных и фотон-адронных столкновениях рождаться парами. Недавно в эксперименте, проведенном международной группой исследователей, впервые было обнаружено фоторождение пары очарованных нейтральных мезонов D^0 и \bar{D}^0 .

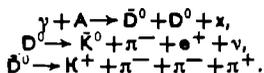
Время жизни очарованных частиц порядка 10^{-13} с. Это, а также малая вероятность рождения таких частиц делает задачу их обнаружения исключительно трудной. Частица с таким временем жизни пролетает, прежде чем распадется, расстояние около 100 мкм. Следовательно, детектор должен обладать высоким пространственным разрешением, поскольку лучше всего изучать характеристики короткоживущих частиц так, чтобы распады были видны непосредственно. Традиционные же методы, применяемые, например, при поиске резонансов, когда изучаются пики в распределениях по массам продуктов распада, неэффективны — слишком велик фон от ложных событий.

Наилучшим пространственным разрешением (0,5 мкм) обладают ядерные фотозуммисы. Чтобы получить наиболее полную информацию об акте взаимодействия, фотозуммисы обычно используются в сочетании с другими детекторами. Одним из таких гибридных устройств является Омега-прим-спектрометр в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве. Эксперимент на этом спектрометре (WA-5B) проводился совместно физиками Италии, Испании, Франции, ЦЕРНа и СССР (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР).

На ускорителе SPS фото-

эмульсионные слои поочередно облучались пучком меченых фотонов (т. е. энергия каждого фотона была известна) с энергией от 20 до 70 ГэВ. В результате взаимодействия фотона с ядром фотозуммисы возникали вторичные частицы, которые, вылетая из эмульсии, проходили через ряд детекторов спектрометра (искровые камеры, черенковские счетчики и др.). Информация, получаемая с помощью детекторов, позволяла определить характеристики вторичных частиц — углы вылета, импульсы, массы, а также предсказать координаты точки взаимодействия в фотозуммиссионной пластинке. По этим предсказаниям с помощью микроскопов и были найдены соответствующие «звезды» в фотозуммисии.

Работа по нахождению очарованных частиц достаточно трудоемкая: на 300—350 актов взаимодействия встречается лишь одно событие с рождением очарованных частиц и необходимо благоприятное сочетание обстоятельств, чтобы удалось зарегистрировать парное рождение. В эксперименте WA-5B был обнаружен первый случай фоторождения пары очарованных нейтральных мезонов D^0 и \bar{D}^0 в соответствии со схемой:



Время до распада для \bar{D}^0 -мезона составило $(0,14 \pm 0,01) \cdot 10^{-13}$ с, а для D^0 -мезона из-за неопределенности в импульсе нейтрино ν получено два значения: $\tau_1 = (7,5 \pm 0,3) \times 10^{-13}$ с и $\tau_2 = (3,4 \pm 0,1) \cdot 10^{-13}$ с. Ранее в этом же эксперименте было впервые обнаружено событие ассоциативного фоторождения бариона Λ_c^+ и мезона \bar{D}^0 .

Сейчас во всем мире зарегистрировано в общей сложности несколько десятков случаев рождения очарованных частиц. Поэтому обнаружение отдельных случаев парного рождения представляет несомненный интерес.

Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 34, вып. 8, с. 477.

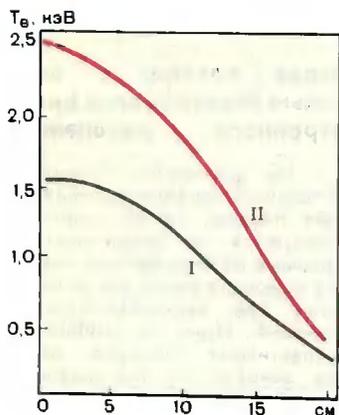
Нагрев плазмы с помощью электронного циклотронного резонанса

На установках токамак, где получена хорошая термоизоляция плазмы, сейчас широко исследуются и сравниваются различные методы нагрева плазмы с помощью инжекции пучков частиц или высокочастотного излучения. Один из наиболее перспективных методов нагрева основан на поглощении плазмой СВЧ-волн, частота которых совпадает с частотой вращения электронов в магнитном поле. Такие эксперименты выполнены В. В. Аликаевым и др. на установке «Токамак-10» (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова).

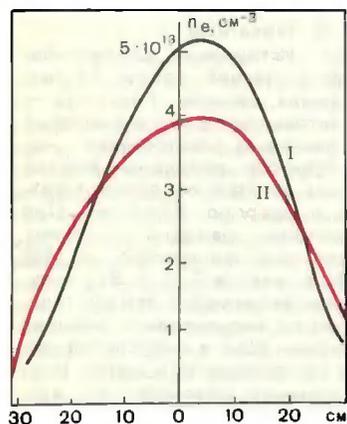
Источником СВЧ-колебаний с длиной волны 3,6 м служили четыре гиротрона — квантовых генератора, в которых с помощью электронного циклотронного резонанса энергия пучка электронов преобразуется в энергию СВЧ-волн. Они позволяли вводить в плазму излучение мощностью до 500 кВт в течение 0,15 с. Это излучение вводилось в камеру токамака по волноводам с внешней стороны тора и фокусировалось на оси плазменного шнура. Циклотронный резонанс при данной длине волны осуществляется, если магнитное поле равно 30 кГс.

Как показали эксперименты, энергия плазмы при нагреве увеличивалась на несколько килоджоулей; 60—80% мощности введенного излучения поглощалось в плазме в основном электронами в приосевой области шнура; в результате температура электронов на оси увеличивалась с 1,5 до 2,5 кэВ (т. е. с 15 до 25 млн градусов). Приrost ионной температуры был незначительным — порядка 100 эВ, что и следовало ожидать в условиях данного эксперимента из-за относительно медленного обмена энергией между электронами и ионами. При нагреве в течение 0,15 с температура электронов выходила на стационарный уровень, а температура ионов продолжала расти до конца нагрева, о чем

¹ Lettere al Nuovo Cimento, 1981, № 30, p. 166 (Италия).



Распределение температуры электронов T_e по радиусу плазменного шнура: I — до нагрева плазмы, II — после нагрева.



Распределение плотности электронов n_e по радиусу шнура: I — до нагрева, II — после нагрева.

свидетельствовала постоянно растущая мощность нейтронного излучения из плазмы.

Введение СВЧ-излучения в плазму сопровождалось также понижением ее плотности примерно на 20% и некоторым уменьшением времени удержания энергии в шнуре. При нагреве сильно, в 3—4 раза, возрастала теплопроводность электронов в центральной зоне шнура. Причины этих побочных явлений пока неясны.

Проведенные эксперименты показали, что СВЧ-нагрев плазмы на частоте электронного циклотронного резонанса можно применять в крупных

токамаках и использовать его для исследования зависимости параметров плазмы от температуры электронов.

Письма в ЖЭТФ, 1982, т. 35, вып. 3, с. 115—117.

Физика

Управляемое взаимодействие света с атомом

Еще в 1946 г. американский физик Е. Парселл¹ показал, что можно управлять скоростью излучения возбужденного атома, если поместить его в полость-резонатор с дискретным набором собственных колебаний (мод) электромагнитного поля. Находясь внутри резонатора, атом взаимодействует с электромагнитным полем (излучая или поглощая фотоны) только тогда, когда частота атомного перехода между двумя выделенными состояниями совпадает с частотой какой-либо моды резонатора. Меняя параметры резонатора и, следовательно, плотность мод в нем, можно управлять взаимодействием атома со светом, ускоряя или, наоборот, замедляя излучение и поглощение фотонов. Можно, например, искусственно удлинять время жизни короткоживущих в обычных условиях возбужденных атомных состояний, что имеет большое значение для задач спектроскопии.

Недавно специалисты Массачусетского технологического института (США) получили первое экспериментальное подтверждение этих теоретических предсказаний. Они исследовали влияние резонатора на поглощение атомами натрия равновесного излучения черного тела с температурой 180 К. Выяснилось, что если «выключить» из взаимодействия с атомами часть мод светового поля, то поглощение излучения уменьшается почти в два раза.

В эксперименте пучок атомов натрия, приведенных

в возбужденное состояние действием лазерного излучения, пропускался сквозь зазор шириной 0,3 см между плоскими широкими параллельными металлическими пластинами, образовавшими резонатор и находившимися в полости с «черным» излучением. Начальное возбужденное состояние атомов имело главное квантовое число 29 и орбитальное квантовое число 2. В ходе эксперимента анализировалась зависимость интенсивности поглощения черного излучения (с переходом атомов в вышележащее 30 состояние) от расстройки частоты атомного перехода относительно частоты резонатора.

Physical Review Letters, 1981, v. 47, № 4, p. 233; № 22, p. 1592 (США).

Физика

Черенковский лазер

Группа физиков под руководством Дж. Уолша (физический факультет Дартмутского колледжа, США) разработала лазер нового типа, основанный на эффекте Черенкова. Черенковский лазер обещает дать излучение высокой мощности, непрерывно перестраиваемое в инфракрасной и миллиметровой области длин волн. В некотором отношении он аналогичен лазеру на свободных электронах¹ — в обоих оптическая или квазиоптическая энергия извлекается из пучка релятивистских электронов; разница заключается в методе извлечения энергии.

В лазере на свободных электронах электронный пучок ускоряется и тормозится внешним пространственно модулированным магнитным полем. При замедлении электронов и происходит излучение энергии в оптическом диапазоне. В черенковском лазере электроны «путешествуют» по цилиндрическому волноводу из диэлектрика. Если электроны в нем

¹ Подробнее об этом см.: Чельцо в В. Ф. Лазеры на свободных электронах. — Природа, 1980, № 11, с. 107.

¹ Purcell E. — Phys. Rev., 1946, № 69, p. 681.

двигаются со скоростями, большими скорости света в диэлектрике, они создают оптическую ударную волну, которая вырывает фотоны из диэлектрика,— явление, известное под названием эффекта Черенкова. Если волновод поместить в резонатор Фабри—Перо, то создается обратная связь, происходит вынужденное испускание и в результате — когерентное излучение. Поскольку длина волны черенковского излучения зависит от скорости электронов, перестройка легко осуществляется простым изменением скорости пучка.

Для получения когерентного черенковского излучения в диапазоне длин волн 1,5 мкм — 1 см использовался пучок электронов с током 0,5—20 А (при ускоряющем напряжении 100—300 кВ). Выходные импульсы длительностью порядка 1 мкс имели мощность до нескольких десятков киловатт. Наиболее подходящим материалом для волновода был кварц благодаря его твердости и низким потерям в нем; лазер может работать также на полиэтилене и полистироле.

Теоретические оценки показывают, что возможно продвижение в инфракрасную область излучения, и сейчас планируются такие эксперименты с использованием линейного ускорителя.

По оценкам Уолша, черенковский лазер в ИК-диапазоне может дать мощность порядка нескольких мегаватт. Это не рекорд, так как лазеры на свободных электронах позволяют получать гигаватты, но этого вполне достаточно для нужд спектроскопии и фотохимии.

Laser Focus, 1981, v. 17, № 9, p. 12—14 (США).

Химическая физика

Высокая проводимость политетрафторэтилена

«Природа» уже сообщала об экспериментах, проводимых в Институте химической физики АН СССР группой специалистов

под руководством Н. С. Ениколопяна, в которых изучалось воздействие высокого давления на металлополимерные композиции и системы металл — тонкая диэлектрическая пленка — металл¹. Установлено, что при определенном давлении (называемом критическим), происходит обратимое скачкообразное уменьшение электрического сопротивления этих композиций на несколько порядков.

При атмосферном давлении собственная проводимость полимера очень мала, а переход носителей тока из металла в зону проводимости полимера затруднен, так как, согласно имеющимся представлениям, на границе раздела металл — полимерный диэлектрик существует высокий потенциальный барьер и носителям тока не удается преодолеть его, если только им специально не сообщается избыточная энергия. Поэтому проводимость таких металлосодержащих композиций низка. Однако при давлении, равном критическому, этот барьер исчезает, и становится возможным перенос носителей тока из металла в полимер. В результате и происходит скачкообразное уменьшение электрического сопротивления исследуемых образцов.

Высказывались предположения, что под воздействием высокого давления из металла в зону проводимости полимера переходят электроны, хотя прямых доказательств до недавнего времени получено не было. В последней серии экспериментов исследователи под руководством Н. С. Ениколопяна осуществили проверку этого предположения. Оказалось, что при давлении, не превышающем критического, в диэлектрике преобладает дырочный тип проводимости. А при критическом давлении в зоне проводимости политетрафторэтилена действительно появляется значительное количество инжектированных из металла электронов.

Доклады АН СССР, 1982, т. 262, № 4, с. 311—319.

Определена полная первичная структура минимального фермента РНК-полимеразы

РНК-полимеразы представляют собой ферменты, осуществляющие транскрипцию (или копирование) генетической информации, заключенной в молекуле ДНК, путем биосинтеза молекулы мРНК из рибонуклеозидтрифосфатов на ДНК-матрице. Молекула РНК-полимеразы кишечной палочки (*E. coli*) состоит из нескольких субъединиц; так называемый минимальный фермент, являющийся составной частью РНК-полимеразы, построен из двух одинаковых α - и двух различных β -полипептидных цепей, т. е. имеет состав $\alpha_2\beta\beta'$. Кроме того, в молекулу РНК-полимеразы *E. coli* входит еще одна субъединица — γ -фактор, участвующий в иницировании цепи молекулы мРНК. Таким образом, всю молекулу РНК-полимеразы *E. coli* можно представить формулой $\alpha_2\beta\beta'\gamma$.

Группа исследователей под руководством Ю. А. Овчинникова (Институт биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР) установила нуклеотидную последовательность оставшихся еще нерасшифрованными фрагментов структурного гена ДНК *E. coli*, кодирующих самую большую, β' -субъединицу РНК-полимеразы, и на этой основе расшифровала полную первичную структуру β' -субъединицы. Ранее той же группой исследователей была расшифрована полная первичная структура α - и β -субъединиц РНК-полимеразы и нуклеотидная последовательность отдельных фрагментов соответствующих участков ДНК *E. coli*¹.

Таким образом, завершена многолетняя работа: определена полная первичная структура всего минимального фермента

¹ Биоорг. химия, 1977, т. 3, № 2, с. 283; Доклады АН СССР, 1980, т. 253, № 4, с. 994; Биоорг. химия, 1981, т. 7, № 7, с. 1107.

¹ Природа, 1982, № 3, с. 86.

та РНК-полимеразы и соответствующего ему оперона ДНК *E. coli*, кодирующего β - и β' -субъединицы фермента. Установлено, что α -, β - и β' -субъединицы содержат соответственно 329 (молекулярная масса 36512 Д), 1342 (150618,6 Д) и 1407 (155162,5 Д) аминокислотных остатков. Оперон построен из 9450 пар оснований.

Доклады АН СССР, 1981, т. 261, № 3, с. 763—768; Биоорганическая химия, 1982, т. 8, № 1, с. 130—134.

Медицина

Еще один способ борьбы с отторжением трансплантатов

Разработанный в последние годы метод получения антител с помощью гибридом (клеточных культур, происходящих от сливающихся друг с другом двух разнородных клеток) позволяет получать в достаточных количествах антитела очень высокой специфичности¹.

Недавно врачи Главного Массачусетского госпиталя (США) использовали этот метод для борьбы с отторжением трансплантатов: при получении антитела, направленные против Т-лимфоцитов — клеток иммунной системы, способных вызывать отторжение пересаженных органов и тканей.

Вначале эти антитела ввели двум больным с пересаженными почками, у которых, несмотря на проводившуюся интенсивную терапию лекарствами, угнетающими иммунные реакции, появились признаки отторжения пересаженных органов. Антитела вводились каждому больному по 1—2 мг в день в течение 20 дней, после чего была вновь продолжена лекарственная терапия.

В результате угроза отторжения пересаженных почек у обоих больных полностью исчезла, а сами почки нормально функционировали в течение года наблюдений.

Затем аналогичное лечение было проведено у 6 больных с подобными же симптомами возможности отторжения пересаженных почек. Положительный результат был достигнут у 4 больных; предотвратили отторжение почек у 2 других больных не удалось.

Авторы рассматривают полученные результаты как предварительные. Они допускают, что более длительное введение антител могло бы дать лучшие результаты. Но следует считать с тем, что антитела повышенной специфичности являются чужеродными белками для организма человека, так как получены от мышей, и их введение в организм человека должно обязательно вызывать ответные иммунные реакции. Действительно, в крови у больных были обнаружены антитела против введенных антител. Тем не менее метод борьбы с отторжением трансплантатов, примененный врачами Массачусетского госпиталя, может быть с успехом использован в трансплантационной терапии.

Genetic Engineering News, 1981, v. 1, № 5, p. 3 (США).

Медицина

Вызванные потенциалы мозга — ценный диагностический признак

Кубинские физиологи А. Альварес и Г. Фернандес (Национальный центр научных исследований, Гавана) использовали метод вызванных потенциалов (электрических колебаний, возникающих в коре головного мозга в ответ на различные раздражители — звук, вспышки света, рисунки и др.) для диагностики осложнений при черепно-мозговых травмах.

Известно, что так называемое легкое сотрясение головного мозга, при котором потеря сознания длится минуты или даже секунды, тем не менее ведет иногда к тяжелым последствиям: ухудшению памяти, головным болям, эпилептическим припадкам, изменениям

темперамента и личности. Эти осложнения могут наступить спустя длительный срок (месяцы, годы), когда больного уже давно ушел из-под наблюдения. Как правило, ни клинические данные в первые дни болезни, ни стандартная регистрация электроэнцефалограммы (т. е. фоновой биоэлектрической активности мозга и ее изменений при глубоком дыхании) не позволяют прогнозировать будущие осложнения и своевременно начать лечение. Это ведет к парадоксу: последствия более тяжелых травм головного мозга легче распознать, а следовательно, и лечить, чем осложнения, наступающие после «легких» травм.

Авторы сравнивали форму волновых колебаний, зарегистрированных в правом и левом полушариях мозга, и вычисляли коэффициент, отражающий их сходство — степень межполушарной симметрии вызванных потенциалов. У всех больных с «легкой» черепно-мозговой травмой, обследованных в первые сутки, этот коэффициент отличался от соответствующего показателя у здоровых людей. Это означает асимметрию волн вызванных потенциалов. Наиболее четко такая асимметрия выявлялась в случаях, когда в качестве стимула-раздражителя использовался шахматный рисунок (чередование черных и белых клеток). Больные находились под наблюдением в течение года после травмы. На протяжении всего этого времени степень асимметрии вызванных потенциалов соответствовала тяжести состояния больных. Следовательно, характер асимметрии может использоваться как диагностический признак.

Таким образом, когда в случаях черепно-мозговой травмы нет убедительных клинических признаков тяжести поражения головного мозга, анализ асимметрии вызванных потенциалов дает возможность прогнозировать дальнейшее течение заболевания и позволяет своевременно провести медикаментозную профилактику посттравматических осложнений.

Физиология человека, 1981, т. 7, № 5, с. 822—827.

¹ Природа, 1980, № 11, с. 111.

Цитология

Многослойные культуры клеток на фторуглеродных подложках.

В Институте биологической физики АН СССР (Пушкино) разрабатывается новый способ выращивания перевиваемых линий животных клеток, где в качестве «опоры» для их роста вместо традиционных твердых субстратов (обычно стекла) применяют подложки из жидких перфторуглеродов. В этом случае клетки живут на границе раздела питательной среды и более плотной фторуглеродной жидкости, прикрепляясь к ее поверхности. Поскольку перфторуглероды обладают очень высокой проницаемостью и аккумулятивной способностью для кислорода и углекислого газа, это создает оптимальные условия для дыхания культивируемых клеток. Изучая возможность применения жидких подложек из различных перфторуглеродов, группа сотрудников института, возглавляемая Г. Р. Иванчиным, выявила необычные особенности роста на них клеток.

С помощью замедленной кадровой микрокиносъемки изучалось поведение линии фибробластов сирийского хомячка. При начальной плотности посадки $7 \cdot 10^4$ клеток на 1 см^2 через 72 часа культивирования на стекле и перфторуглеродных подложках (пленках) эти клетки формировали монослой одинаковой плотности: $(4,1-4,7) \cdot 10^5$ клеток/ см^2 . Однако в последующие двое суток рост фибробластов на стекле практически прекращался, тогда как на жидкой подложке они продолжали размножаться, образуя многослойную культуру. При этом характер роста фибробластов зависел от конкретного типа перфторуглеродной подложки.

Необычной была и реакция клеточных культур на жидких подложках в ответ на изменение температуры. Ее снижение с 37°C до комнатной на 2—3 суток культивирования (стадия формирования монослоя) приводило к тому, что отдельно лежащие распластанные фибро-

бласты за несколько часов округлялись, а клеточный монослой необратимо превращался в агрегаты сложной формы. Фибробласты же, растущие на стекле, сохраняют свою форму и топографию в течение многих суток хранения при пониженных температурах. Это различие в поведении клеток на жидких и твердых субстратах обусловлено, очевидно, более высокой подвижностью молекул поверхностного слоя перфторуглеродной подложки.

Изучение возможности культивирования фибробластов на поверхности шариков из жидких перфторуглеродов размером 100—200 мкм, взвешенных в питательной среде, показало, что клетки, попав на поверхность шарика, прикрепляются к ней, распластываются и обрастают шарик, образуя плотную многослойную клеточную капсулу.

Принимая во внимание физические свойства жидких перфторуглеродных подложек, методика культивирования на них клеток может стать эффективным инструментом для изучения таких важных вопросов, как подвижность клеток, межклеточные взаимодействия и др. Применение жидких перфторуглеродов может оказаться перспективным для промышленного культивирования клеток и получения больших клеточных биомасс.

Доклады АН СССР, 1981, т. 258, № 1, с. 225—228.

Биология

Соматическая гибридизация растений

Американские исследователи Д. Эванс (Научно-технологический институт Кемпбелла, штат Нью-Джерси), К. Флик и Р. Дженсен (Центр генетики и биохимии соматической клетки при Университете штата Нью-Йорк) получили методом соматической гибридизации новые межвидовые гибриды табака, устойчивые к заболеваниям.

Известно, что дикие виды табака *Nicotiana glauca*, *N.*

stocktonii, *N. repanda* устойчивы к поражению вирусом табачной мозаики, а другим заболеваниям, а культурный вид табака *Nicotiana tabacum* довольно легко ими поражается. Половая гибридизация между культурными и дикими видами табака не удается.

В качестве одного из партнеров при соматической гибридизации авторы использовали клетки из суспензионной культуры альбиносной (т. е. лишенной хлоропластов) линии культурного табака, а в качестве другого партнера — клетки, изолированные из мезофилла листьев диких видов. Альбиносный мутант был выбран с целью облегчить последующий отбор гибридов. Путем обработки изолированных клеток ферментами, разрушающими клеточные оболочки, получали «голые» протопласты. Затем такие протопласты каждого из диких видов табака в отдельности соединяли с протопластами альбиносного мутанта и вызывали их слияние. Образовавшиеся новые клетки высаживали на питательную смесь с минеральными добавками. В этой среде клетки размножались посредством митотического деления и формировали аморфное скопление — каллус. Небольшие кусочки каллуса пересаживали на другую питательную среду с добавлением растительного гормона 6-бензиладенина. Через некоторое время на этой среде из клеток каллуса регенерировали побеги с листьями.

На данном этапе гибридные растения были отделены от чистых линий. Поскольку альбиносная мутация является полудоминантной, гибридные побеги имели промежуточную окраску, т. е. были ярко-зелеными, а побеги чистых линий оставались либо бесцветными, либо темно-зелеными. Затем гибридные побеги укореняли, помещая на соответствующую среду.

Гибридные растения удалось получить при соматической гибридизации культурного вида только с двумя видами дикого табака: *N. glauca* и *N. stocktonii*. Гибридные клетки, возникшие после слияния протопластов альбиносного мутанта культурного табака и дикого вида *N. repanda*, хотя и переходили к последующим делениям, однако

в дальнейшем побегов не давали.

Целые гибридные растения имели смешанные признаки родителей: форму, размеры и окраску листьев и цветков. У них обнаружено также суммарное число некоторых изоферментов, унаследованных от родительских форм, например, таких как эстераза и аспарат аминотрансфераза. А главное — гибридные растения унаследовали устойчивость к заболеваниям. На искусственное заражение вирусами табачной мозаики они реагировали, как и растения диких видов, реакцией «сверхчувствительности», т. е. развитием некрозов в местах внедрения вирусов, тем самым отторгая их. Гибридные растения были способны к половому скрещиванию с родительскими видами, однако жизнеспособность семян, полученных при таком скрещивании, была низкой. Один из клонов соматических гибридов оказался способным к самоопылению.

Science, 1981, v. 213, № 4510, p. 907—909 (США).



Биология

Биологические ресурсы Мирового океана сегодня и завтра

Обобщив многолетние данные по вылову рыбных и нерыбных объектов в Мировом океане, П. А. Моисеев (Всероссийский заочный институт пищевой промышленности), рассматривает некоторые перспективы и пути наиболее полного и рационального использования биологических ресурсов морей, океанов и внутренних вод.

Ныне человечество использует в сельскохозяйственных целях 45 млн км² суши и получает с них около 98% основных компонентов питания (мясо, молоко, яйца, сахар, фрукты, овощи). 360 млн км² океана и внутренних водоемов обеспечивают лишь 2% потребности в пищевых калориях. Тем не менее удельный вес морских продуктов в обеспечении животным белком весьма зна-

чителен: добывая немногим более 70 млн т морских продуктов, мы удовлетворяем за их счет около 20% потребности в животных белках.

К 1950 г. был восстановлен достигнутый в 1938 г. объем вылова продуктов моря (23 млн т). В последующие два десятилетия темп добычи рыбы интенсивно нарастал и к 1970 г. достиг 67 млн т. Перелов перуанского анчоуса и некоторых других видов рыб снизил мировой промысел в 1972 г. до 62 млн т, но переключение на новые объекты позволило в 1972—1979 гг. повысить улов до 71,3 млн т (при среднегодовом приросте за эти 8 лет 1,1 млн т).

После введения 200-мильных зон к 1 февраля 1981 г. уже 112 государств объявили свои прибрежные воды закрытыми для рыболовства и иных форм хозяйственной активности других стран. Суммарная площадь этих зон составляет 38% всей акватории Мирового океана. В связи с этим существенно снизился объем вылова рыбы странами, традиционно осуществлявшими его в отдаленных акваториях. Так, вылов развитыми странами снизился на 1,34 млн т в год; при этом потери только шести капиталистических стран (Великобритания, Дания, Испания, Португалия, Франция, ФРГ) составили 820 тыс. т; объем вылова социалистических стран снизился на 1,28 млн т (СССР, Болгария, ГДР и Польша). Некоторым капиталистическим странам, ведущим промысел в основном в своих прибрежных водах, удалось его увеличить: так, на 1,4 млн т возрос суммарный вылов рыбы США, Канадой, Австралией, Новой Зеландией и Исландией.

В 1979—1980 гг. в китайской печати появились сведения о масштабе рыболовного промысла КНР. После 1958 г. темпы прироста вылова были очень низкими: в 1957 г. добыто 3,12 млн т, в 1972 г. — 3,68 млн т. В последние годы вылов вновь стал снижаться, что, по данным КНР, вызвано как негативными последствиями «культурной революции», так и систематическим переловом в прибрежных водах, приведшим к рез-

кому снижению запасов рыбы-сабля, горбыля и других промысловых объектов. Запасы промысловых рыб в Биханском заливе полностью исчерпаны, а в Желтом море в уловах преобладает молодь.

В Мировом океане за период с 1974 по 1978 г. в результате перелова снизился на 5,7 млн т вылов таких важных промысловых рыб, как треска, минтай, атлантическая сельдь, перуанский анчоус, европейская сардина, атлантическая скумбрия. С другой стороны, в связи с освоением новых районов и новых объектов выросла добыча североатлантической мойвы, японской скумбрии, японской сардины, чилийской сардины, чилийской ставриды, североатлантической путасу и других видов.

Биоресурсы 200-мильной зоны некоторых стран пока еще используются неполностью: по-видимому, недоулавливается до 20—25 млн т традиционных объектов морского промысла. У берегов Аргентины и Бразилии, например, ежегодно добывается 1,4 млн т, тогда как можно добывать до 5—6 млн т.

Крайне медленно осваиваются ресурсы открытых районов океана, где может быть увеличен вылов скумбрий, ставриды, макрелешку, сардин, летучих рыб, кальмаров. Недостаточен промысел рыб в районах поднятий океанического ложа (макрурус, пристипома, элигонус). Сложность поиска объектов лова на огромных площадях океанической пелагиали (более 200 млн км²), работы с тралом на глубине 1,5—2 км весьма затрудняют промысловое освоение этой обширнейшей акватории Мирового океана. Между тем около 10% этой площади занимают участки с повышенной биопродуктивностью — здесь возможен ежегодный вылов от 6 до 13 млн т.

Мелкие (менее 8—10 см) виды рыб, равно как и представители ракообразных (криль), могут стать новым источником биоресурсов океана. Существенно, что эти мелкие формы занимают более низкий этаж в трофических цепях Мирового океана; они благода-

ря огромной общей воспроизводительной способности менее подвержены опасности перелома. Это, в принципе, позволяет резко увеличить их промысел — до 100 млн т.

Только с морских ферм Японии получает ныне 1 млн т продукции, а в связи с развитием марикультуры рассчитывает в ближайшие десятилетия получать не менее 4—5 млн т.

Осуществление мероприятий по более полному использованию видовой разнообразия промысловых объектов, воспроизводству и охране морских биоресурсов позволит увеличить вылов в прибрежных водах СССР на 1,0—1,5 млн т. Развитие морских ферм и иных форм марикультуры даст возможность добывать у берегов СССР до 2,5 млн т продукции. Однако наиболее перспективными биологическими ресурсами могут стать антарктический криль и мезопелагические (обитающие на глубине 200—800 м) рыбы как объекты низкого трофического уровня.

Биология моря, 1981, № 3, с. 68—75.

Зоология

«Календарь» морской черепахи

Морская черепаха всегда точно знает, когда пришел день возвратиться на родину, чтобы в определенное время отложить яйца. Но как она определяет, что такой момент настал? Среди специалистов сейчас распространена гипотеза, что черепаха ориентируется по температуре воды. Какую-то роль она, несомненно, может играть, но остается неясным, почему черепаха не сбивает с толку разнообразие погодных условий, меняющихся год от года, или непостоянство температуры в морских течениях, колеблющейся со временем и с глубиной.

Американский зоолог Д. Оуэнс (Техасский университет) высказал предположение, что сигналом для черепахи служит не температура среды, а долгота дня. Ведь длительность

светового периода, как теперь доказано, определяет начало брачного поведения у многих птиц, рыб и млекопитающих.

Оуэнс провел в лаборатории опыты, во время которых по ночам включал в террариуме яркий свет. И всякий раз в организме живших там черепах *Thalassohelis caretta* резко уменьшалось содержание гормона мелатонина. Действительно, вырабатывающая этот гормон шишковидная железа у морских черепах по размеру — одна из крупнейших среди всех позвоночных животных. Вполне вероятно, что уменьшение количества выделяемого ею гормона может влиять на поведение черепахи. Длина дня со сменой сезона меняется; свет «включает» и «выключает» эндокринный аппарат, и вырабатываемый им гормон подсказывает черепахе, «какое число на календаре».

Science News, 1981, v. 120, № 3, p. 47 (США).

Физиология

Ферромагнетик в голове тихоокеанского дельфина

В последние годы все больше накапливается данных в поддержку гипотезы о магнитной ориентации животных. В частности, магнитные материалы — ферромагнетики — найдены у пчел, почтовых голубей. Ныне, впервые в мировой практике, у дельфинов обнаружены участки твердой оболочки мозга, обладающие естественной остаточной намагниченностью.

Сотрудники Лос-Анджелесского музея естественной истории (штат Калифорния, США) Дж. Цегер, Дж. Данн и М. Фуллер детально, с помощью магнитометра, изучили сагитальные срезы головного мозга у дельфинов, выброшенных на тихоокеанское побережье. Обнаруженные у четырех из пяти исследованных дельфинов участки мозга с остаточной намагниченностью не имеют строгой локализации, но в целом приурочены к области, которая расположена приблизительно в 2 см за стыком затылочной, теменной и лобной

костей. Магнитная ткань находится в серповидной складке мозга, значительно окостеневшей. Задняя часть этой складки переходит в перегородку, отделяющую большой мозг от мозжечка.

При отделении твердой оболочки мозга от кости исследователи замеряли магнитный момент нескольких кубических миллиметров ткани. Он оказался равным $2 \cdot 10^{-3}$ гаусс/см³. Воздействие магнитного поля напряженностью всего в несколько эрстед легко размагничивало ткань. Невооруженным глазом в ткани легко просматривались непрозрачные дискообразные структуры, в которых при химическом анализе найдено много железа и абсолютно не обнаружено никеля и хрома — других обладающих магнитными свойствами элементов.

При сканировании структур на электронном микроскопе оказалось, что их поверхность буквально оплетена сетью тонких и более толстых нервных волокон, а в середине структуры просматривается древоподобное образование, которое исследователи считают остатком магнитного рецептора.

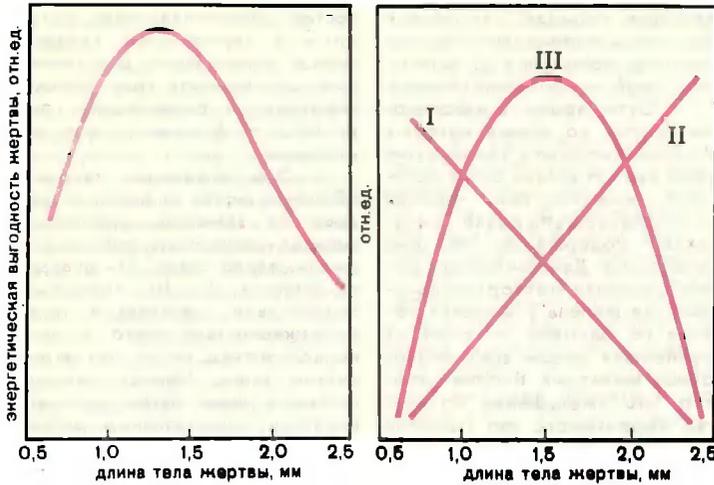
Хотя магнитные свойства найденных структур легко теряются при воздействии слабого размагничивающего поля, наличие заметной магнитной анизотропии, а главное — хорошо развитой нервной сети вокруг этих структур дает основание предполагать, что они могут использоваться дельфинами для оценки своего положения по отношению к силовым линиям магнитного поля Земли.

Science, 1981, v. 213, № 4510, p. 892—894 (США).

Экология

Что определяет оптимальный для хищника размер жертвы!

В современной экологии весьма популярна хорошо формализованная математически концепция «оптимального питания хищника». Согласно этой концепции, хищник всегда стре-



Энергетическая выгодность жертв (дафний) разного размера для подстерегающего хищника (хаборуса). Рассчитана по соотношению энергии, затрачиваемой хищником на охоту и поедание добычи, и энергии, получаемой им в результате поедания этой добычи.

мится выбирать таких жертв, которые позволяли бы ему получать большое количество энергии при относительно небольших ее затратах на охоту и поедание добычи. Иными словами, хищник максимизирует количество энергии, получаемой в единицу времени, или же минимизирует время, необходимое для получения некоторого «прижиточного минимума» энергии.

Указанная концепция недавно была использована Р. Пастороком² (Университет штата Вашингтон, США) при изучении питания хищных личинок некровососущих комаров хаборусов (*Chaoborus*).

Эти крупные прозрачные личинки (известные также под названием «коретра») часто встречаются в планктоне пресных водоемов. Личинки хаборуса — подстерегающие хищники: обычно они неподвижно висают в толще воды и стремительно нападают на своих жертв

Зависимость эффективности атаки хищника (I), частоты встречи хищника и жертвы (III) и уязвимости жертвы (II), рассчитанной как произведение величин I и II, от размера жертв.

(планктонных ракообразных) только тогда, когда те проплывают в непосредственной близости. О приближении жертв хаборус узнает по колебаниям водной среды.

В проведенных экспериментах хаборусу предлагали в качестве жертв дафний (*Daphnia pulex*) разного размера. Рассчитав по известным соотношениям количество энергии, которое хаборус затрачивает на потребление дафний определенного размера и которое получает при их поедании, Пасторок показал, что «выгодность» жертвы для хищника меняется с изменением ее размера. График данной зависимости — выпуклая кривая с четко выраженным максимумом, соответствующим некоторому среднему размеру дафний.

Другая важная характеристика жертвы, также оцененная Пастороком, — это ее «уязвимость» для хищника. Сама уязвимость определена в работе как произведение двух величин: частоты встреч жертвы с хищником и эффективности атаки хищника, оцененной как процент попаданий, закончившихся успешным захватом и удержанием добычи. Оказалось, что каждая

из этих величин связана с размером жертвы, а именно: с увеличением размера вероятность встречи жертвы с хищником монотонно возрастает (вследствие большей скорости передвижения крупных дафний), а эффективность атаки хищника монотонно падает (поскольку хаборусу трудно схватить и удержать более крупную добычу). Подобное соотношение компонентов «уязвимости» приводит к тому, что зависимость данной величины от размера тела жертвы описывается выпуклой кривой с максимумом, соответствующим среднему размеру. Иными словами, хаборусу наиболее доступны дафнии среднего размера, поскольку они достаточно часто с ним сталкиваются и вместе с тем их достаточно легко схватить.

Так как кривые, отражающие зависимость «выгодности» и «уязвимости» жертвы от размеров ее тела, очень похожи и максимумы их приходятся почти на один и тот же размер, автор приходит к заключению, что данный пример не может служить подтверждением указанной концепции. Преимущественный выбор хаборусом дафний среднего размера (доля их в составе пищи превышает их долю от общей численности в окружающей среде), отмеченный как в природе, так и в эксперименте, может быть просто следствием их большей доступности, а не большей энергетической ценности. Вполне вероятно, что оценка уязвимости жертв в тех случаях, которые рассматриваются как подтверждающие концепцию оптимального питания хищника, может существенно изменить систему сложившихся представлений.

А. М. Гиляров,
кандидат биологических наук
Москва

Охрана природы

Амфибии и рептилии — важные индикаторы загрязнения среды

В. С. Петров и С. А. Шарыгин (Горьковский государ-

¹ Schoener T. — Ann. Rev. Ecol. Syst., 1971, v. 2, p. 369; Пианка Э. Эволюционная экология. М., 1981, с. 399.

² Pastorok R. — Ecology, 1981, v. 62, № 5, p. 1311.

ственный университет им. Н. И. Лобачевского) работали в рамках Советской национальной программы «Человек и биосфера» метод индикации загрязнения окружающей среды, основанный на изучении динамики содержания и распределения микроэлементов в тканях, органах и целом организме амфибий и рептилий. Выбор таких объектов оправдан тем, что у всех позвоночных и у человека, в принципе, действуют одни и те же ферментные системы, которые активируются или подавляются ионами металлов, попадающими из окружающей среды.

При сравнении концентраций некоторых химических элементов в организме ряда видов лягушек и ящериц в природных биотопах и на урбанизированных территориях установлены статистически достоверные различия в содержании тяжелых металлов, особенно свинца. Используя в своей работе спектральный анализ, авторы впервые в нашей стране определили содержание 32 металлов в организме 34 видов амфибий и рептилий фауны СССР. Обнаружено, что некоторые виды способны избирательно накапливать тяжелые металлы в условиях крупных городов.

Полученные данные авторы предлагают использовать для построения системы экологического мониторинга на урбанизированных территориях.

Наземные и водные экосистемы. Горький, 1981, вып. 4, с. 41—48.

Геология

Исследования дна на северо-востоке Тихого океана

Экспедиция на канадском научно-исследовательском судне «Хадсон» в мае—июне 1981 г. изучала геологическое и геофизическое строение дна Тихого океана в районе, примыкающем к Британской Колумбии (крайняя западная провинция Канады). Здесь находится большое число подводных вулканов и разломов

земной коры, связанных с высокой сейсмической активностью. Судно было оборудовано дистанционно управляемой глубоководной геолого-геофизической аппаратурой, включавшей систему сейсмического профилирования, снабжено буровым устройством для подъема колонок грунта и температурным датчиком, позволяющим получить информацию о величине теплового потока.

Геофизические измерения и сбор геологических образцов в районе подводного хребта Хуан-де-Фука, расположенного примерно в 200 км от о-ва Ванкувер (Канада), где глубина океана около 2000 м, подкрепляют ранее высказывавшееся мнение, что этот хребет является центром спрединга (растяжения) океанического дна и, следовательно, местом подъема с глубины вулканических пород. Формирующаяся здесь молодая океаническая кора перемещается в сторону континента, погружается под него и там вновь подвергается переплавлению под вулканической системой Каскадных гор.

В рейсе исследовалась природа неконсолидированных осадочных пород и их мощность, а также строение континентального шельфа между о-вами Королевы Шарлотты, о-вом Ванкувер и побережьем континента. Особый интерес представляет открытие мелководной банки с мощным слоем ракушечника, что свидетельствует о весьма активном образовании карбоната кальция. До сих пор такая интенсивная продуктивность считалась возможной только в тепловодных бассейнах более низких широт.

Геотермические измерения в зал. Королевы Шарлотты указывают на аномально высокие температуры в породах, подстилающих ложе океана в одном из пунктов залива. Можно предполагать, что здесь происходит растяжение земной коры или образуется рифт. Это открытие существенно как с георетической точки зрения, так и в плане поиска залежей нефти.

Сейсмические и другие геофизические измерения позволили точно определить место расположения и строение приуроченной к о-вам Королевы

Шарлотты зоны разломов земной коры (одной из крупнейших в мире). Именно вдоль этих разломов, согласно гипотезе новой глобальной тектоники, происходит относительное смещение гигантских Тихоокеанской и Северо-Американской плит литосферы со скоростью 6 см/год. Такие движения сопровождаются мощными землетрясениями (среди них — катастрофическое землетрясение 1949 г. магнитудой 8,0 по шкале Рихтера); они аналогичны смещениям земной коры на суше, в зоне известного разлома Сан-Андреас (штат Калифорния).

Зона разломов о-вов Королевы Шарлотты считается важнейшим источником сейсмической опасности для всей Канады, причем бурное экономическое развитие примыкающего района делает ее изучение особенно существенным.

Episoides, 1981, № 4, p. 18 (Канада).

Литология

Генетическая неоднородность осадков Индийского океана

Н. А. Лисицына и Г. Ю. Бутузова (Геологический институт АН СССР) — участники геолого-геохимической экспедиции на судне «Академик Курчатов» (22-й рейс, 1976 г.) — исследовали типы и происхождение донных отложений в западной части Индийского океана. Была изучена верхняя часть осадочной толщи с возрастом от современного до плиоцена (около 5 млн лет).

У подножия о-ва Мадагаскар донные осадки представлены карбонатно-глинистыми илами, в составе которых преобладает переотложенный материал латеритных кор выветривания острова (подобные коры характерны для гумидного тропического климата, они образуются при выветривании ультраосновных, основных пород, сланцев и т. д.). В центральной части Маскаренской котловины накапливаются глубоководные красные глины — переотложенные продукты раз-

рушения коренных пород и латеритных кор Мадагаскара. В восточной части котловины, наиболее удаленной от побережий, отлагаются биогенные карбонатные осадки с заметным содержанием вулканического материала — в этом сказывается влияние Аравийско-Индийского срединно-океанического хребта.

Поверхность хребта покрыта карбонатным илом, в его осевой части в осадках еще больше возрастает доля вулканического материала. В рифтовой зоне хребта, кроме того, дополнительно выявлены три типа осадков: так называемые эдафогенные (т. е. местные) обломочные образования — перерожденные породы рифтового базит-гипербазитового

комплекса; вулканогенно-обломочные — результат подводного окисления; гидротермальные осадочные — результат деятельности подводных гидротерм. Наличие всех этих отложений в пределах срединно-океанического хребта характеризует его как крупный источник осадочного материала.

В Центральной котловине Индийского океана накапливаются тонкие бескарбонатные окисленные по всей толще кремнисто-глинистые илы. Они отличаются от типичных красных глин, что вызвано более высокими скоростями кремнистого осадконакопления в этом районе.

Полученные данные указывают на генетическую неоднородность осадков Индийского океана. Чем обусловлено это разнообразие типов донных отложений? Принято считать, что в образовании определенных типов осадков основную

роль играют большая или меньшая удаленность от источников сноса — материков, а также принадлежность тому или иному климатическому поясу Земли (циркумполярная и широтная зональности). Новые данные показывают, что, помимо этого, тип донных осадков зависит как от состава разрушаемых пород континентальной или островной суши, так и от внутриокеанических источников материала. Тем самым сделан новый шаг в познании общих закономерностей океанической седиментации в Индийском океане.

Литология и полезные ископаемые, 1981, № 6, с. 3—12.

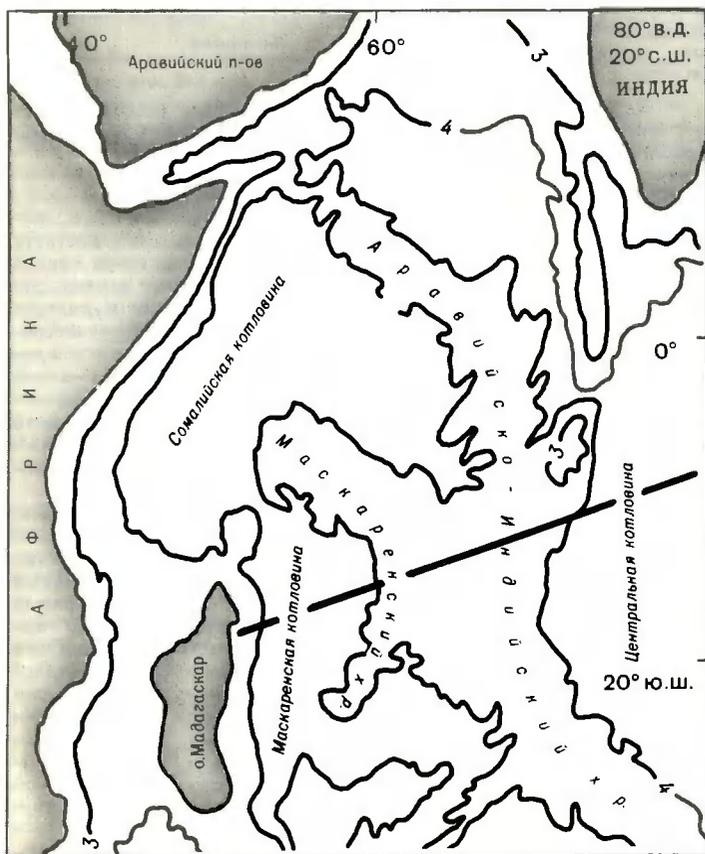
Геология

Литологический профиль через западную часть Индийского океана. Изобаты — в километрах.

Нефть Северного моря

Открытие в 60-х годах газовых месторождений в Северном море, а затем крупного нефтяного месторождения Экофиск оказало значительное влияние на экономику Западной Европы. В настоящее время запасы нефти под дном моря оцениваются в 20—40 млрд баррелей (1 баррель = 159 л). Е. Ван дер Барк и О. Томас («Филлипс петролеум компани», США) приводят данные об истории открытия месторождения Экофиск, его положении в структуре дна моря, происхождении и условиях залегания нефти. Сведения такого рода, являясь собственностью нефтяных компаний, редко появляются даже в специальной геологической литературе.

Фундамент Северного моря в юрское время был разбит многочисленными грабенами на систему блоков. Грабены перекрыты мощной осадочной толщей и в современном рельефе дна не выражены. В позднелюрское время на дно моря оседали мелководные глины, в меловой период — более глубоководные карбонатные осадки, а в третичную и четвертичную эпохи — морские обломочные отложения. Важной особенностью геологии этого региона является то, что под всеми этими осадками находятся соли пермского





Геологическое строение фундамента Северного моря в районе нефтяного месторождения Экофиск (цветом показана система рассекающих фундамент грабенов).

возраста. Выжимаясь вверх под воздействием веса вышележащих слоев, соль создала ловушки для углеводородов сначала в юрских породах, а затем — в меловых и третичных. Высокий тепловой поток, идущий из глубин Земли в районах грабенов, вызвал генерацию нефти и газа. К наиболее крупному грабену, Центральному, на глубине около 3 км ниже уровня дна приурочена довольно простая антиклинальная структура, получившая название Экофиск. Ее площадь 49 км², амплитуда поднятия — 244 м. Породы, слагающие эту структуру, обладают высокой пористостью, необычной для известняков: в ряде случаев поры составляют до 30—40% объема пород. Один из осадочных слоев (мощностью около 200 м), перекрывающих эту структуру на глубине около 2 км, имеет необыкновенно низкую скорость прохождения сейсмических волн — всего 1,5 км/с. Но объясняется это не слабой уплотненностью осадка, а насыщенностью его газом, мигрировавшим в антиклинальную струк-

туру из окружающих пород.

На месторождении Экофиск нефть обнаружена как в миоценовых, так и в меловых отложениях. Однако ни те, ни другие не являются нефтематеринскими породами. Тонкие геохимические анализы показали, что единственным источником нефти в этом районе являются киммерийские (позднеюрские) глинистые сланцы. Как юрская нефть смогла попасть в ловушки, созданные в меловых и третичных породах, остается не очень ясным. Авторы предполагают, что соляная тектоника вызвала раздробление карбонатных отложений и зоны трещиноватости послужили каналами миграции жидких и газообразных углеводородов.

Месторождение Экофиск оказалось своеобразным центром, вокруг которого обнаружено еще семь нефтяных и газовых полей, объединенных с Экофиском в единую систему трубопроводами и связанную подводными нефте- и газопроводами с Англией и Западной Германией. В совокупности эти поля дают в день 0,5 млн баррелей нефти и 45 млн кубометров газа.

American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1981, v. 65, № 11, p. 2341—2363 (США).

Новый вулкан в Тихом океане

На дне Тихого океана насчитываются многие тысячи подводных гор вулканического происхождения. Извержения подводных вулканов бывают не только центрального типа (т. е. происходят по каналам, идущим из глубин к поверхности), но и трещинного характера, когда магла разливается по обширным площадям. Если иметь в виду новейшее геологическое время, то основная роль в вулканизме Тихоокеанской впадины принадлежит трещинному типу извержений, локализованному в гребневой зоне гигантского Восточно-Тихоокеанского поднятия, входящего в мировую рифтовую систему.

Поразительным обстоятельством является то, что среди великого множества подводных гор в центральных областях океана, за пределами Восточно-Тихоокеанского поднятия, активных вулканов обнаружены всего лишь единицы. Три из них затеряны среди полинезийских островов; два вулкана расположены к западу от Чили; один подводный вулкан известен в Гавайском хребте. Если говорить об островах, то и здесь активный вулканизм проявляется ныне столь же ограниченно — в основном на островах Гавайской цепи, Галапагосских и Самоа, хотя в недавнем геологическом прошлом вулканические извержения было больше. В самые последние годы описано два замечательных случая выхода горячих минерализованных вод на океаническое дно, что свидетельствует о недавнем вулканическом процессе. Температура фонтанирующих струй около 350°С. Они связаны с трещинными зонами восточнее Галапагосских о-вов и вблизи устья Калифорнийского залива.

И вот недавно стало известно еще об одной зоне молодого вулканизма¹, лежащей в 270 милях к западу от побережья в пограничном райо-

¹ Geotimes, 1981, v. 26, № 12, p. 25; Science News, 1981, v. 120, № 14, p. 215.

не Канады и США. Зона находится на глубине около 2300 м и связана с расщелиной в гребневой части хребта Хуан-де-Фука, являющегося центром спрединга. Извлеченные отсюда лавы, свежие и стекловатые, имеют возраст всего лишь около 100 лет. Особенно интересно, что здесь обнаружен горячий источник, воды которого обогащены различными металлами. При соприкосновении с холодной водой металлы выпадают, образуя металлоносные осадки и даже руды. Последние содержат преимущественно сфалерит (до 90%), где цинка 55%, а также серебро, медь и селен. Эти данные чрезвычайно важны для расшифровки генезиса некоторых месторождений на суше.

Исследования в районе обнаружения нового вулкана выполнялись экспедицией на научно-исследовательском судне «С. П. Ли», принадлежащем Управлению геологической съемки США.

Член-корреспондент АН СССР
Ю. М. Пуцаровский

Москва

Гляциология

Максимальная толщина льда

До сих пор максимальной мощностью ледника считалась величина 4540 м; она была измерена в Восточной Антарктиде, в точке с координатами 75°5' ю. ш., 117°5' в. д. Недавно сотрудники Института полярных исследований им. Р. Ф. Скотта в Кембридже (Великобритания), обработав данные радиозондирования ледникового покрова, установили, что в другом пункте Восточной Антарктиды (69°54' ю. ш., 135°12' в. д.) она достигает 4776 м.

К настоящему времени толщина льда сколько-нибудь надежно измерена примерно лишь на 50% площади Антарктиды. Таким образом, вполне возможно, что в каком-либо еще пункте ледового континента она приблизится к 5 км.

Antarctic Journal of the US, 1981, v. XVI, № 1, p. 8 (США).

Метеорология

Солнечная активность и осадки

В вычислительном центре Австралийского метеорологического бюро были сопоставлены данные многолетних измерений атмосферных осадков, выпадающих на этом материке, с изменениями солнечной активности. В качестве массива данных использовались сведения по 18 станциям, расположенным в разных районах материка; эти сведения охватывают время, на протяжении которого здесь ведутся наблюдения — от 85 до 140 лет.

Результаты корреляционного анализа говорят о том, что в периоды максимума и минимума солнечной активности (которые берутся с точностью плюс-минус два года) количество осадков в Австралии отличается весьма незначительно, находясь в пределах обычных среднегодовых колебаний, не совпадающих по времени с циклами солнечной активности.

Это позволяет отвергнуть (по крайней мере для Австралии) утверждения, что количество осадков зависит от солнечной активности, которая якобы может быть использована для их долгосрочного прогноза.

Search, 1981, v. 12, № 3/4, p. 83 (Австралия).

Археология

Сколько лет палеоамериканцу!

По данным археологии, наиболее вероятное время проникновения человека в Новый Свет — 30—35 тыс. лет назад. Но в 1974 г. научные сотрудники Скриппсовского океанографического института в Ла-Холье (штат Калифорния, США) Дж. Бада и Р. Шредер выступили с утверждением, что кости древнего человека, найденные на североамериканских стоянках Дель-Мар и Саннивейл, имеют возраст 50—70 тыс. лет. При этом они пользовались но-

вым методом определения возраста ископаемых остатков, который основывается на измерении двух различных форм (изомеров) аминокислот в этих остатках. В белках живого организма встречается лишь один из таких изомеров, который после смерти постепенно превращается в другой, причем темпы такого превращения известны. Это и позволяет судить о том, сколько лет назад существо было живым.

Для большинства археологов утверждение Бады и Шредера было неприемлемым, ибо появление человека 70 тыс. лет назад никакими другими свидетельствами не подтверждается. Новое слово в этой дискуссии ныне высказали геохимики-палеонтологи Дж. Бишоф и Р. Розенбауэр (Управление геологической съемки США). Они в своих исследованиях опирались на технику изотопного датирования. Живой организм не содержит урана, но после смерти начинает поглощать его из окружающей среды. При этом скорость, с которой уран-238, распадается, превращается в торий-230, а уран-235 — в протактиний-231, известна. Так появляется возможность судить, сколько времени уран пробыл в ископаемых остатках и, следовательно, о возрасте подвергнутого анализу органического вещества.

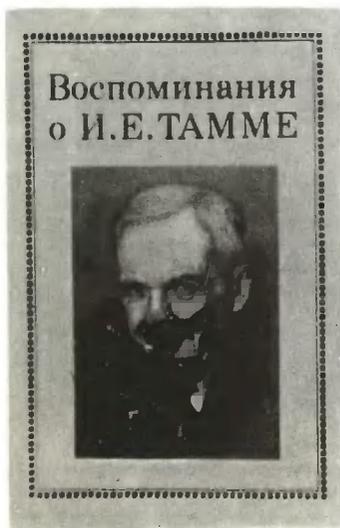
Определенный этим способом возраст ископаемого человеческого скелета со стоянки Дель-Мар — около 11 тыс. лет (вместо 48 тыс. по определениям Бады с коллегами). Аналогичным образом и возраст ископаемых остатков человека со стоянки Саннивейл теперь считается не древнее 8300 лет, тогда как ранее его относили к эпохе, отстоящей от нас на 70 тыс. лет. Да и геологические данные, судя по всему, подтверждают относительную молодость этих находок. По данным Бады, однако, датировки по урану дают систематическую ошибку в сторону «омоложения» образцов.

Science, 1981, v. 213, № 4511, p. 1003—1005 (США).

Игорь Евгеньевич Тамм

Л. И. Пономарев,
доктор физико-математических наук

Дубна



ВОСПОМИНАНИЯ О И. Е. ТАММЕ.
М.: Наука, 1981, 296 с.

8 июля 1982 г. Игорю Евгеньевичу Тамму исполнилось бы 87 лет. Его не стало 12 апреля 1971 г. Теперь его друзья и ученики издали сборник воспоминаний о нем: тридцать четыре человека разных специальностей, возрастов и темпераментов рассказывают о своих встречах, беседах и работе с Таммом. Воспоминания эти различны по стилю, настроению и отобранному фактам, но все они — без исключения — согреты искренней печалью об ушедшем учителе и друге и этим чувством объединяются.

Знаменитый физик, академик, Нобелевский лауреат,

Герой Социалистического Труда — уже этого достаточно, чтобы имя Тамма знал каждый образованный современник. Профессионалы также отдавали должное этим знакам признания, но другие критерии для них были все-таки важнее. Они помнили, что именно Тамма Пауль Эренфест прочил своим преемником на кафедру Лоренца в Лейдене, им хорошо были известны «таммовские уровни» и метод Тамма — Данкова, они знали, что представление о квантах колебаний кристаллической решетки (впоследствии названных фононами) утвердилось в физике благодаря Тамму, что он — первый теоретик, который предсказал наличие магнитного момента у нейтрона, использовал понятие изобары в теории пион-ядерного рассеяния и предпринял первую попытку объяснить короткодействующий характер ядерного взаимодействия с помощью β -сил (прообраз теории мезонных сил Юкавы), им было известно и то, что он — соавтор идеи управляемого термоядерного синтеза и теории свечения Вавилова — Черенкова.

Поколению физиков, к которому принадлежит автор этих строк, все эти факты также известны, но им уже, по большей части, не довелось работать с Таммом, говорить с ним и даже просто видеть его. Этому и будущим поколениям остаются лишь устные предания и воспоминания друзей, из которых каждый по мере своих сил и разумения воссоздает для себя одушевленный образ Игоря Евгеньевича и пытается понять секрет его воздействия на современников. Каким же предстает Игорь Евгеньевич Тамм со страниц сборника воспоминаний?

«Человек ниже среднего роста, коренастый, седой и очень подвижный...», «лицо выразительное, с глубокими, еще в молодости появившимися морщинами...», «на редкость живое и привлекательное...» «Двигался

стремительно, говорил быстро, увлеченно, но четко...» «Хорошо знал три языка, любил шахматы, стихи и альпинизм...» «Был равнодушен к официальному пренебрежению и официальным наградам...» (стихи «Быть знаменитым некрасиво...» были ему созвучны). «Его суждения были непосредственными и искренними, критика — прямой и бескомпромиссной — при полной доброжелательности и уважении к собеседнику...» «С ним можно зимовать на любом полюсе», — говорили о нем друзья-альпинисты.

Он всегда был мужественным и просто смелым человеком: и в ту далекую ночь гражданской войны, когда под угрозой расстрела выводил формулу для ряда Тейлора, и двадцатью годами позже, когда отстаивал научную истину от нападок воинствующего невежества, и в последние три года жизни, когда в буквальном смысле слова был прикован к аппарату «искусственные легкие».

Вспоминая Тамма, авторы сборника многократно и независимо друг от друга повторяют слова:

доброта,
искренность,
душевная щедрость,
честность и принципиальность,
порядочность и деликатность,
уважение к личности,
романтизм,
азарт и увлеченность,
темперамент борца,
неумство,
неустойчивость,
духовная свобода,
отсутствие позы,
независимость мышления
и абсолютная научная добросовестность.

Им удалось вспомнить только два недостатка: чрезмерную доверчивость и неожиданные, необъяснимые вспышки гнева, которые иногда — очень редко — овладевали Игорем Евгеньевичем (и о которых он долго потом сожалел). Но чаще всего авторы подчеркивают

безусловный нравственный авторитет Тамма и пытаются объяснить «обаяние его личности, которое испытывал едва ли не каждый, кто соприкасался с ним», хотя и признают при этом, что оно «вообще не может быть разложено на элементы и рационально понято».

В Игоре Евгеньевиче текла кровь русских, немецких, украинских, грузинских, татарских предков, а по своему воспитанию он принадлежал к тому высокообразованному кругу российской интеллигенции на переломе веков, которая отличалась отсутствием сословных предрассудков, трудолюбием и независимостью взглядов, благородством целей и стойкостью жизненных принципов, уважением к личности и высоким чувством собственного достоинства. Этот «кодекс чести» Игорь Евгеньевич усвоил очень рано и неуловимо следовал ему до конца жизни. Ему был органично присущ демократизм, но без тени фамильярности: всех — от академика до первокурсника — Игорь Евгеньевич неизменно звал по имени-отчеству. Свойственная ему высокая культура человеческого общения обязывала к сдержанности, и при всей искренности и страстности натуры он никогда не обременял даже близких друзей своими горестями. Зато всегда готов был выслушать других и помочь: «Что я должен сделать?» — коротко спрашивал он в таких случаях, и многие памятливы эти характерные таммовские слова.

В науку Тамм пришел поздно: ему было 29 лет, когда он напечатал свою первую работу. За всю оставшуюся жизнь он опубликовал 55 научных статей — не так много по нынешним меркам, но многие из них пережили его самого. К своим работам Игорь Евгеньевич был предельно требователен, себя оценивал достойно, но скромно, гениями почитал немногих: Ньютона, Фарадея, Эйнштейна, Менделеева, Бора, Дирака, а среди них особо выделял Фарадея. Своим учителем Тамм считал Л. И. Мандельштама и часто повторял: «Я всем, всем ему обязан». Работал он всегда много, часто — ночами, как правило, над самыми трудными и принципиальными проблемами фи-

зики. У него была мечта: «Дожить до создания новой теории микромира и при этом сохранить способность ее понять».

В продолжение 35 лет, вплоть до своей кончины, И. Е. Тамм возглавлял (им же созданный) теоретический отдел Физического института АН СССР и в этом качестве неизменно утверждал научные и нравственные принципы, присущие ему самому. На знаменитых «таммовских семинарах» их участники искренне интересовались существом дела, а докладчикам не приходило в голову воспринимать вопросы как попытку унижить их или оскорбить. «Все равны перед истиной» — таков был девиз семинара, который стал и одной из традиций «школы Тамма».

Тамм повторял, что «нельзя допускать к научной деятельности людей, у которых нет к ней явной склонности», с нечестными людьми в науке был беспощаден, а на уверения слабых о своей любви к науке с нехарактерной для него жесткостью коротко отвечал: «Любовь должна быть взаимной!» Но экзаменов ему не сдавали и даже дипломников у него практически не было. «Ученик — не сосуд, который надо наполнить, а факел, который необходимо зажечь!» — эту запись нашли в бумагах Тамма после его смерти. Как правило, к нему приходили люди, уже хоть в чем-то проявившие свою способность к творчеству. Он встречал их доброжелательно, бережно поддерживал малейшую инициативу и откровенно радовался их самостоятельным идеям. Научное влияние Игоря Евгеньевича было глубоким и нестандартным: он не пестовал своих учеников и не обучал их секретам ремесла на проверенных школьных примерах. Тамм учил и воспитывал личным примером: сам факт его присутствия, его искренность и постоянное напряжение в поисках истины делали излишними пространные наставления «о пользе наук, преимуществах добродетели и необходимости труда».

Подобно сильному магниту, он отбирал из древесных опилок крупный металл, и в этом мощном силовом поле крепили

дарования и расцветали таланты. Не всем это пошло на пользу и не всегда заменяло систематическое образование, но, как всякая последовательная система, приносило плоды.

Общение с человеком такого масштаба, как Игорь Евгеньевич Тамм, навсегда изменяет привычную шкалу ценностей. Его друзья и ученики — и не только те, чья жизнь круто изменилась с его помощью или под его влиянием — до сих пор сознают это и бережно хранят память о нем. «Его жизнь — как чистый гармонический тон, который нельзя создать коротким импульсом, — для этого необходимо каждодневное усиление целой жизни», — эти прекрасные и точные слова В. Б. Берестецкого об И. Я. Померанчуке сказаны и об Игоре Евгеньевиче Тамме.

Несколько слов о самом издании. Книга хорошо издана, но уже в момент выхода стала библиографической редкостью: ее тираж всего 6700 экземпляров. Это тем более достойно сожаления, что сборник представляет интерес не только для узкого круга профессионалов-физиков. Кстати, это обстоятельство не учтено в должной мере: в книге полностью отсутствует библиографический аппарат (нет даже списка работ И. Е. Тамма), нет сведений об упоминаемых в тексте лицах, а биографический очерк целиком рассчитан на специалистов. Остается надеяться, что в следующем издании эти недочеты будут исправлены, равно как и пожелать, чтобы предпринятая издательством «Наука» в последние годы серия воспоминаний о крупнейших советских физиках была продолжена. В этой серии уже появились книги о А. Ф. Иоффе, Л. И. Мандельштаме, С. И. Вавилове, Л. А. Арцимовиче. Но до сих пор нет книг о В. А. Фоке, И. В. Курчатове и М. А. Леоновиче, Л. Д. Ландау и И. Я. Померанчуке. Вместе с ними ушли из жизни не только создатели научных школ, которые в значительной мере определяют нынешнее лицо нашей физической науки, но и живые свидетели и участники героического периода создания современной физики.

Диалектика в науке о живом

Э. В. Гирусов,
доктор философских наук

А. Т. Зуб

Москва



И. Т. Фролов. ЖИЗНЬ И ПОЗНАНИЕ. О ДИАЛЕКТИКЕ В СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ. М.: Мысль, 1981, 270 с.

В книге И. Т. Фролова, давно и плодотворно работающего в области философских вопросов биологии, дается анализ многообразных и разносторонних связей, существующих между материалистической диалектикой и современной наукой о живом.

Центральной идеей книги является утверждение, что диалектика, вопреки нападкам ее противников, во все большей степени доказывает свою эвристическую плодотворность в биологическом познании, становится насыщенной необходимостью для современной биологии.

Органическую связь материалистической диалектики и биологии автор книги убедительно демонстрирует, в пер-

вую очередь, на примере анализа особенностей биологического познания. Этот анализ начинается с обсуждения вопроса о специфике объекта науки, изучающей жизнь. Объект биологии — живая материя — характеризуется структурной организованностью. Другая особенность объекта биологического исследования заключается в том, что он представляет собой открытые, органически целостные системы, способные к самоорганизации, что обеспечивает самосохранение живых систем и их приспособленность к среде.

Важной особенностью биологического познания, как считает автор, является постепенное вытеснение естественной классификационной группировки биологических дисциплин искусственной, в основе которой лежат принципы, определяемые задачами познания и привнесенные в живую природу человеком.

Другой аспект диалектизации биологического познания выявляется при характеристике места и роли методологических принципов, таких как принцип органической целостности, принцип «качественной несводимости», системный подход, принцип органического детерминизма, принцип целесообразности.

Диалектическое понимание целостности имеет важное эвристическое значение для современной биологии. Для недialeктического мышления само понятие целого в его отношении к частям представляет неразрешимую задачу: оно выступает либо в форме представления о простой механической сумме частей (механицизм), либо в форме первичной и подчиняющей себе отдельные части сущности (витализм, холлизм, органицизм). С точки зрения материалистической диалектики, биологические объекты принадлежат к категории органически целостных систем, особенностью которых является то, что часть определяется в зависимости от целого, от координации с другими частями.

Принцип «качественной несводимости» выступает в роли альтернативы механистическому редукционизму, пре-

тендующему на роль своеобразного мировоззрения современной биологии. Методологическое значение принципа «качественной несводимости» состоит в ориентации исследователей на поиски путей синтеза «старой» и «новой» биологии. Одним из таких путей может быть применение системного подхода.

Принцип органического детерминизма является специфической для биологического познания формой диалектико-материалистического детерминизма. При рассмотрении этой проблемы автор уделяет особое внимание принципу целесообразности. С позиций органического детерминизма целесообразность понимается как особый вид связи, как связь начального и конечного состояний системы. Целевой подход в исследовании биологических систем строится так, будто результат процесса имеется в действительности в виде своеобразной цели (гипотетическое предвосхищение процесса).

Из анализа методологических принципов биологического познания логически следует рассмотрение той системы методов исследования, которая сложилась в биологии, тенденций и перспектив ее развития. Важнейшим методом научного познания является целенаправленное (и в этом смысле научное) наблюдение, которое может быть непосредственным и опосредованным, прямым и косвенным, причем косвенное наблюдение начинает преобладать над непосредственным и прямым.

Широкое внедрение экспериментального метода позволило поднять биологическое исследование на ступень точной науки и сделать его весьма эффективным в практическом плане. Все большую значимость получает применение в современной биологии метода моделирования.

Методы биологического познания выступают в единстве. Материалистической диалектике чужды метафизические в своей основе попытки противопоставления и универсализации отдельных методов.

В заключение, характеризуя современный этап биологического познания, автор отме-

чает концентрацию усилий на пути построения теоретической биологии. Возникающие здесь трудности все чаще заставляют биологов обращаться к материалистической диалектике, которая выступает в качестве философско-методологической основы самого процесса теоретизации научного познания. Однако сознательное применение диалектики в научном познании — сложный и противоречивый процесс. Противоречие заключено в самой основе жизни — динамическом равновесии, согласованности во времени и пространстве протекающих в организмах химических процессов, взаимодействий инвариантности и варибельности, случайности и необходимости. Таким образом, автор считает одним из важнейших условий разработки теоретической биологии понимание биологами того факта, что противоречие оказывается неизбежным атрибутом мышления, стремящегося отрезать диалектику жизни. Другой отличительной чертой общей теории жизни должен стать, по мнению автора, учет специфики взаимодействия объекта и субъекта в процессе биологического познания. Результатом познавательного процесса является новая «биологическая реальность» — рационализированный мир живой при-

роды. Автор приходит к выводу, что в этом случае теоретическая конструкция будет иметь значение общей методологии и теории биологического познания одновременно.

Особый интерес представляют размышления автора о новом статусе биологии, которая не только становится лидером естествознания в традиционном понимании, знаменная начало «века биологии», но, что самое главное, биология все более насыщается гуманистическим содержанием, выбирая в себя проблемы, непосредственно обращенные к человеку, его генетике, психофизиологии, структуре и деятельности мозга. Другими делами, процесс гуманизации естествознания, свойственный современной науке в целом, охватил прежде всего и в наибольшей степени биологию, поскольку человек сам является специфическим состоянием живой материи. По мнению автора, «путь движения биологического познания к человеку позволит решить многие социально-этические проблемы, связанные с сегодняшним кризисным состоянием науки в условиях капиталистического отчуждения человека и возможности практического использования результатов исследования жизни против самого человека, против жизни вообще» (с. 264). И с

этим утверждением трудно не согласиться.

Достоинством книги является использование достижений биологической науки, полученных на самых передовых ее рубежах, хороший стиль, четкий язык. Биологическая проблематика органично вложена в ткань философских положений, что выгодно отличает эту книгу от тех работ, в которых философский анализ и специальный материал излагаются поочередно. Однако при чтении книги порой складывается впечатление, что не мешало бы дать больше конкретных биологического материала, чтобы читатель мог чаще видеть применение диалектического метода на примерах решения специальных биологических проблем.

В предисловии автор подчеркивает, что книга является своеобразным итогом предыдущих его работ и не претендует на фундаментальную новизну. Однако те идеи, которые даны в заключительной части книги — о назначении биологии, ее особой роли в решении ряда гуманистических, экологических и «других глобальных проблем», — несомненно достаточно новы и нуждаются в более обстоятельном философском анализе. Будем надеяться, что автор сделает это в своих дальнейших публикациях.

НОВЫЕ КНИГИ

Биология

Н. В. Тимофеев-Ресовский, А. В. Савич, М. И. Шальнов. ВВЕДЕНИЕ В МОЛЕКУЛЯРНУЮ РАДИОБИОЛОГИЮ (ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ). М.: Медицина, 1981, 320 с., ц. 3 р.

Книги по радиобиологии могут быть написаны с разных точек зрения и в связи с этим резко различаться по содержанию. Цель данной книги — дать достаточно краткое и неспециализированное описание физических, радиационно-химических и биологических (главным образом цитогенетических) основ радиобиологии, важных во

всех ее разделах. Все разделы радиобиологии должны в первую очередь и в основном учитывать непосредственные глубинные взаимодействия излучения с облучаемым веществом. К сожалению, пока невозможно дать исчерпывающие сведения о воздействии ионизирующих излучений на различные входящие в состав живых организмов вещества. Поэтому авторы постарались описать важнейшие свойства ионизирующих излучений, общие принципы взаимодействия этих излучений с веществом, наиболее хорошо изученные (в частности, самими авторами книги) типы взаимодействия излучений с некоторыми важнейшими хими-

ческими компонентами живых организмов и дать на основании этих и других сведений трактовку многих радиобиологических эффектов.

Биология

МОЗГ. Пер. с англ. М.: Мир, 1982, 280 с., ц. 1 р. 70 к.

Существо и ценность этой сборника, составленного из статей, переведенных из американского научно-популярного журнала «Scientific American», уместно раскрыть яркими словами Ф. Крика, получившего Нобелевскую премию за расшифров-

ку и выяснение наследственной роли ДНК и в последнее время глубоко изучающего нейробиологию:

«Существуют ли какие-то идеи, которых следует избегать? — говорит Крик о биологии и продолжает. — Я думаю, что одна, по крайней мере, есть — это идея гомункулоза. Недавно я пытался разъяснить одной умной женщине проблему, которая состоит в том, как понять, что мы вообще воспринимаем что бы то ни было. Но мне это никак не удавалось. Наконец, в отчаянии я спросил ее, как она сама читает, каким образом она видит мир. Женщина ответила, что, вероятно, где-то в голове у нее есть что-то вроде маленького телевизора. «А кто же в таком случае», — спросил я, — «смотрит на экран?» Тут она сразу поняла, в чем проблема».

Может быть, «тень гомункулоза» и мешает, несмотря на большой прогресс в накоплении знаний о мозге, понять, наконец, как он работает? Авторы одиннадцати статей, крупнейшие специалисты в своей области (тут представлены химический, анатомический, физиологический, эмбриологический, психологический подходы), совместными усилиями как бы рисуют общую картину, позволяющую читателю задаться правомерными и отбросить непроверенные вопросы в связи с «топчущейся на месте» проблемой.

Вот список авторов (в порядке публикации): Д. Хьюбел, Ч. Стивенс, Э. Кэндел, У. Наута и М. Фейртак, У. Коуэн, Л. Иверсен, Д. Хьюбел и Т. Визель, Э. Эвартс, Н. Гешвинд, С. Кити и, наконец, Ф. Крик.

Биология

Алексей Смирнов. МИР РАСТЕНИЙ: РАССКАЗЫ О СОСНАХ И МОЖЖЕВЛЬНИКАХ, ОРЛЯКЕ И КУКУШКИНОМ ЛЬНЕ, СМОРЧКАХ, ОПЕНКАХ, МУХОМОРАХ, МОРСКОЙ КАПУСТЕ, ПЕПЕЛЬНИКЕ И МНОГИХ ДРУГИХ РЕДКИХ И ШИРОКО ИЗВЕСТНЫХ РАСТЕНИЯХ. Худ. А. Колли. М.: Молодая гвардия, сер. «Эврика», 1982, 335 с., ц. 2 р. 30 к.

Пространный заголовок этой сотни тысяч тиражом прекрасно отпечатанной книги большого формата с цветными иллюстрациями и многокрасоч-

ными жанровыми рисунками, напоминающими скорее развлекательное, чем серьезное издание, а наряду с этим научные фото и систематическая научная строгость, приложение глоссария на русском языке и латыни — все это свидетельствует о попытке совместить, казалось бы, «две вещи несовместные» и добиться того, чтобы к книге тянулись и щепетильный ботаник и непритязательный школьник, а открыв ее, не отложили в сторону непрочитанной. И строгая достоверность и почти детективистская увлекательность совместились. Надо думать, что удачный симбиоз жанров делает весь задуманный трехтомник удачным вкладом в научно-популярную ботаническую литературу.

биология

Я. Мусил, О. Новикова, К. Куиц. СОВРЕМЕННАЯ БИОХИМИЯ В СХЕМАХ. Пер. с англ. С. М. Аваевой и А. А. Байкова. М.: Мир, 1981, 216 с., ц. 2 р.

Это совершенно необычная книга по биохимии. От других она отличается по крайней мере двумя особенностями. Во-первых, объемом: фундаментальные основы биохимии и новейшие достижения этой науки изложены очень лаконично. Это достигнуто за счет того, что центральное место отведено наглядным схемам, а краткий текст лишь поясняет их и включает определения основных понятий.

Вторая особенность книги заключается в том, что она рассчитана на широкий и разнородный круг читателей. Она окажется полезной и для тех, кто изучает биохимию (как наиболее краткая форма изложения), и особенно для тех, кто, не имея специальной подготовки, столкнулся с ее проблемами.

В книге рассказано о строении основных классов биополимеров — белков, нуклеиновых кислот, углеводов и липидов, рассмотрены пути их распада и синтеза в живом организме. Детально разобраны метаболизм аминокислот, гликолиз и превращения в цикле лимонной кислоты. Представлено

строение клетки, клеточных мембран и обсуждены проблемы транспорта, накопления и расхода энергии. Существенное внимание уделено передаче генетической информации. Заключительная глава посвящена регуляции биологических процессов, которая рассматривается как частный случай управляемых систем.

Биология

К. Фолсом. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ: МАЛЕНЬКИЙ ТЕПЛЫЙ ВОДОЕМ. Пер. с англ. Д. Б. Кирпотина под ред. и с предисл. Г. А. Дыбина. М.: Мир, 1982, 160 с., ц. 55 к.

Автор книги — известный американский ученый, профессор микробиологии Гавайского университета (Маноя) К. Фолсом — попытался систематизировать и оценить существующие в науке представления, касающиеся проблемы возникновения жизни на Земле. Автор рассматривает возникновение жизни как неизбежный результат эволюционного развития материи. Книга начинается с обсуждения новейших данных спектроскопии звезд, межзвездных облаков и туманностей, убедительно показавших единство химического состава Вселенной. Затем излагаются вопросы возникновения и эволюции земной атмосферы и химической эволюции на примитивной Земле. В этом разделе подробно описаны многочисленные эксперименты по синтезу органических веществ из неорганических компонентов. Периода затем к начальному периоду биологической эволюции, автор демонстрирует все имеющиеся в литературе представления о протобионтах — промежуточной стадии перехода от химической к биологической эволюции.

Познакомив читателя с механизмом передачи наследственной информации и самовоспроизведением живой клетки, К. Фолсом высказывает свои догадки о возможных путях возникновения у протоклеток генетического аппарата.

В последней главе автор останавливается на спорных вопросах в космологии, химической эволюции и других.

Охрана природы

М. Аметов. ПТИЦЫ КАРАКАЛПАКИИ И ИХ ОХРАНА. Нукус: Каракалпакстан, 1981, 140 с., ц. 40 к.

Территория нынешней Каракалпакской АССР не так давно была диким краем, где в тугаях и камышах были полными хозяевами тигры, в степи привольно паслись дикие ослы — куланы, дикие лошади — тарпаны, бухарский олень — хантул, кызылкумский баран — архар, встречался такой хищник, как полозатая гиена. Все это ушло в прошлое. От 900 тыс. га тугаев осталось 175 тыс., от 1 млн га тростниковых зарослей — 30 тыс., от озерного зеркала в 100 тыс. га — 15 тыс. Их место заняли огромные площади сельскохозяйственных угодий и древесных насаждений, парков и скверов вокруг городов и поселков. Как же это все должно было изменить видовой и численный состав орнитофауны?

Ответу на этот вопрос и посвящено исследование автора, который проанализировал как литературные данные, так и собственные наблюдения. Его систематический (в основном) подход тесно связан с вопросами экологии, зоогеографии и охраны природы.

Особое внимание уделено практическому значению птиц для лесного, сельского и охотничьего хозяйства. В виде приложения дан полный систематический список птиц Каракалпакской АССР на русском и каракалпакском языках.

География

Е. М. Сузюмов. ЧЕТВЕРО ОТВАЖНЫХ (ПОКОРЕНИЕ СЕВЕРНОГО ПОЛЮСА). М.: Просвещение, 1981, 142 с., ц. 30 к.

В 1982—1983 гг. по решению Международного Совета научных союзов научной общественностью будут отмечаться сразу три знаменательные даты: 100-летие Первого полярного года, 50-летие Второго международного полярного года (II МПГ) и 25-летие Международного геофизического года (МГГ). В осуществлении

всех этих крупнейших для своего времени научных мероприятий в области наук о Земле активную роль играли русские и советские исследователи Севера. К этим датам приурочен выход рецензируемой книги, которая посвящена страницам истории изучения Северного Ледовитого океана. Ее центральной частью является рассказ о первой дрейфующей станции СП-1, созданной в Арктическом бассейне в 1937 г., и девятимесячном дрейфе четырех советских полярников. Организация на льдине научной станции, как показано в книге, явилась логическим завершением обширной программы работ по изучению Центральной Арктики и освоению Северного морского пути, начаты советскими полярными географами и моряками в ходе II МПГ.

Автор, сам участник и организатор ряда экспедиций к полюсам Земли, дает картину подлинно научного «наступления», развернутого в Арктике в период МПГ, а затем в 60-е и 70-е годы. Рассказывая о преемственности научной школы советских полярных географов, автор знакомит читателей с кругом проблем, которые стоят перед исследователями в настоящее время.

Книга предназначена для географов широкого профиля, учителей и прочих читателей, интересующихся новой и новейшей историей науки.

История науки

В. М. Пасецкий. ВИТУС БЕРИНГ. 1681—1741. М.: Наука, 1982, 176 с., ц. 65 к.

Выдающемуся полярному исследователю Берингу посвящена огромная литература на разных языках. Итоги экспедиций Беринга изучаются 200 лет. Историк В. М. Пасецкий четверть века назад написал книгу на эту тему. И теперь снова вернулся к ней, так как нашел много новых деталей. Споры исследователей-беринговедов оставили за пределами своего внимания такие вопросы, как цена, которая была заплачена за успех

экспедиций, роль каждого участника в общем деле и т. д. «Новая книга В. М. Пасецкого, — пишет в предисловии ее редактор, известный знаток Сибири, недавно скончавшийся академик А. П. Окладников, — проникнута глубоким эмоциональным волнением, — это еще один шаг к созданию фундаментальной истории открытий и исследований Арктики».

История науки

Е. П. Ожгова. ШАРЛЬ ЭРМИТ. Л.: Наука, Науч.-биогр. сер., 1982, 288 с., ц. 1 р. 10 к.

Ш. Эрмит (1822—1901) заслужил признание современников как выдающийся математик, удивительный педагог, а также необыкновенно скромный человек. «Не заботясь о своем приоритете, Эрмит постоянно делился своими идеями, соображениями, даже начальными исследованиями, руководствуясь единственным принципом, достойным истинного ученого: важен лишь итог — открытие, а кому оно принадлежит — второстепенно». Не этот ли необычно признанный принцип сказался на ничтожном числе исследований, посвященных роли Эрмита в развитии математики и вообще ему самому? Так или иначе, но об этом геометре первой величины, учителе А. Пуанкаре и Э. Пикара, друге П. Л. Чебышева и А. А. Маркова, неоспоримом центре мировых научных связей математиков его времени существует малая литература. За рубежом — брошюра его ученика Г. Дарбу, у нас — несколько лаконичных очерков на упоминаний в энциклопедических словарях.

И вот появилась научно-биографическая книга об Эрмите, содержащая, помимо всего прочего, главы: «Эрмит и история математики», «Эрмит и русская математика». В качестве приложения дана «Переписка Эрмита и А. А. Маркова». Имеется список литературы и именной указатель.

Что нам сулит комета Галлея 1986 года!

Н. В. Успенская
Москва

Скоро Земля встретится с кометой Галлея, «хвостатой звездой», которая с неизменным постоянством примерно через каждые 76 лет приближается к нашей планете. Предшествующее ее появление в 1910 г. вызвало настоящий «кометный бум», имевший и оборотную сторону, суть которой будет сразу ясна, если взять в руки один из мартовских номеров газеты «Голос Самары» того года. В помещенной там заметке рассказывалось, как на площади города какой-то монах бойко торговал листками следующего содержания:

«Заклятье против встречи с Галеей.

Ты, черт, сатани, Вельзевул преисподний! Не притворяйся звездой небесной! Не обмануть тебе православных, не спрятать хвостища Богомерзкого, ибо нет хвоста у звезд Господних!

Провались ты в тар-тарары, в пещь огненную, в кладель губительную!» И т. д. и т. п.

Ходили слухи, что в хвосте кометы содержится циан, и если Земля врежется в этот хвост, то весь земной род закончит свое существование. Со страхом обсуждался придуманный кем-то из астрономов и принятый всерьез анекдот, будто в хвосте кометы опасен не циан, а закись азота — «веселящий



Комета Галлея на горизонте Москвы в мае и июне 1910 г. Наблюдатель должен был стоять около Благовещенского собора, чтобы видеть путь кометы между Воровскими веретами и Свибловской башней. [Из книги: Михайлов А. А. К появлению кометы Галлея. М., 1910.]

газ», от которого все начнут прыгать и хохотать, пока не умрут от потери сил.

Выходили и брошюры того толка, но их было ничтожно мало на фоне большого потока серьезной научной и научно-популярной литературы. В течение 1910 г. и в предшествующие годы с научно-популярными публикациями и публичными лекциями на эту тему выступили буквально все крупные русские астрономы и многие публицисты. Здесь уместно вспомнить,

что физическая природа комет была доминантой творчества незадолго до того умершего Ф. А. Бредихина, сформировавшего русскую астрономическую школу. С захватывающим интересом читаются и сейчас блестящие выступления по истории комет, принадлежавшие перу знаменитого «шлессельбуржца» Н. А. Морозова, С. К. Костинского, К. Д. Покровского, Н. А. Рубакина и многие-многие другие.

Литературный бум 1910 г. по поводу предстоявшего появления кометы Галлея отчасти объяснялся тем, что впервые было организовано широкое ее наблюдение, к которому желательным было привлечь массы населения. Здесь приводится картинка из брошюры старейшины нынешних астрономов академика А. А. Михайлова, выпущенной в 1910 г., когда ему было 22 года, Московским кружком любителей астрономии. По репродукции с оригинала А. М. Васнецова А. А. Михайлов сде-

¹ Перепечатано в «Русских ведомостях» от 3 апреля 1910 г.



Первое известное нам изображение кометы Галлея. Это комета 1066 г. Она выткана на ковре, по преданию, женой Вильгельма Завоевателя в ознаменование совершенного им в том же году покорения Англии.

лал прорисовку, показав, когда и как можно будет проследить путь кометы.

Наблюдение и изучение кометы Галлея стало традицией с момента ее появления в 1758 г., которое подтвердило выдвинутое Эдмундом Галлеем предположение о ее периодичности. В дальнейшем исследователи комет самым тщательным образом изучали хроники разных народов и собрали богатейший материал. Этого и следовало ожидать, поскольку облик неожиданно появляющейся и долго висящей кометы с ее огромным хвостом, превосходящим размерами все видимое на небе, производит большое впечатление. Кроме того, у многих народов кометы, как известно, считались божьими мечами, копьями, метлами, прутьями, посланными в наказание людям и их правителям за великие грехи, и предвещали смерть и кровопролитие. Появления кометы сопоставлялись историками со смертью Аттилы, Магомета, римского императора Константина, основателя Константинополя, Вещего Олега, Ивана Грозного и т. д. и т. п.

Что же касается кометы Галлея, то ее появления сопровождали события особой грандиозности. Например, в 66 г. н. э. она предвещала восстание в Иудее и разрушение Иерусалима и тогда же возвестила о предстоящей гибели Геркуланума и Помпей. В 451 г. она появилась в период опустошительных походов гуннов, предводительствуемых Аттилой, и в этом же году произошла Каталонская битва, приведшая к распаду гуннского союза племен. В 1066 г. комета Галлея принесла весть о предстоящей битве при Гастингсе, в которой было суждено погибнуть последнему англо-саксонскому королю Гарольду II, и о завоевании Англии норманнами. В одной из хроник прямо так и сообщалось, что норманны, предводительствуемые кометой, победили англо-саксов. В известном смысле это появление кометы Галлея самое знаменательное. До наших времен сохранился ковер тех лет, на котором выткана комета Галлея. Это ее изображение — наиболее раннее из известных. По преданию, ковер сделан руками жены Вильгельма Завоевателя королевой Матильдой.

А в «Повести временных лет» комета Галлея, того же 1066 г. соотносена, понятно, с совершенно другими обстоятельствами: «В си же времена бысть знамение на западе, звезда превелика, луче имуща аки кровавы, восходяща с вечера по заходе солнечнем, и пребысть 7 дний; се же проявляша не на

добро: посемь бо быша усобице много и нашествие поганых на Русьскую землю, си бо звезда бе аки кровава проявляюща кровопролитие»².

Наконец, напомним еще только одно любопытное сопоставление. Оно относится к комете Галлея 1456 г., которая появилась вскоре после завоевания турками Константинополя и была воспринята как знак турецкой угрозы всему христианскому миру. В связи с этим папа Каликст III ввел особую молитву с колокольным звоном и с закликаниями против кометы и турок. «Этот звон и молитва под названием *angelus*, — писал Н. А. Морозов, — и до сих пор сохранилась в католических церквях»³. Так что «Заклятие против встречи с Галеей», которое мы цитировали вначале, — всего лишь примитивный и изрядно дикий анахронизм.

Постепенно в поисках свидетельств о появлении кометы Галлея исследователи перешагнули за пределы нашей эры и нашли много интересного в Библии и Талмуде. Д. Святскому, например, удалось отождествить видение пророка Иеремии с кометой Галлея 619 г. до н. э.⁴ Н. А. Морозов разобрал отрывок из книги Даниила, где речь идет о пире вавилонского царя Валтасара, на котором Валтасар ко-

² Цит. по: Покровский К. Д. Кометы в русских летописях. — Мир божий, 1903, апрель, с. 239.

³ Морозов Н. Что может принести нам встреча с кометой? М., 1910, с. 6.

⁴ Святский Д. Галлеева комета в Библии и Талмуде. СПб, 1910.

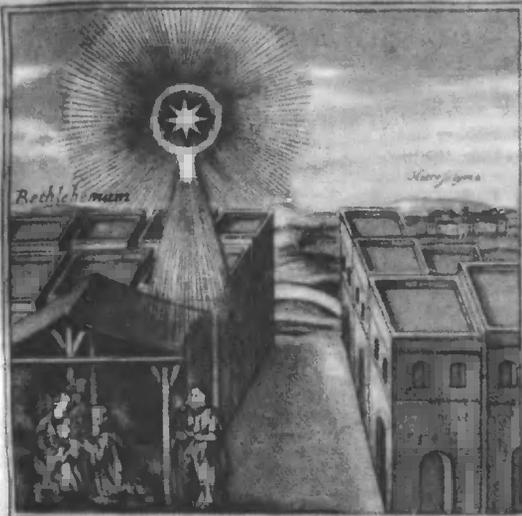
Изображения комет из книги: Stanislaw Lubienietz. The afri cometic. Amstelodami, 1667. Вверху: участок звездного неба с кометой в обилие война с кинжалом. Внизу: вифлеемская звезда, которую Любенеций ошибочно отождествлял с кометой, сияющая над яслями Христа; комета Галлея 66 г., пронизавшая иудейское царство и оповестившая мир о его предстоящем падении; комета 367 г., поджигающая своими лучами жилища грешников; комета 437 г. в виде дракона, изрыгающего пламень на Англию и Ирландию.

Figura Observationis Cometae verni facta Harlemi 26 Aprilis 1665 ad Communitat. Lugduno Batavum pertinens



Obſervatio hęc exhibet Cometam in conjunctu rectarum unius a Lucida Aquila per ſequentem Inſeram in partem Digni & alioru a Lucida Perſea per conjunctu Andromeda Inſeram. B. Stepondael Schelſſer

LI STELLA MAGORUM Matth. 2.



LXXXVII A.C. 367.

LXVI Cometa Hierosolymitan A.C. 63, 69. 464



CXV. A.C. 457



шунственно пил из священных сосудов Иерусалимского храма и славил богов серебряных, медных и деревянных. Тогда на стене чертога властелина (читаем: на небе) появилась озаренная светом рука (комета), которая написала слова «мани-факефарес». Призванный для истолкования этих слов Даниил дал чисто астрологическую расшифровку: «Мани» (так называли вавилоняне созвездие Скорпиона) — ты приговорен к смерти; «Факел» (созвездие Весов) — ты взвешен и оказался легким; «Фарес» (созвездие Персея) — твое царство перейдет к мидянам и персам. Приняв все это за описание вида и пути кометы, Н. А. Морозов пытался сопоставлять ее с китайскими хрониками, но аналогов не находил, пока искал их до рождения Христава. И наконец нашел такую комету (комету Галлея) в 838 г. н. э., на основании чего предположил, что старозаветная книга пророка Даниила — апокриф. Но это еще потребовало бы других доказательств.

Зато одно из мест Талмуда почти неопровержимо свидетельствует, что древние евреи знали о периодичности кометы Галлея. Там есть такие слова: «Раз в 70 лет комета появляется и сбивает с толку карабельщиков»⁵. Вполне вероятно, что древние евреи заимствовали эти знания, как и многое другое, от вавилонян, у которых были довольно реалистические представления о кометах.

Теперь, кажется, самое время вспомнить, что не всегда

и не у всех народов кометы считались дурным знаком. Самые точные и полные, а также самые древние данные о кометах мы находим в китайских хрониках — первое упоминание относится к 2296 г. до н. э. Древние китайцы, как рассказывается в недавно изданной книге К. И. Чурюмова⁶, представляли себе небо как огромную страну с четким административным делением на области и провинции. Наиболее яркие небесные тела олицетворяли собой высшую власть, менее яркие — местную. Кометы же выполняли роль курьеров, которые разносили по провинциям правительственные донесения, сулящие различные перемены. А поскольку считалось, что все, происходящее на небе, должно потом повториться на земле, то древние китайские астрономы тщательно фиксировали пути комет, чтобы составить долгосрочный прогноз событий.

В отделе редких книг и рукописей Научной библиотеки МГУ можно познакомиться с огромным и роскошным двухтомным каталогом кометных явлений польского астронома Станислава Любенецкого, изданным более трех веков назад. Книга сохранилась так, словно вышла из печати вчера, — бумага ничуть не пожелтела, прекрасные гравюры поражают неблещущими красками. Проводя традиционные исторические параллели, Любенецкий связывает кометы с крупными событиями разного свойства — и с трагическими, и с великими, радост-

ными. Достаточно сказать, что комета, по его мнению, возвестила о рождении Христа. Отождествление вифлеемской звезды с кометой было довольно распространено⁷.

К. Д. Покровский, извлечший в свое время интересные сведения о кометах из Лаврентьевской, Ипатьевской, Новгородской, Псковской и других русских летописей, подчеркивал, что эти сведения чаще всего сообщаются без оттенка страха или трагизма, но с большим вниманием к самому явлению. Вот как говорится в Лаврентьевской летописи о комете Галлея 1222 г.: «Того же лета явися звезда на западе и бе от нее луча не врозак человеком, но яко к полуденю (не прямо, а с отклонением к югу). — Прим. К. Д. Покровского) по восходящи с вечера по заходе солнцем и бе величеством паче иных звезд, и пребысть тако 7 дней, а на 7-ом дни явися луча та к востоку и тако пребысть четыре дня, и невидима бысть»⁸.

Чего же в свете сказанного нам следует ждать от кометы Галлея 1986 г.? Нет почти никаких оснований сомневаться, что осуществление проекта встречи с кометой (см. с. 2 этого номера) будет прорывистиком замечательных открытий в изучении малых тел Солнечной системы и что наши потомки правильно сопоставят эти события.

⁷ См.: Гурштейн А. А. Вифлеемская звезда — вымысел или вспышка Новой? — Природа, 1978, № 12, с. 121.

⁸ Покровский К. Д., с. 242.

⁵ Там же, с. 13.

⁶ Чурюмов К. И. Кометы и их наблюдения. М., 1980.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

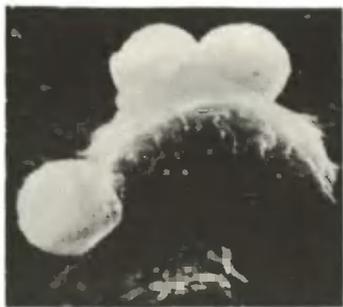
Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароковский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 7.06.82
Подписано к печати 19.07.82

T-09893
Формат 70×100 1/16
Офсет

Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1636 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Бум. л. 4
Тираж 61 100 экз. Зак. 1494

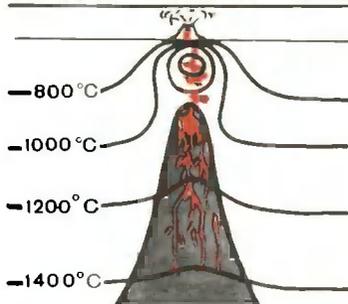
Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат
ВО «Союзполиграфпром»
Государственного
комитета СССР
по делам издательства,
полиграфии и книжной торговли
г. Чехов Московской области



В следующем номере

В 70-х годах, после почти полувекового забвения, возобновился интерес к макрофагу. Детальное изучение этой клетки показало ее огромную роль в формировании иммунитета.

Галактионов В. Г. Всемогущий макрофаг.



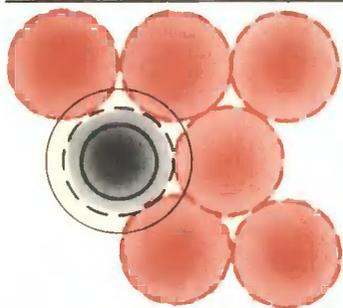
В последние годы геохимии пришли к заключению, что на тех глубинах, где зарождаются магматические расплавы, температура плавления не достигается. Это противоречие может быть снято в рамках декомпрессионного механизма зарождения магмы.

Френкель М. Я., Кадик А. А. Роль воды в образовании магмы.



За 20 лет существования рентгеновской астрономии разрешающая способность телескопов в этой области спектра увеличилась почти в 10 000 раз, а чувствительность приемников излучения — в 300 000 раз. Поэтому и стал возможным столь невероятно быстрый прогресс в рентгеноастрономических исследованиях.

Шкловский И. С. 20 лет рентгеновской астрономии.



Новый метод определения постоянной тонкой структуры — измерение сопротивления Холла в полевом транзисторе, помещенном в магнитное поле.

Семенчинский С. Г., Эдельман В. С. Полевой транзистор и постоянная тонкой структуры.



Культуру майя называют «культурой-загадкой». Как могла она просуществовать целое тысячелетие в явно неблагоприятной природной среде? Кажется, эта тайна теперь раскрыта.

Гуляев В. И. Земледелие древних майя.

Чело 88 хол
Юдеев 70707



Природа, 1982, № 8, 1—128.